

Vorlesung

„Bildgebende Verfahren in der Medizin“

Bildgebende Modalitäten Bildeigenschaften

Jürgen Braun – Institut für Medizinische Informatik
CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

Bildgebende Modalitäten: Radiographie 3

I. Bildgebende Modalitäten: Radiographie

Erste Technologie zur Medizinischen Bildgebung

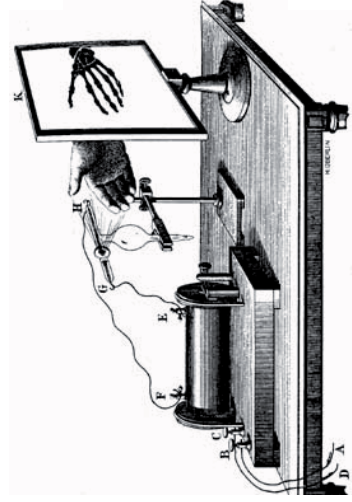
1895 berichtete ein bis dahin unbekannter Würzburger Physiker von einer folgenreichen Beobachtung:

„Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen, in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand“.

Übersicht Bildgebende Verfahren

- I. Radiographie
- II. Mammographie
- III. Computertomographie
- IV. Bildgebende Verfahren in der Nuklearmedizin
- V. Magnetresonanztomographie
- VI. Sonographie
- VII. Bildkontrast und Auflösung

Röntgen-Computertomographie 2



Bildgebende Modalitäten: Radiographie 4

I. Radiographie – Entdeckung der Röntgenstrahlung

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen im November 1895 durch Wilhelm Röntgen geschah zufällig.

Eigentliche Motivation Röntgens:
Erforschung elektromagnetischer Erscheinungen mit Hilfe der Kathodenstrahlröhre

Die Röhre war sorgfältig mit Pappe abgeschirmt, jedoch begann ein benachbarter Leuchtschirm zu fluoreszieren.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie 5

I. Radiographie – Entdeckung der Röntgenstrahlung

Als sorgfältiger Experimentator setzte Röntgen alles der Strahlung aus, die scheinbar für die Leuchterscheinung verantwortlich ist:

*„ein Buch von 1000 Seiten,
ein doppeltes Whistspiel,
einzelne Spielkarten“, und
die Hand seiner Frau.“*



Erstes Röntgenbild 1895:
die Hand von Wilhelm Röntgens Frau Berta.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie 6

I. Erste Ergebnisse zur Untersuchung des Phänomens

- die meisten Materialien schwächten die X- Strahlen (wie Röntgen sie taufte) nicht nennenswert ab.
- Verschiedene Metalle vermochten die Strahlung dagegen deutlich abzuschirmen.

Folgen:

- Explosion wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der Röntgenstrahlung
- Mediziner begeistern sich für den unverstellten Einblick in menschliche Körper → Geburtsstunde der Radiologie
- Es entstehen völlig neue diagnostische Möglichkeiten

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

7

I. Erste Röntgenuntersuchungen am Menschen



Röntgenuntersuchung anno 1897

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

8

I. Begleiterscheinungen der Röntgen-Euphorie:

- Überprüfung der Paßform von Schuhen
- Feststellung von Nebenwirkungen schmerzhafter Selbstversuch (Elihu Thomson 1896, USA) aufgrund regelmäßiger und langer Röntgenexposition.
- Folgen: Hautablösung wie bei einem starken Sonnenbrand aber äußerst ungenügende Selbstheilung.
- Grundlagen der Strahlenbiophysik (unfreiwillig)

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

9

I. Röntgendiagnostik

- degenerative Veränderungen wie Arthrose,
- Knochenbrüche / Luxationen (ausgekugelt),
- Fehlbildungen,
- rheumatische Veränderungen,
- Entzündungen wie Osteomyelitis,
- benigne Knochentumoren / maligne Knochentumoren,
- Auswirkungen von Stoffwechselerkrankungen wie Gicht,
- Osteoporose (Ursachen: chronische Nierensuffizienz oder postmenopausaler Östrogenmangel).

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

10

I. Röntgenanwendungen: Thoraxuntersuchungen



- Es können im wesentlichen
- das Herz,
 - das Lungen- und Bronchialsystem,
 - knöcherner Thoraxanteil,
 - Thoraxgefäße sowie Lungenwurzel (Hilus),
 - Mediastinum (mittlerer Bereich des Thorax)
 - und das Rippenfell (Pleura) beurteilt werden.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

11

I. Röntgenanwendungen: Knöchernes Skelettsystem



- Alle knöchernen Teile vom Scheitel bis zur Fußsohle:
- Schädel,
 - Schlüsselbein,
 - Rippen,
 - Wirbelsäule,
 - Schulterblatt (Skapula),
 - die Arm- und Beinknochen,
 - das Becken sowie
 - die großen und kleinen Gelenke.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

12

I. Radiographie – Wilhelm Röntgen



Wilhelm Röntgen

Publikation der „X-Strahlen“

Bildgebende Modalitäten: Radiographie 13

II. Bildgebende Modalitäten: Mammographie

Röntgenverfahren speziell zu Brustuntersuchungen
Brustkrebs ist die häufigste Tumorerkrankung der Frau
(jede 10. Frau erkrankt im Laufe ihres Lebens an
Brustkrebs)

Mit der Mammographie sind Tumore in einem sehr
frühen Stadium erkennbar
→ noch gute Heilungschancen

Nach wie vor "Goldstandard" in der Bildgebung bei
der Frage nach Brustkrebs

Bildgebende Modalitäten: Mammographie 14

II. Meilensteine der Mammographie

1927: die erste Mammographie wird vom Leipziger
Arzt Otto Kleinschmidt durchgeführt.

1951: die für die frühzeitige Entdeckung von
Brustkrebs wichtigen Mikroverkalkungen werden von
Raul Leborgne, einem Arzt aus Uruguay beschrieben.

Bis heute: stetige Verbesserung der Bildqualität bei
gleichzeitiger Reduktion der applizierten Strahlendosis.

Bildgebende Modalitäten: Mammographie 15

II. Besondere Anforderungen an die Mammographie

Problem: Weichteilkontrast (in der Brust) ist
generell schwierig mit Röntgenverfahren zu
erzeugen

Verwendung von „weicher“ Strahlung

→ erhöhte Strahlenbelastung

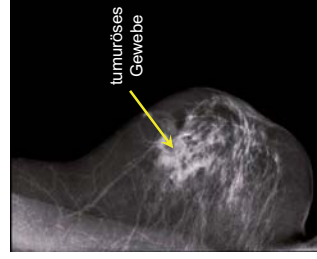
→ Verwendung spezieller Filter und Röntgenröhren

Bis heute: stetige Verbesserung der Bildqualität bei
gleichzeitiger Reduktion der applizierten Strahlendosis.

Bildgebende Modalitäten: Mammographie 16



Mammographie-Anlage



Mammogramm

Bildgebende Modalitäten: Mammographie 17

III. Computertomographie (CT)

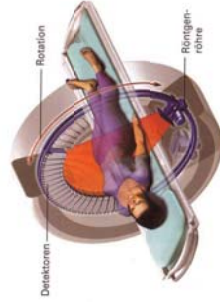
Eine Tomographie ist ein Querschnittbild das bei
bildgebenden Verfahren mit Hilfe eines Rechners
erstellt wird.

Bei der CT-Bildakquisition dreht sich senkrecht zur
Körperachse des Patienten eine Röntgenröhre. Diese
Röhre erzeugt mit einer Hochspannung von 120 bis
150 kV (1 kV = 1.000 Volt) einen fächerförmigen
Röntgenstrahl, der den Körper in der gewünschten
Ebene durchleuchtet.

Bildgebende Modalitäten: CT 18

III. CT - Bilderzeugung

In Abhängigkeit von der Dichte, der Dicke sowie der Ordnungszahl Z der durchstrahlten Materie wird der Strahl mehr oder weniger stark geschwächt.



Gegenüber der Röhre befinden sich, halbkreisförmig angeordnet, Detektoren, die in Abhängigkeit der auftretenden Röntgenstrahlenintensität elektrische Signale erzeugen.

Bildgebende Modalitäten: CT

19

III. CT - Bildrekonstruktion

Röhre und gegenüberliegende Detektoren drehen sich in kleinen Winkelschritten weiter (2° , 1° , $0,5^\circ$).

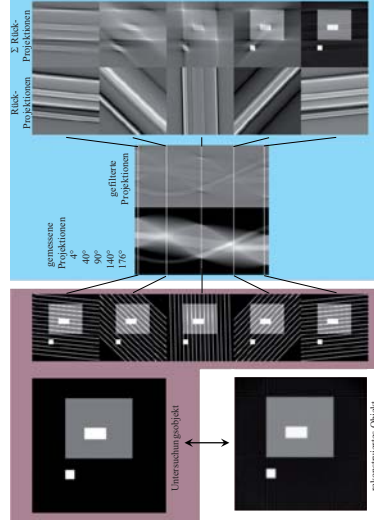
Rechnergestützt werden die detektierten Signale zu einem in der Dicke (1 – 8 mm) einstellbaren Querschnittsbild zusammengesetzt.

Rekonstruktionsverfahren: gefilterte Rückprojektion

Bildgebende Modalitäten: CT

20

II. CT – Schematische Übersicht Bildrekonstruktion



Computertomographie

21

III. CT – 16 Zeiler



gleichzeitige Aufnahme von 16 Schichten

Bildgebende Modalitäten: MRT

22

III. CT - Strahlenbelastung

Die Strahlenexposition beträgt, je nach Untersuchung, zwischen 3 mSv und 10 mSv für den untersuchten Körperbereich.

Diese Strahlenexposition ist, verglichen mit konventionellem Röntgen (Thorax ca. 0,3 mSv) deutlich höher (die natürliche Strahlenexposition auf Meereshöhe beträgt in Deutschland ca. 2,5 mSv pro Jahr).

Bildgebende Modalitäten: CT

23

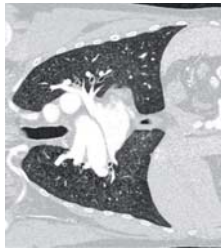
III. CT – Diagnostik

Körperregion	Fragestellung
Kopf	Blutungen, Infarkte, Traumata, Schädelbasisfrakturen, Tumordiagnostik.
Knochen	Komplizierte Frakturen, z.B. des Beckens, der Wirbelsäule, der Gelenke, sowie Bandscheibenvorfälle, ausserdem Tumoren und Metastasen.
Lunge	Tumordiagnostik, Metastasen, Entzündungen, Lungenparenchymerkrankungen.
Abdomen, Leber	Fast alle Lebererkrankungen mit morphologischen Veränderungen sind gut diagnostizierbar, Ascites.
Lymphknoten	Metastasen nachweis, reaktive Veränderungen
Magen, Darm	parakolische Abzesse bei Morbus Crohn, größere Tumoren, sowie Tumoren im Enddarmbereich, Ausbreitungsdiagnostik von Tumoren im Bereich der Speiseröhre.
Gefäße	Akute Blutungen nach Unfällen oder Aneurysmen.

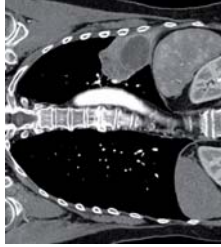
Bildgebende Modalitäten: MRT

24

III. CT – Lunge



Weichteilfenster

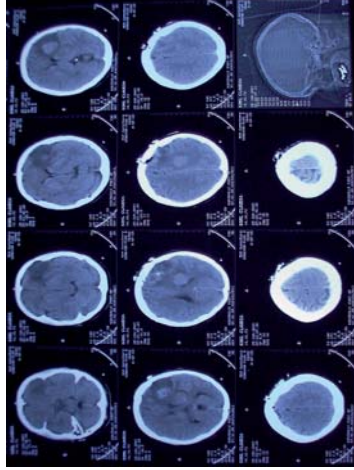


Knochenfenster

Bildgebende Modalitäten: CT

25

III. CT – Hirntumor



Bildgebende Modalitäten: CT

26

III. CT – Wirbelsäule



Transversale CT-Schicht. Osteochondrom mit Ursprung von der Rückfläche des zweiten BWK. Der Tumor weist einen breiten knöchernen Stiel auf (Pfeil). Der Tumor führt zu einer erheblichen Spinalkanalstenose.
Klinisch lag bei dem zwanzigjährigen Patienten bereits eine ausgeprägte Paraparese der Beine vor.

Bildgebende Modalitäten: CT

27

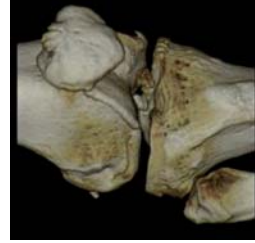
III. CT – Extremitäten



Knie sagittal



Knie coronar



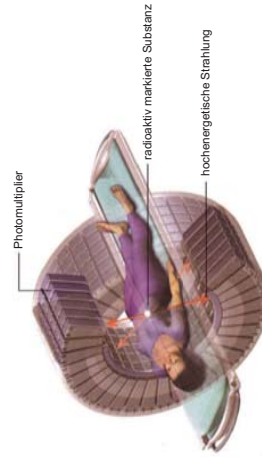
3D-Modell berechnet aus Schichtbildern künstlich eingefärbt

Bildgebende Modalitäten: CT

28

IV. Bildgebende Verfahren in der Nuklearmedizin

Anwendungen basieren auf dem Nachweis radioaktiv markierter Verbindungen (oral / Injektion / Inhalation).



Bildgebende Modalitäten: Nuklearmedizin

29

IV. Bildgebende Verfahren in der Nuklearmedizin

Verteilung der Tracer im Körper in Abhängigkeit des physiologischen Status der Patienten.

Die nach Traceraufnahme vorhandene Aktivität zeigt, ob die chemische Funktion eines Organs / Gewebes normal oder pathologisch ist.

Keine Aussagen zur Anatomie sondern zur Funktionalität von Organen / Geweben.

Bildgebende Modalitäten: Nuklearmedizin

30

IV. Radioaktive Zerfallsprozesse

Für instabile Nuklide mit Protonenüberschuß gibt es zwei Zerfallswege:

- 1) Proton zerfällt unter Freisetzung eines Neutrons und eines Positrons (Antiteilchen zum Elektron):
 $\text{Proton (p}^+) \rightarrow \text{Neutron (n)} + \text{Positron (e}^+)$
- 2) Proton nimmt ein Elektron aus der Elektronenhülle auf und wandelt sich in ein Neutron um.
 Dieser metastabile Zustand stabilisiert sich unter Aussendung eines einzelnen Photons:
 $\text{p}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{n} + \gamma$

IV. In der Medizin gebräuchliche Radionuklide

Radionuklid	maximale Positronen Energie [MeV]	Halbwertszeit [min]	Photonenenergie [keV]	Typ
^{18}O	1.72	2	511	Positron Emitter
^{13}N	1.19	10	511	Positron Emitter
^{11}C	0.96	20	511	Positron Emitter
^{18}F	0.64	109	511	Positron Emitter
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	-	360	140	Photonen Emitter
^{123}I	-	660	159	Photonen Emitter
^{133}Xe	-	7680	180	Photonen Emitter

IV. Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

Nachweis der Emission von Röntgenstrahlen (Emission einzelner Photonen).

Detektion aus verschiedenen Blickwinkeln mit synchron schwenkbaren Kameras.

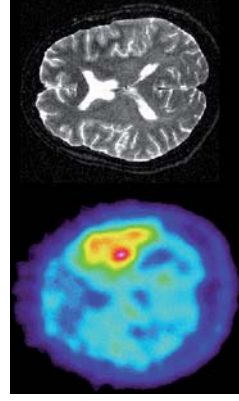
Projektionsdaten werden zur Rekonstruktion tomographischer Emissionsbilder verwendet.

Die nach Traceraufnahme vorhandene Aktivität zeigt, ob die chemische Funktion eines Organs / Gewebes normal oder pathologisch ist.

IV. SPECT-Anlage

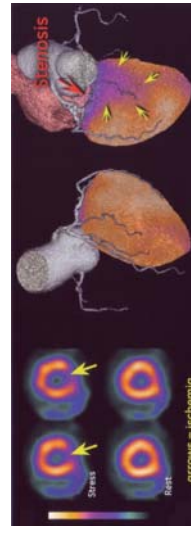


IV. SPECT-Anwendung: Hirntumore



SPECT, Tracer: ^{123}I - α -Methylthiosin
 MRT: T_2 -Wichtung

V. SPECT: Anwendung in der Kardiologie



SPECT vom Herzen funktionelle Information

Image Fusion: SPECT – CT
 Kombination funktioneller und anatomischer Information

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Nachweis der Emission gepaarter Röntgenstrahlung (Emission von Positronen).

Positronen sind positiv geladene Elektronen (e^+).

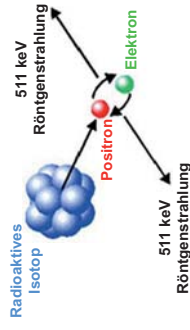
Positronenquellen: ^{18}F , ^{15}O , ^{13}N , ^{11}C .

Positronen (e^+) rekombinieren sofort mit Elektronen (e^-) → Zerstrahlung, die Masse beider Teilchen wird in Röntgenstrahlung umgewandelt.

Bildgebende Modalitäten: PET

37

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



Besonderheit:

die bei der Zerstrahlung entstandene Röntgenstrahlung ist genau entgegengesetzt gerichtet

Bildgebende Modalitäten: PET

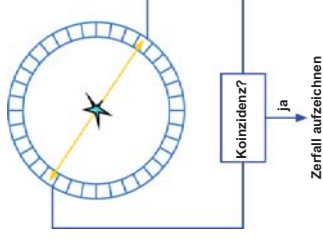
38

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Detektion:

Koinzidenzdetektion mit einem Detektorpaar.

Bei der simultanen Detektion zweier 511 keV Photonen muß die Zerstrahlungsposition auf einer Geraden durch die beiden Detektoren stattgefunden haben.



Bildgebende Modalitäten: PET

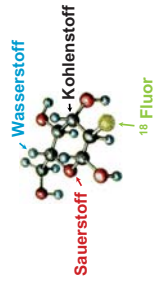
39

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Modernes PET System:

> 10.000 kreisförmig angeordnete Detektorelemente.
> 20.000.000 mögliche Koinzidenzkombinationen können detektiert werden.

Typisches Radiopharmakon: 2-Fluoro-2-deoxy-D-Glukose (FDG)



Bildgebende Modalitäten: PET

40

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Anwendungen PET:

- Tumordiagnostik / -therapie:
generell anwendbar für Tumore die Tracer aufnehmen:
Kopf, Rückenmark, Lunge, Speiseröhre, Magen, Darm, Eierstöcke, Gebärmutter, Brust, Lymphome, maligne Melanome, manche Knochentumore,
Therapie monitoring.

- Epilepsie:
Identifikation von MS-spezifischen Läsionen im Gehirn.
- Kardiologie:
Herzfunktion, Vitalität von Herzregionen,
Blutversorgung des Herzmuskels (Perfusion).

Bildgebende Modalitäten: PET

41

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

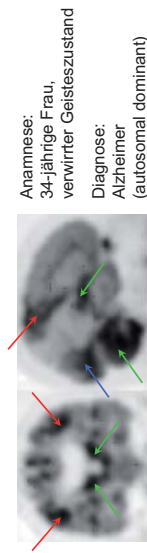
Charakteristische Eigenschaften von PET:

- PET ist "metabolische" Bildgebung.
- Sensitiv gegenüber dem Energieverbrauch von Zellen.
- Krebszellen können detektiert werden bevor es zu anatomischen Veränderungen kommt.
- Unterscheidung von Narbengewebe (nach Therapie) und aktiven Tumoren.
- Kann in einigen Fällen alternativ zu invasiven Biopsietechniken eingesetzt werden.

Bildgebende Modalitäten: PET

42

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



Anamnese:
34-jährige Frau,
verwirrter Geisteszustand

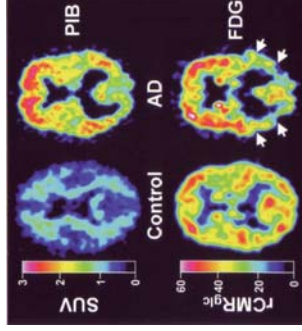
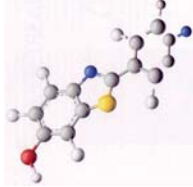
Diagnose:
Alzheimer
(autosomal dominant)

Fluorodeoxyglucose PET
A: coronare, B: sagittale, C: axiale Schichtführung.
Diffuser Hypometabolismus frontal (bilateral), parietal,
und im Bereich der Temporalappen.
Ausgespart sind primär **sensorischer Cortex**,
primärer visueller Cortex und subcorticale Strukturen.

Bildgebende Modalitäten: PET

43

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



Bildgebende Modalitäten: PET

43

IV. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

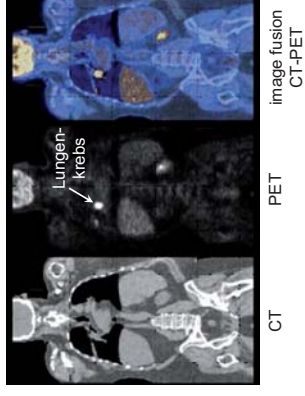


image fusion
CT-PET

Bildgebende Modalitäten: PET

44

IV. Vergleich SPECT - PET

- SPECT:
- weit verbreitet
- PET:
- höhere Effizienz als SPECT
 - gleichförmigere Ausleuchtung
 - höhere Ortsauflösung
 - Verwendung kurzlebiger Isotope in den Radiopharmaka
 - exaktere Quantifizierung

Bildgebende Modalitäten: PET

45

V. Magnetresonanztomographie - MRT

Es wird keine ionisierende Strahlung (Röntgen- oder Gammastrahlung) eingesetzt.

Stattdessen werden durch ein sehr starkes statisches Magnetfeld mit Feldstärken von 0,25 bis 3 Tesla (2500 bis 30000-faches Erdfeld) werden die Protonen des zu untersuchenden Objektes beeinflusst.

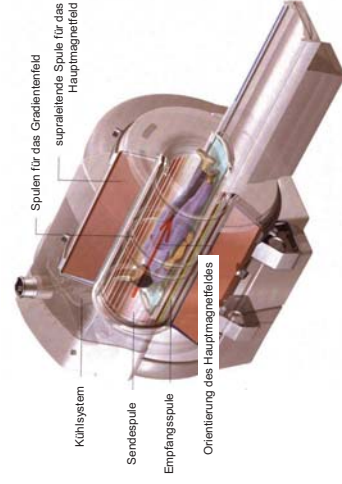
Mit Hilfe eines über Spulen zeitweilig eingestrahltene gepulsten HF-Magnetfelds erfolgt die Anregung der Protonen (Energieübertrag mittels Resonanzeffekt).

Nach Abschalten des HF-Magnetfelds: Energieabgabe die in Form einer Wechsellspannung mit speziellen Empfangsspulen detektiert wird.

Bildgebende Modalitäten: MRT

46

V. MRT – 1.5 T Ganzkörpergerät



Bildgebende Modalitäten: MRT

47

V. MRT – 1.5 T Aufnahmespulen



Mehrkanal Kopfspule



flexible Spulen



Brustspule



Extremitätenspule

Bildgebende Modalitäten: MRT

48

V. MRT – Ortsauflösung / Bildrekonstruktion

Ortsauflösung ist nicht durch die Wellenlänge der eingesetzten Strahlung gegeben (~ 3-5 m), sondern über zeitweilig zugeschaltete Magnetfeldgradienten.

Alle Protonen im Untersuchungsobjekt werden so ortsabhängig magnetisch präpariert (Ortsinformation ist in der abgegebenen Strahlung gespeichert).

Die Vielzahl gleichzeitig gemessener ortsabhängiger Signale wird mit Hilfe von 2D-Fourierverfahren Volumenelementen (Voxeln) zugeordnet und in Form von Schnittbildern visualisiert.

Bildgebende Modalitäten: MRT

49

V. MRT – Relaxation und Bildkontrast

Der Energieabgabe der Spins nach Anregung liegen 2 Relaxationsmechanismen zugrunde:

Spin-Gitter-Relaxation (T_1) und Spin-Spin-Relaxation (T_2).

Durch individuelle Relaxation unterschiedlicher Gewebe entstehen Kontraste zwischen verschiedenen Gewebearten oder zwischen gesundem und Tumorgewebe.

Ein zusätzlicher Kontrast zwischen Gewebearten beruht auf ihrem unterschiedlichem Wassergehalt oder der Protonendichte (PD).

Bildgebende Modalitäten: MRT

50

V. MRT – Relaxation und Bildkontrast

Grundsätzlich unterscheidet man 3 Bildkontraste: T_1 -, T_2 - und PD-„Wichtung“.

T_{1w} -Bilder: Blutungen / Fett hell dargestellt

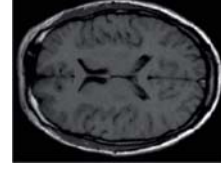
T_{2w} -Bilder: Flüssigkeiten / Schwellungen hell dargestellt.

Die Art der Gewebekontrastierung lässt sich durch die Wahl entsprechender Parameter in den Aufnahmeprogrammen (Pulssequenzen) festlegen. (z.B. Auslenkwinkel der Magnetisierung, Wiederholungszeit oder Echozeit.

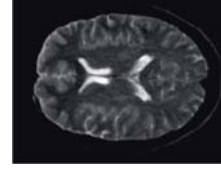
Bildgebende Modalitäten: MRT

51

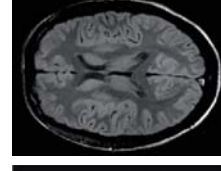
V. MRT – Bildwichtungen



T_1 -Wichtung



T_2 -Wichtung



PD-Wichtung

Bildgebende Modalitäten: MRT

52

V. MRT – Diagnostik I

Fragestellung

Körperregion	Fragestellung
Becken, Harnblase	Prostatahypertrophie und -karzinome, gynäkologische Tumoren, perineurale Lymphknoten, Rektum-Karzinome, Knochenentzündungen, Hüftgelenkentzündungen, Entzündungen der Ilio-Sacralfugen, Beckengefäße, Funktionsdiagnostik von Transplantaten (Niere, Pankreas), Ovarialzysten, Bauchteilkarzinome, freie Flüssigkeit
Brust	Ergänzung zur Mammographie und Ultraschalluntersuchungen. Präoperativer Ausschluss von Multizentrität oder Multifokalität. Postoperative Rezidivdiagnostik, insbesondere bei Frauen mit Brustimplantaten
Gefäße	arterielle und venöse Gefäße bezüglich Thrombosen, Fehlbildungen, Entzündungen, Verschlüssen, Herzkranzgefäßdarstellung
Gelenke	Bänder, Knorpel, Knochen, Blutungen, Ergüsse
Hals-Nasen-Ohren	insbesondere Tumoren, entzündliche Prozesse oder Fehlbildungen

Bildgebende Modalitäten: MRT

53

V. MRT – Diagnostik II

Körperregion	Fragestellung
Knochenmark	Markraumverfaltungen, Lymphome, Plasmazytome, Metastasen, Hämangiome
Kopf	Entzündliche Prozesse, Tumoren, Fehlbildungen und Angiographien. Für den Nachweis einer akuten Blutung wird dagegen eine CT empfohlen.
Leber, Niere, Milz, Bauchspeicheldrüse und Gallengänge	Tumore, Entzündungen, Gefäßfehlbildungen, Anatomische Varianten.
Magen-Darm-Trakt	Cholangiographien, Pankreatographien
Mediastinum	Tumore, Schilddrüsenvergrößerungen, Herzdiagnostik, tumorbedingte Veränderungen der Speiseröhrenwand sowie pathologische Lymphknoten. Beurteilung der großen Gefäße, wie Aorta, Lungenarterien und -veinen sowie Aortenbogen. Frühe Erkennung von ischämischen Prozessen (Hirntank).
Sehnen	Entzündungen, Degenerationen, Rupturen
Thoraxwand	Tumore

Bildgebende Modalitäten: MRT

54

V. MRT – Diagnostik III

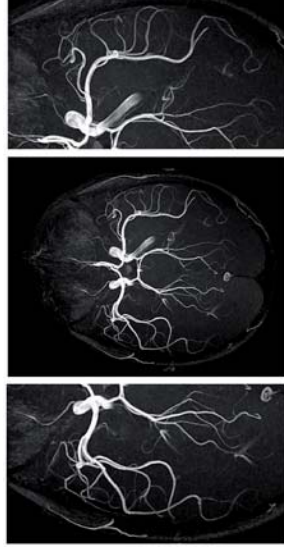
Körperregion	Fragestellung
Weichteile	Musculo-skeletale Tumoren, wie z.B. Sarkome, Entzündungen.
Wirbelsäule	Bandscheibendegenerationen, intra- oder extraaxiale Spinaltumoren, Entzündungen, Myelopathien Siringomyelie, Fehlbildungen, Wirbelkörperfrakturen, Knochenmetastasen, Zysten.

Nach allen zur Zeit vorliegenden Erkenntnissen sind bei MRT-Untersuchungen keinerlei Nebenwirkungen zu erwarten.
Gefahren entstehen bei der Anwesenheit von (magnetisierbaren) Metallen am oder im Körper.
Personen mit Herzschrittmachern werden können nicht untersucht werden.

Bildgebende Modalitäten: MRT

55

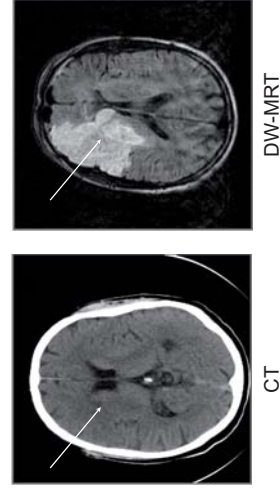
V. MR–Angiographie



Bildgebende Modalitäten: MRT

56

V. MR–Diffusionswichtung / Hirninfarkfrühd Diagnose



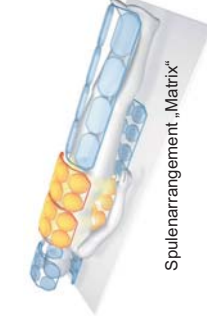
DW-MRT

CT

Bildgebende Modalitäten: MRT

57

V. MRT – Ganzkörperuntersuchungen



Spulenanarrangem „Matrix“

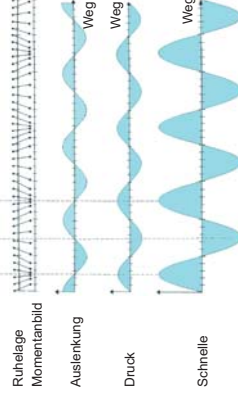
Ganzkörperaufnahme nach Bildnachverarbeitung

Bildgebende Modalitäten: MRT

58

VI. Ultraschall

Schall ist eine longitudinale Materiewelle
→ Moleküle oder Atome der Materie schwingen in Richtung der Schallausbreitung.



Bildgebende Modalitäten: US

59

VI. Ultraschall

Schall ist in einem Frequenzbereich von 20 Hz bis ca. 20.000 Hz für das menschliche Ohr hörbar.

Schall < 20 Hz wird als Infraschall bezeichnet.

Schall zwischen 20 kHz und 1000 Mhz wird als Ultraschall bezeichnet.

Bildkontrast beruht auf Impedanzänderungen:

→ Gewebe unterschiedlicher Impedanz gut sichtbar
→ Gewebegrenzen (Impedanzsprünge) gut sichtbar

Impedanz:
Gewebedichte x Schallgeschwindigkeit im Gewebe

Bildgebende Modalitäten: US

60

VI. Ultraschall

Schallerzeugung: mit Hilfe von piezoelektrischen Kristallen (periodische Größenänderungen bei anliegender Wechselfeldspannung).

Schallimpulse werden mit einem Schallkopf in das Körpergewebe gesandt und detektiert (Sende- und Empfangsfunktion)

Bildinformation liegt in der unterschiedlichen Reflexion der Schallwellen durch verschiedene Gewebe.

Rechnergesteuerte Steuerung, Bildrekonstruktion und Auswertung.

Bildgebende Modalitäten: US

61

VI. Ultraschall



Ultraschallgerät



Bildgebende Modalitäten: US

62

VI. Ultraschall

Medizinische Diagnostik: Ultraschall mit Frequenzen zwischen von 2 MHz und 20 MHz.

Ultraschall dringt um so weiter ins Gewebe ein, je geringer seine Frequenz ist.
Aber: mit abnehmender Frequenz sinkt das räumliche Auflösungsvermögen.

Die von außen auf die Hautoberfläche aufgesetzte Schallsonde (Oberflächenschallkopf) wird mit Frequenzen von 5 MHz bis 13 MHz betrieben. (Guter Kompromiß zwischen Eindringtiefe und Auflösung).

Bildgebende Modalitäten: US

63

VI. US zur Diagnose und Verlaufskontrolle

Gynäkologische Ultraschall-Untersuchungen: Veränderungen an Gebärmutter und Eierstöcken, Entwicklung von Schwangerschaften.

Abdomen-Sonographie:

Untersuchung des Bauchraums, Veränderungen an Leber, Gallenblase, Milz, Bauchspeicheldrüse, Nieren, Lymphknoten und Gefäße werden dargestellt.

Ultraschall-Untersuchung der Schilddrüse:

Zysten, Tumore, Vergrößerung und Verkleinerung von Organen.

Frequenzbereich: 2 MHz bis 5 MHz, bei Kindern 5 MHz, Eindringtiefe ca. 15 - 20 cm.

Bildgebende Modalitäten: US

64

VI. US zur Diagnose und Verlaufskontrolle

Intrakavitäre Sonographie (einführbare Schallköpfe): Untersuchung von Ovarien, Uterus, Adnexen und der Prostata.

Frequenzen: zwischen 5 MHz und 7,5 MHz.

Intraluminale Untersuchungen (Gefäße).

Frequenzen: zwischen 10 MHz und 20 MHz.

Nicht zugänglich für US-Untersuchungen: luftgefüllte Organe wie die Lunge oder der Magen-Darmbereich.

Bildgebende Modalitäten: US

65

VI. Doppler-Sonographie

Beurteilung der Fließgeschwindigkeit des Blutes
Ein zur Schallquelle relativ bewegtes Objekt verändert die Frequenz der von ihr reflektierten Strahlung.

Die Frequenzänderung wird nach der Reflexion im Gerät bestimmt und daraus Richtung und Geschwindigkeit bestimmt.

Die Blutgeschwindigkeit erlaubt Aussagen über Verengungen oder Verschlüsse von Gefäßen.

Halsgefäße: 5 - 7,5 MHz
Intracraniale Gefäße: 2 MHz (Schädelkapsel)
Bauch- / Beckengefäße: 3,5 MHz
Beingefäße: 5 - 7,5 MHz

Bildgebende Modalitäten: US

66

VI. US-Anwendung: Untersuchungen der Nieren



Bildgebende Modalitäten: US

67

VI. US-Anwendung: Untersuchungen an Ungeborenen



Bildgebende Modalitäten: US

68

VI. US-Anwendung: Gefäßablagerungen

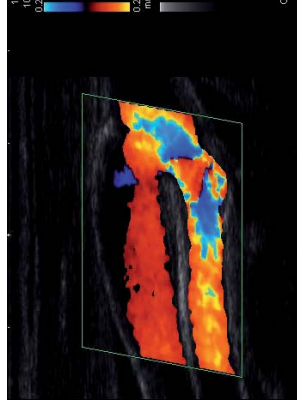


Vermessung von Ablagerungen in den Carotiden

Bildgebende Modalitäten: US

69

VI. US-Anwendung: Farbdoppler der Aortabifurkation



Bildgebende Modalitäten: US

70

VI. Vorteile der Sonographie

US-Untersuchungen finden breite Anwendung:

- schnelle Bildakquisition
- kostengünstige Methode
- US-Geräte sind transportabel
- Untersuchungen auch direkt am Krankenbett
- keine Strahlenbelastung

Bildgebende Modalitäten: US

71

VII. Bildeigenschaften: Kontrast

Bildkontrast := Differenz zwischen Grauwerten im Bild

Jedes bildgebende Verfahren generiert einen Bildkontrast auf der Basis verschiedener zugrundeliegender physikalischer Parameter

VII. Kontrastverhalten bildgebender Modalitäten

Röntgenkontrast: Dichte (g/cm^3) von Gewebe und effektive Ordnungszahl (Röntgen, Mammographie, CT)

Nuklearmedizin: Aufnahme der Radiopharmaka abhängig von der pharmakologischen Interaktion mit krankem Gewebe (SPECT, PET)

Keine Verschattung durch umliegende Gewebe
→ besserer Kontrast als Röntgenverfahren

VII. Kontrastverhalten bildgebender Modalitäten

MRT: Protonendichte (\sim Dichte (g/cm^3), Relaxationszeiten:
1. longitudinal und 2. transversal
Komplexe Wechselwirkung der Kontrastmechanismen
→ Vielzahl unterschiedlicher Aufnahmemethoden.

US: durch akustische Eigenschaften von Geweben bestimmt (Impedanz).
Impedanz:
Gewebedichte x Schallgeschwindigkeit im Gewebe
→ Gewebegrenzen (Impedanzsprünge) gut sichtbar

VII. Bildeigenschaften: räumliche Auflösung

Auflösung := kleinstes Objekt das in einem Bild räumlich abgegrenzt dargestellt werden kann.

höhere Auflösung → kleinere Objekte sind sichtbar
niedere Auflösung → Details nicht sichtbar

Limitierung: Wellenlänge der eingesetzten Strahlung (Lichtmikroskop, Röntgen, US)

Ausnahme: MRT (Magnetfeldgradienten)

VII. Räumliche Auflösung bildgebender Modalitäten

Modalität	Δ [mm]	Bemerkungen
analoges Röntgen	0.08	Limit: Auflösung des Detektors
digitales Röntgen	0.17	Limit: Größe der Detektorelemente
analoge Mammographie	0.03	höchstes Auflösungsvermögen
digitale Mammographie	0.05 – 0.10	Limit: Größe der Detektorelemente
CT	0.04	Pixelgröße ~ 0.5 mm
SPECT	7.0	Auflösungsverlust im Schnittbereich überlappender Schichten
PET	5.0	Beste Auflösung aller nuklearmedizinischen Verfahren
MRT	1.0	Auflösungsvermögen steigt mit der verfügbaren magnetischen Feldstärke
US	0.3	Limit: Länge akustischer Wellen