

Einführung in die Biophysik

Vorlesung 1 – klinische Bildgebung

Profs. Julia Herzen, Andreas Bausch, Ulrich Gerland

School of Natural Sciences

julia.herzen@tum.de, abausch@tum.de, gerland@tum.de

Inhalt

Teil I: Überblick über klinische Bildgebung

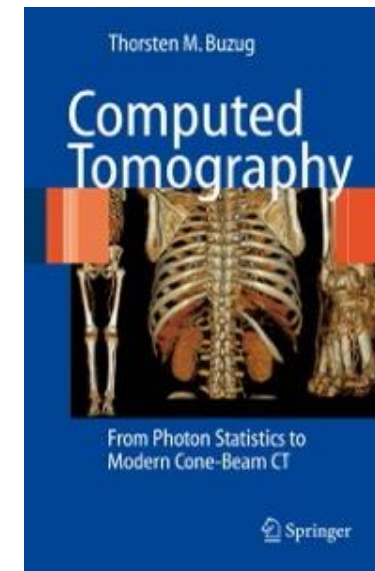
- MRT
- SPECT/PET
- Ultraschall
- Röntgenbildgebung

Teil II: Spektrale Röntgenbildgebung

- Röntgendetektoren
- Konzepte spektraler Bildgebung
- Anwendungen



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-540-39408-2>

Inhalt

Teil I: Überblick über klinische Bildgebung

- MRT
- SPECT/PET
- Ultraschall
- Röntgenbildgebung

Teil II: Spektrale Röntgenbildgebung

- Röntgendetektoren
- Konzepte spektraler Bildgebung
- Anwendungen



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>

Chapter 6

Magnetresonanz Bildgebung: Grundlagen

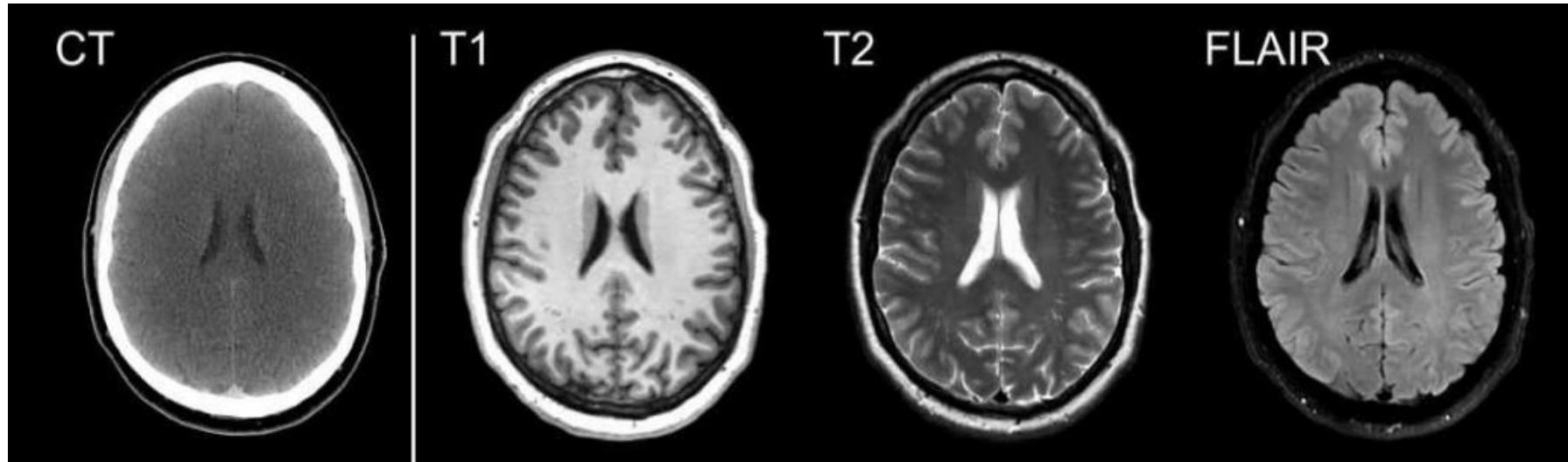
Fragen, die Sie am Ende jeder behandelten Methode beantworten können sollten:

- Was erzeugt den Kontrast?
- Wie erhält man die Ortsauflösung?

ausführlichere Behandlung in folgenden Vorlesungen im Master:

- Biomedical Physics I (Prof. Pfeiffer)
- Physics of Magnetic Resonance Imaging I (Prof. Schilling/Prof. Karampinos)

Motivation: Weichteilkontrast bei MRT



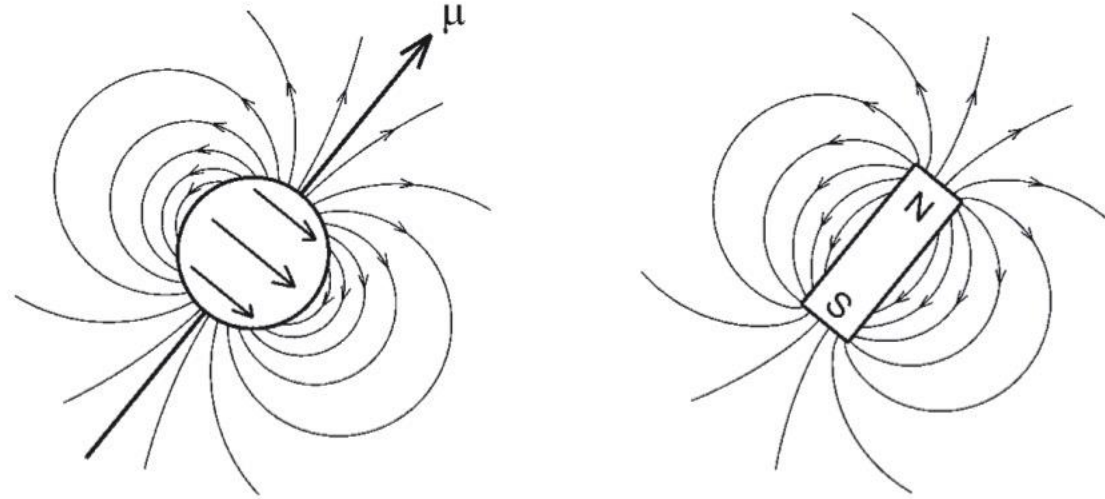
Was bietet MRT?

- 3D nicht-invasive Bildgebung
- hoher Weichteilkontrast
- keine ionisierende Strahlung

Was sind die Schwierigkeiten?

- sehr komplex, relativ langsam, schlechtere Auflösung (verglichen zu RöntgenCT)

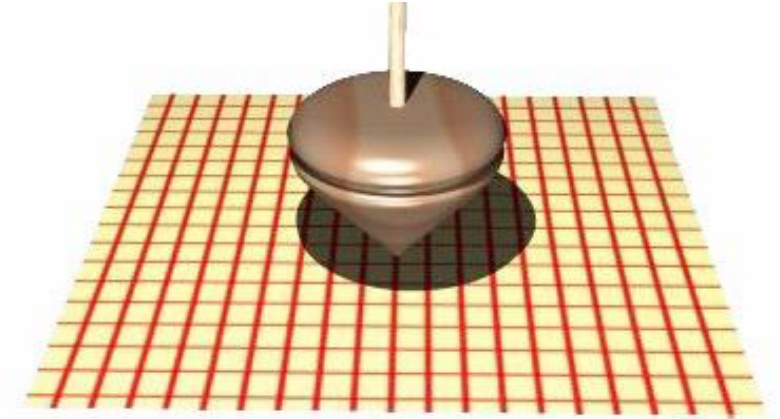
Nuklearer Spin



- Materie besteht aus Atomen
- Atome bestehen aus Nukleus und Elektronen
- Atome besitzen:
Masse, elektrische Ladung und magnetisches Moment (Bahndrehimpuls Elektronen + **nuklearer Spin**)

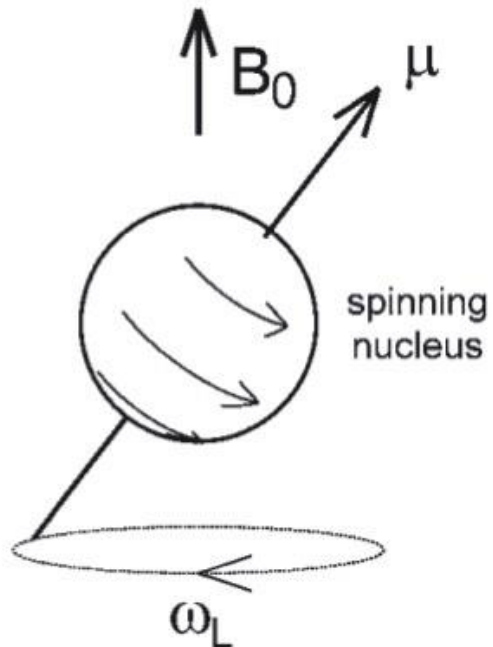
Spin Präzession

Im externen Magnetfeld **präzediert der nukleare Spin**
analog zum rotierenden Kreisel im Gravitationsfeld der Erde



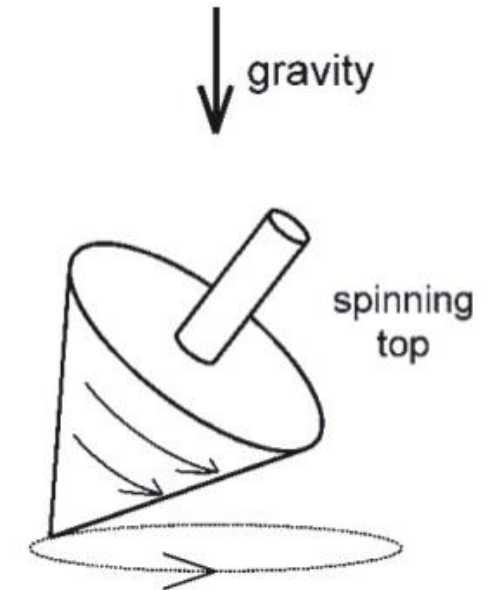
Larmor Frequenz

$$\omega_L = -\gamma B_0$$



γ :
 B_0 :

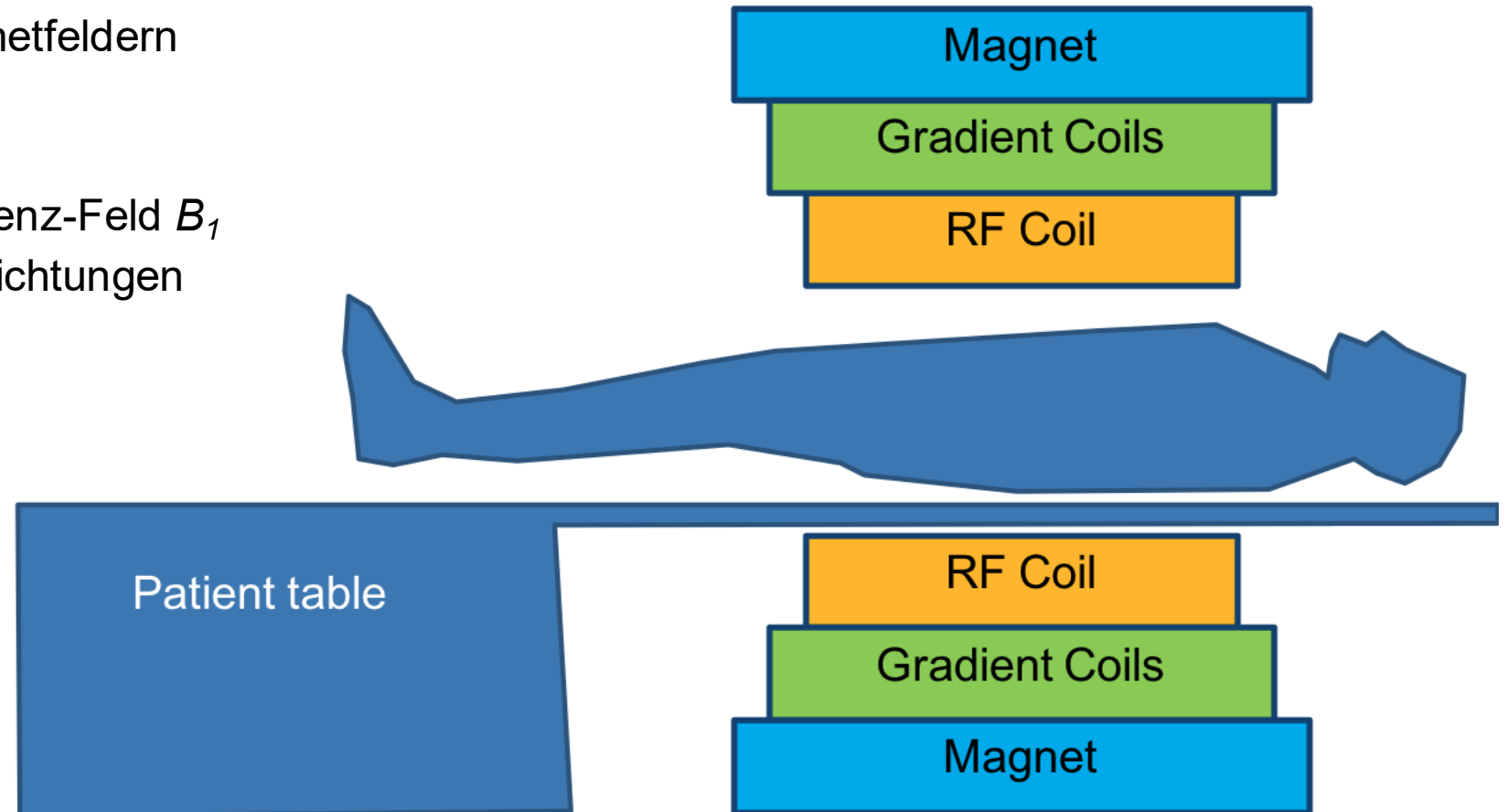
Gyromagnetisches Verhältnis
äußeres Magnetfeld



MRT System

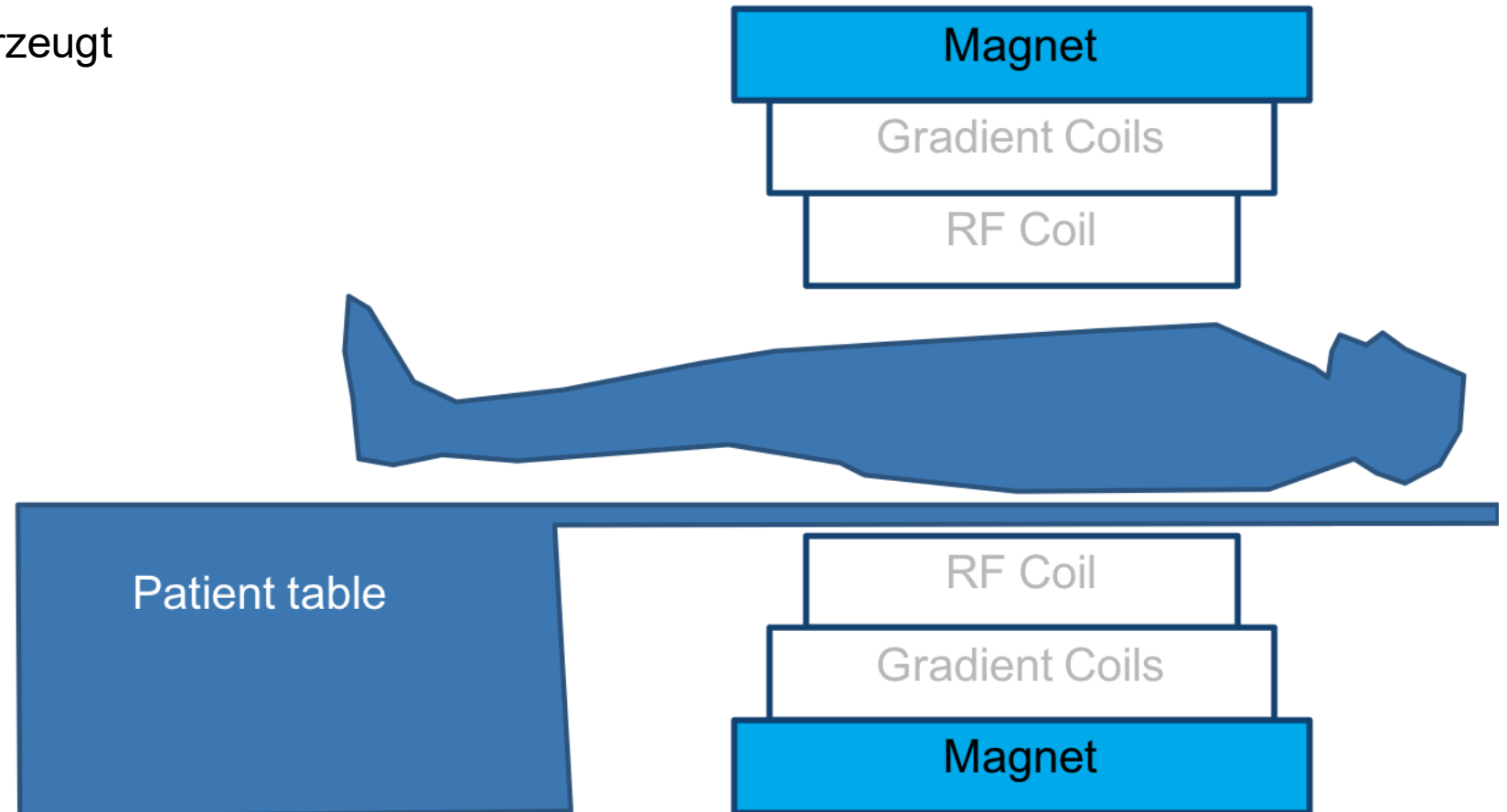
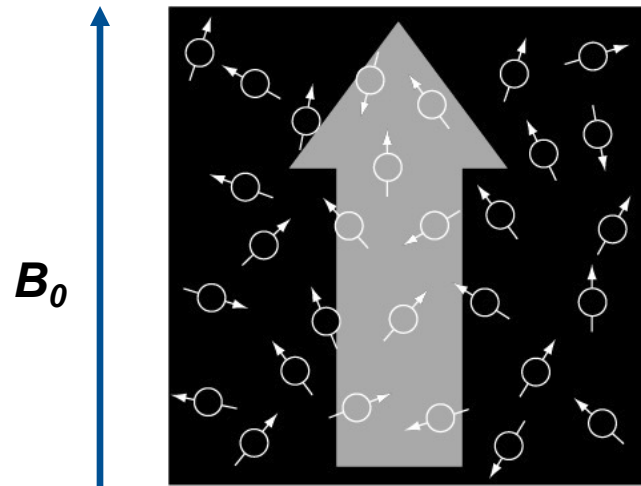
Man benötigt drei Typen von Magnetfeldern um ein MRT Bild zu erzeugen

1. ein statisches Magnetfeld B_0
2. ein zeitabhängiges Radiofrequenz-Feld B_1
3. ein Gradientenfeld in alle Ortsrichtungen



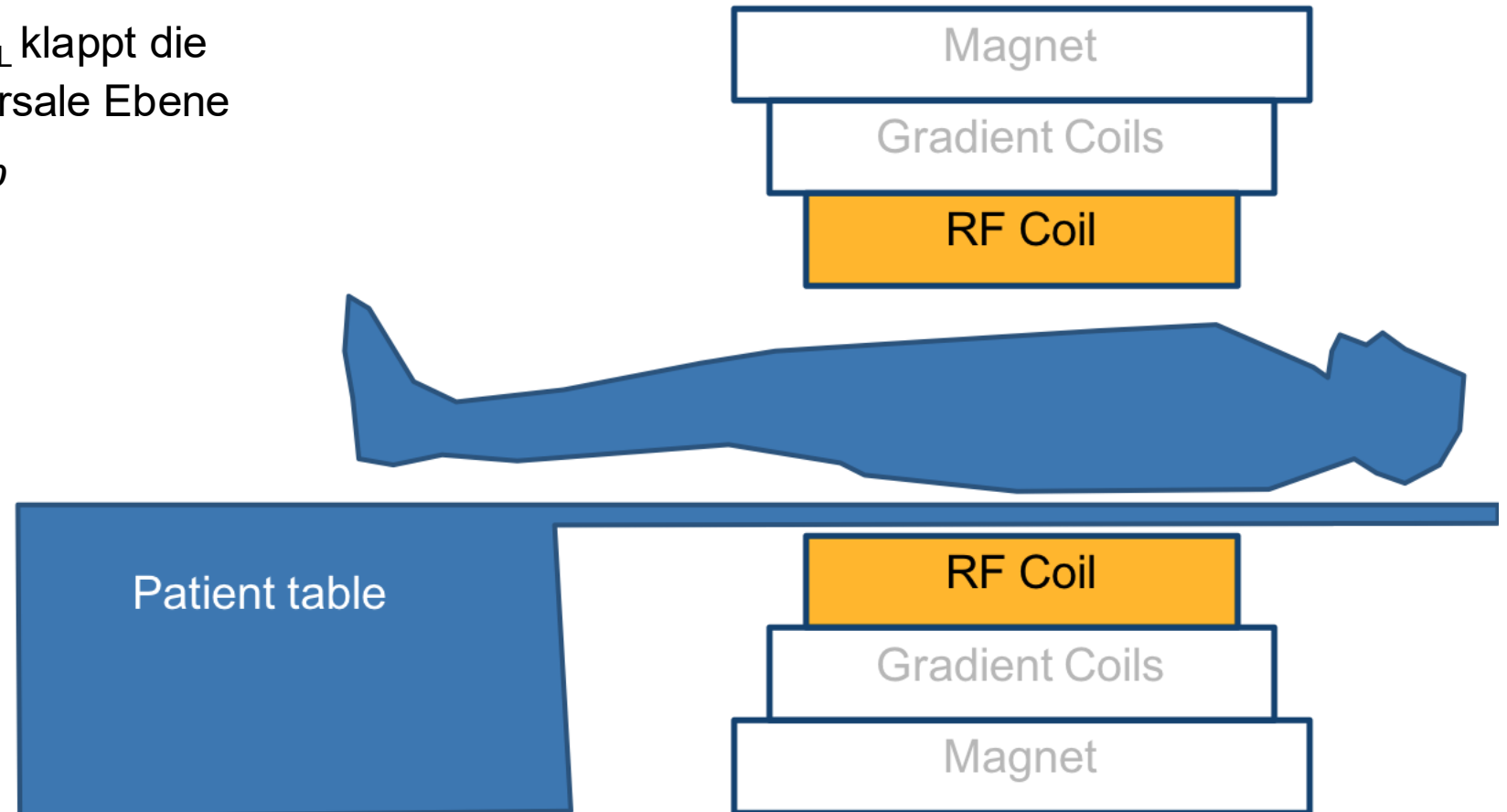
statisches Magnetfeld B_0

richtet \mathbf{N} nukleare Spins aus und erzeugt
eine effektive Magnetisierung \mathbf{M}

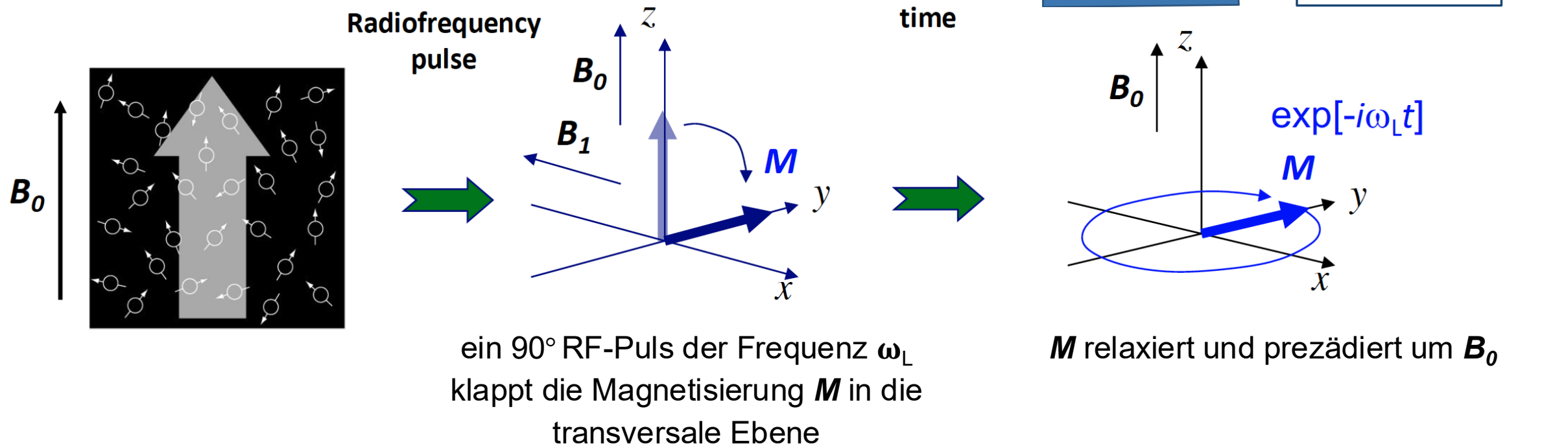


zeitabhängiges Radiofrequenz-Feld B_1

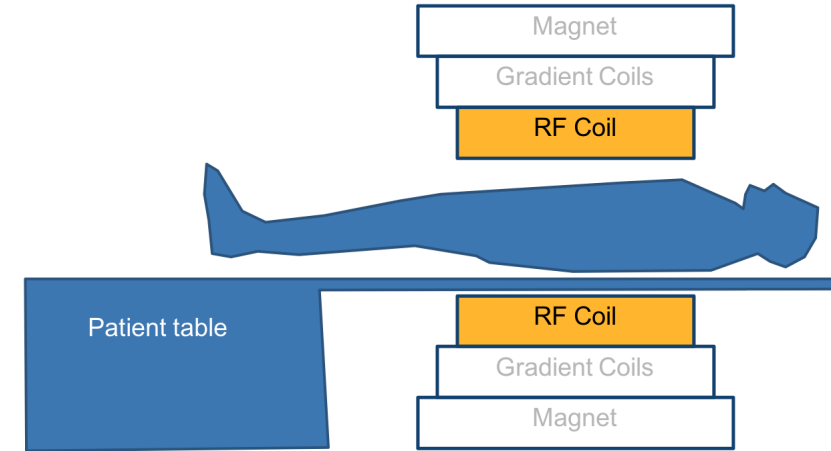
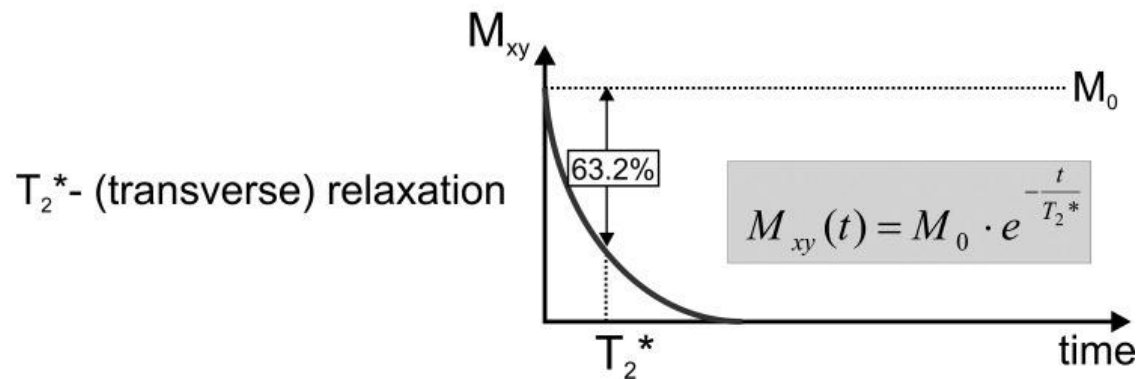
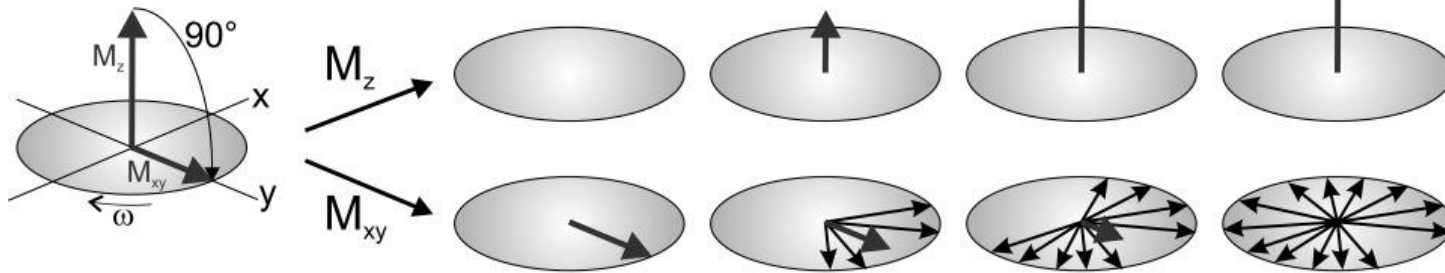
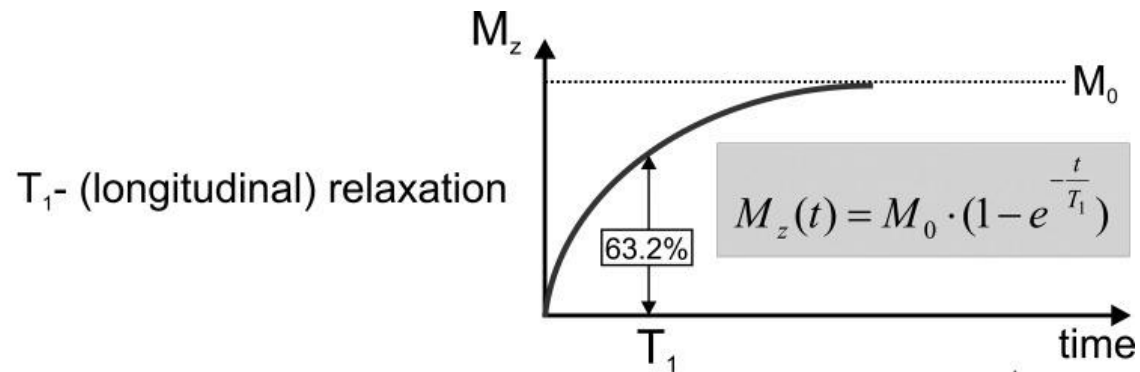
- ein 90° RF-Puls der Frequenz ω_L klappt die Magnetisierung \mathbf{M} in die transversale Ebene
- \mathbf{M} relaxiert und präzidiert um \mathbf{B}_0



zeitabhängiges Radiofrequenz-Feld B_1

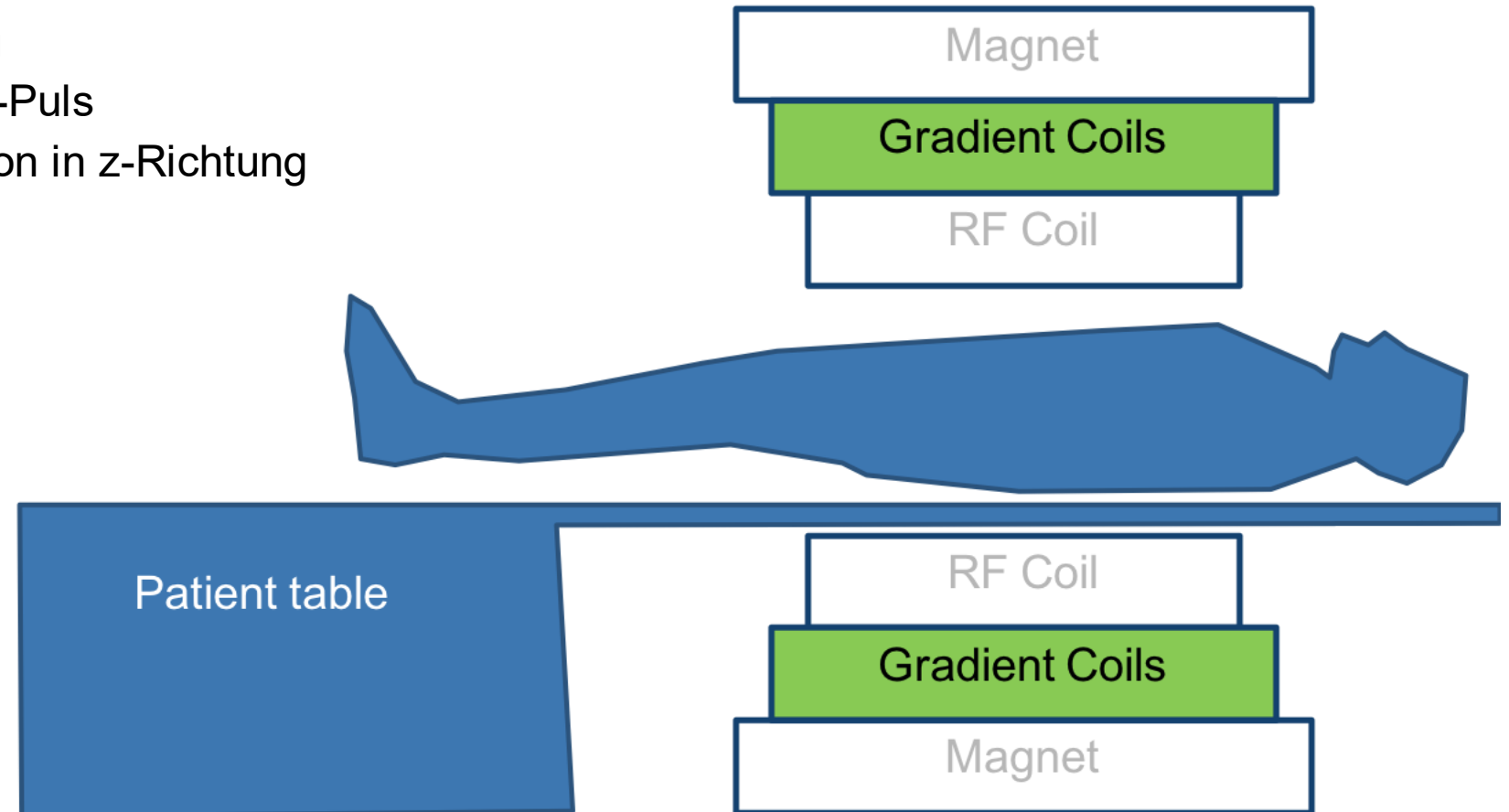


T_1 / T_2 relaxation



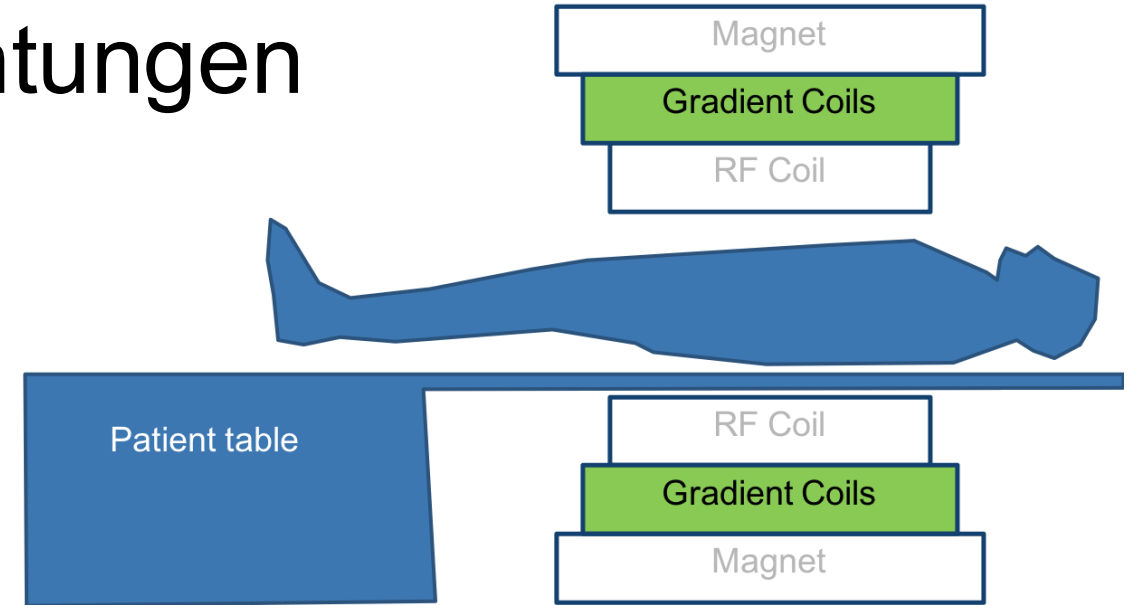
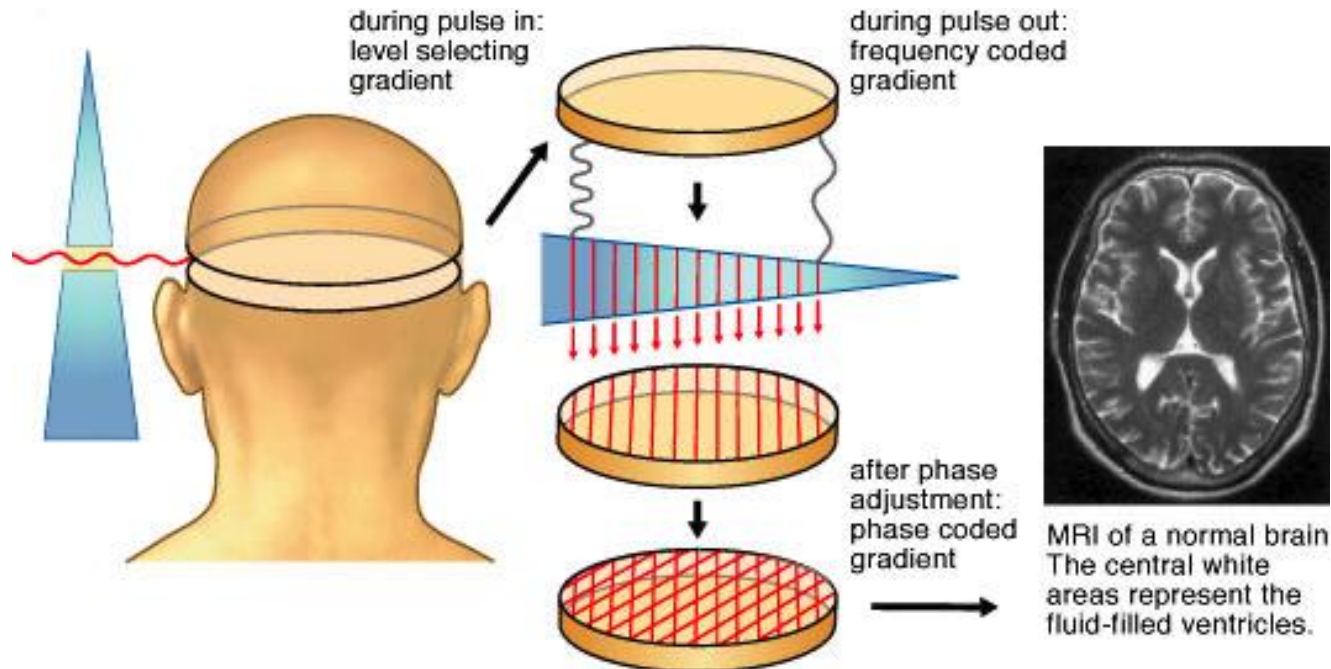
Gradientenfeld in alle Ortsrichtungen

- ein Gradientenfeld in z-Richtung
- und ein frequenzabhängiger RF-Puls ermöglichen eine Schichtselektion in z-Richtung



Gradientenfeld in alle Ortsrichtungen

- ein Gradientenfeld in z-Richtung
- und ein frequenzabhängiger RF-Puls ermöglichen eine Schichtselektion in z-Richtung



Referenzen für weitere Information

Video Tutorial von Sir Paul Callaghan zum Prinzip von MRT

<http://www.magritek.com/support/videos/>

Bücher über MRT

- “Principles of Magnetic Resonance Imaging: A Signal Processing Perspective” by Zhi-Pei Liang and Paul C. Lauterbur.
- “Magnetic Resonance Imaging Physical Principles and Sequence Design” 2. Ed. by: Robert W. Brown, Y.-C. Norman Cheng, E. Mark Haacke, Michael R. Thompson, Ramesh Venkatesan

Inhalt

Teil I: Überblick über klinische Bildgebung

- MRT
- SPECT/PET
- Ultraschall
- Röntgenbildgebung

Teil II: Spektrale Röntgenbildgebung

- Röntgendetektoren
- Konzepte spektraler Bildgebung
- Anwendungen



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>

Chapter 10

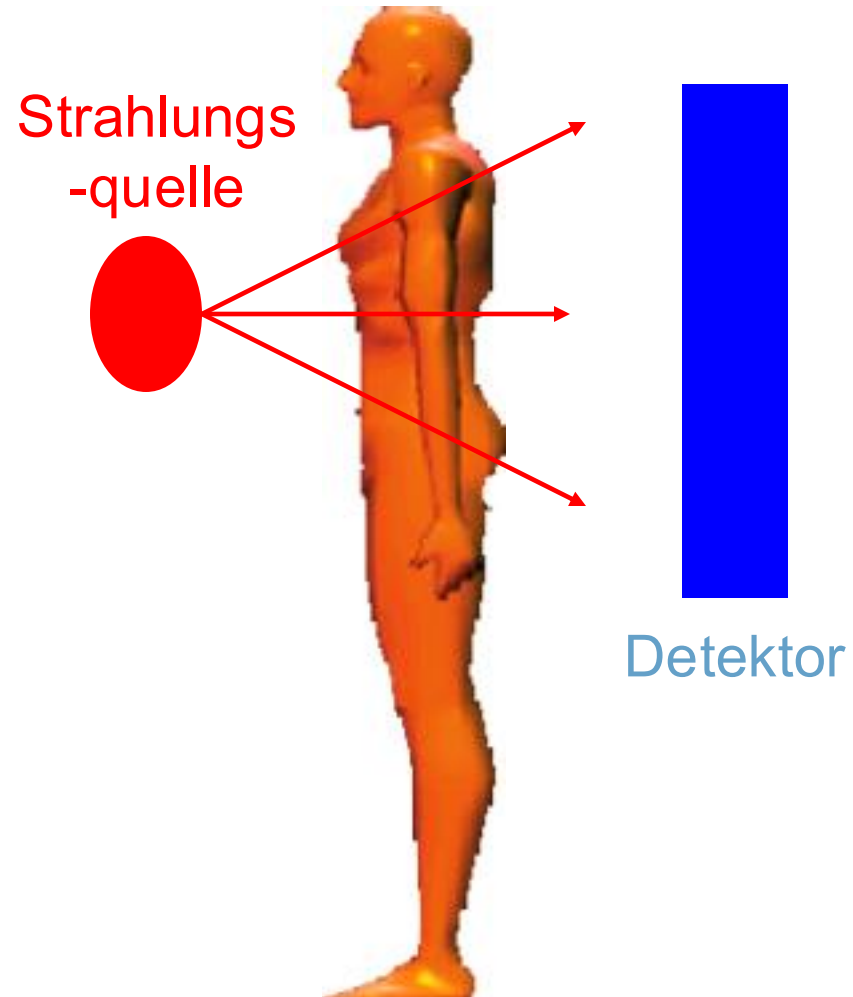
SPECT/PET Bildgebung: Grundlagen

Fragen, die Sie am Ende jeder behandelten Methode beantworten können sollten:

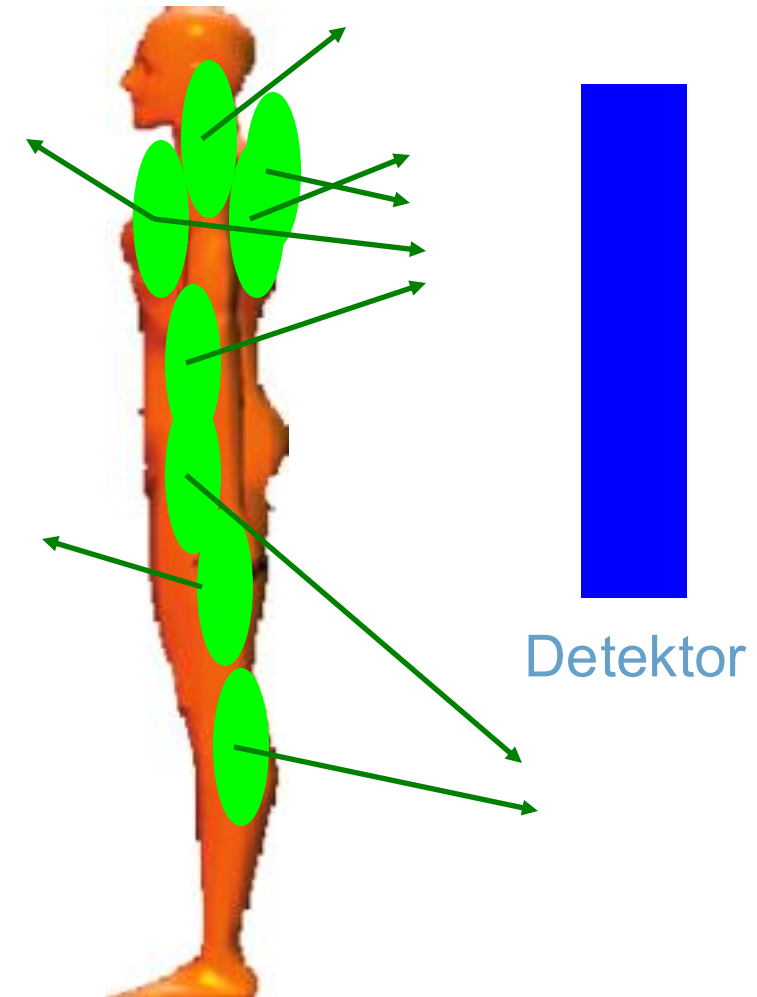
- Was erzeugt den Kontrast?
- Wie erhält man die Ortsauflösung?

ausführlichere Behandlung in folgenden Vorlesungen im Master:

- Biomedical Physics I (Prof. Pfeiffer)
- Einführung in die Theranostic: Konzepte, Implementierung, klinische Anwendung (Prof. Nekolla)



Radiologie



Nuklearmedizin

- Der Tracer (Radiopharmaka) beeinflusst nicht die zu untersuchenden physiologischen Vorgänge
- Möglich durch hohe Sensitivität, typisch verwendete Menge von ^{18}F -FDG: $6 \times 10^{-12} \text{ mol} \equiv 1 \text{ ng}$

	CT	MRT	Nuk. Med.
Ortsauflösung (mm)	< 1	< 1	5 – 15
Sensitivität (ng/l)	1000 000	1000	1-10

Welche Form von radioaktiver Strahlung ?

Reichweite in Gewebe für verschiedene Strahlungstypen:

	Energie	Reichweite
α	einige MeV	< 1 mm
β	100 keV – 1 MeV	~ einige mm
γ	100 – 500 keV	> einige cm

=> nur γ -Strahlen sind sinnvoll einsetzbar !

Welche Radionuklide eignen sich ?

Wünschenswerte Charakteristiken:

- Nur γ -Strahlung (α & β würde hohe Dosis im Körper erzeugen)
- Möglichst kurze, aber logistisch noch sinnvolle Halbwertszeit

Nuklid	Halbwertszeit	Zerfall	Energie
^{99m}Tc	6 h	γ	140 keV
^{201}Tl	73 h	γ	70 keV
^{123}I	13 h	γ	159 keV
^{18}F	110 min	$e^+, \gamma \gamma$	511 keV
^{11}C	20 min	$e^+, \gamma \gamma$	511 keV
^{13}N	10 min	$e^+, \gamma \gamma$	511 keV

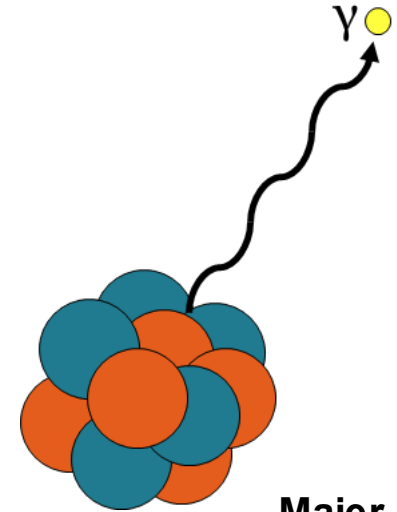
SPECT

PET

Grundlegende physikalische Prinzipien:

Szintigrafie & SPECT („Single Photon Emission Tomography“)

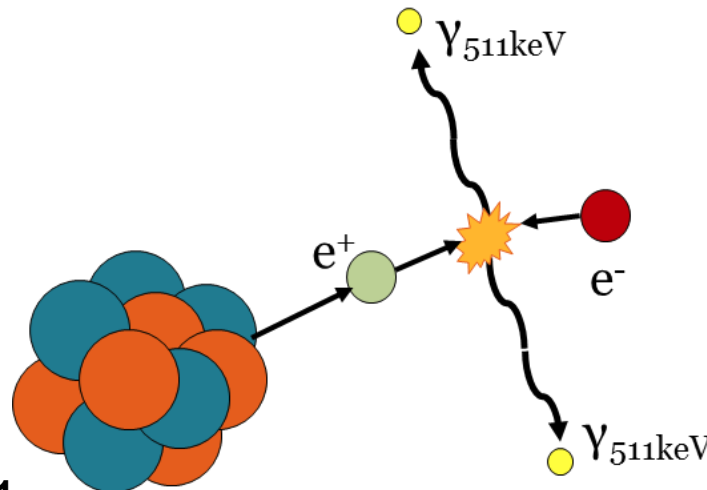
Detektion einzelner γ -Quanten



Maier, Fig. 10.1

PET („Positron Emission Tomography“)

Koinzidenz-Detektion von zwei 511 keV γ -Quanten β^+ / e^- Annihilation



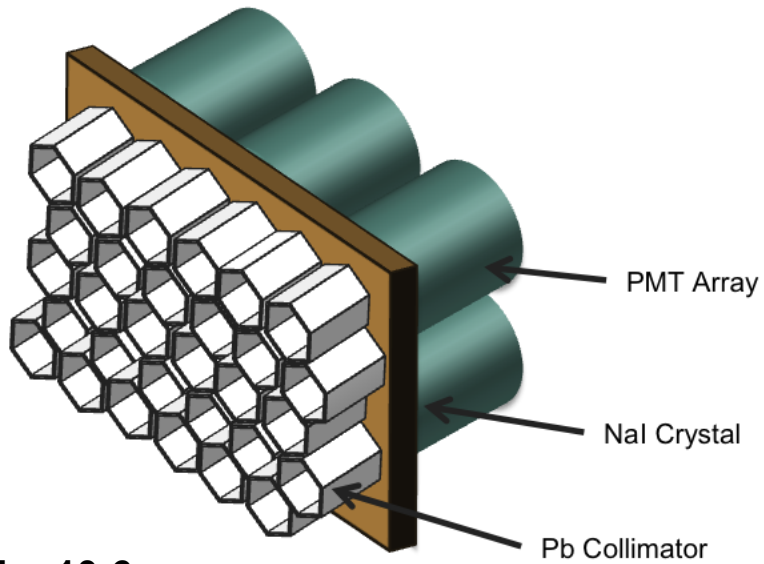
Maier, Fig. 10.1

Dominierende Effekte bei typischen Gammaenergien der Nuklearmedizin:

- Compton-Effekt
- Photo-Effekt

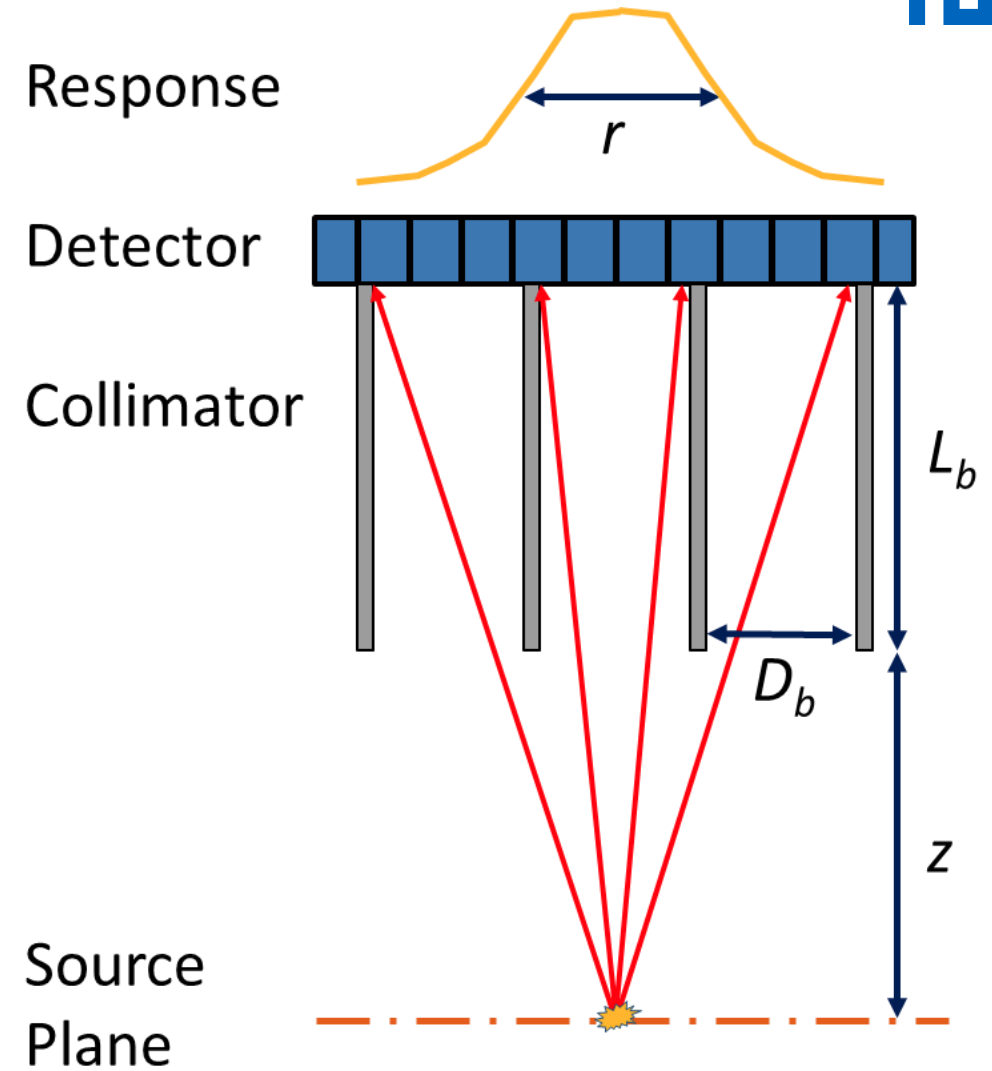
Abhängigkeit der Wechselwirkung von:

- Energie des Gammaquants
- Dichte des Materials
- Kernladungszahl des Materials
- Dicke des Materials



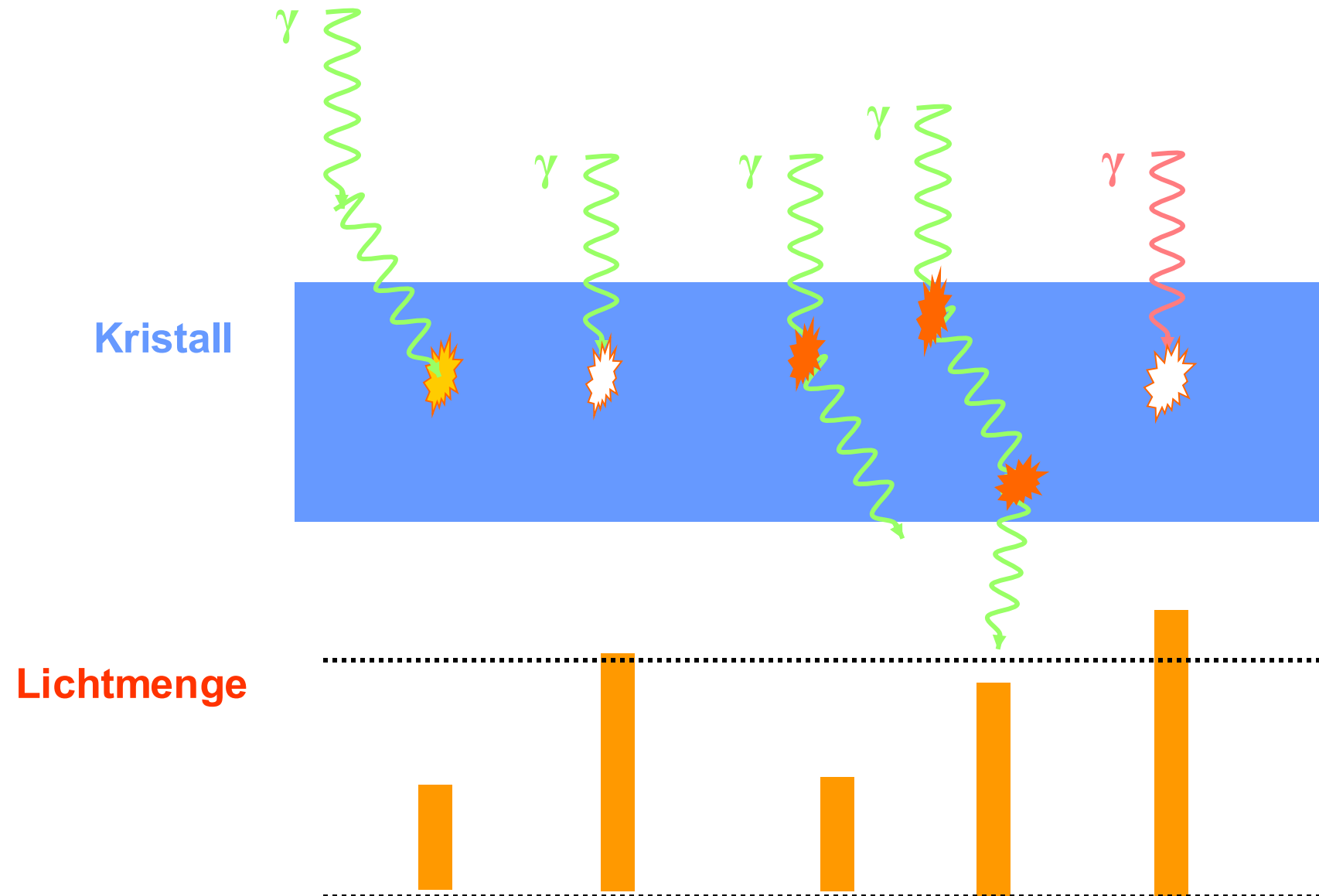
Maier, Fig. 10.6

PTM = photomultiplier tubes

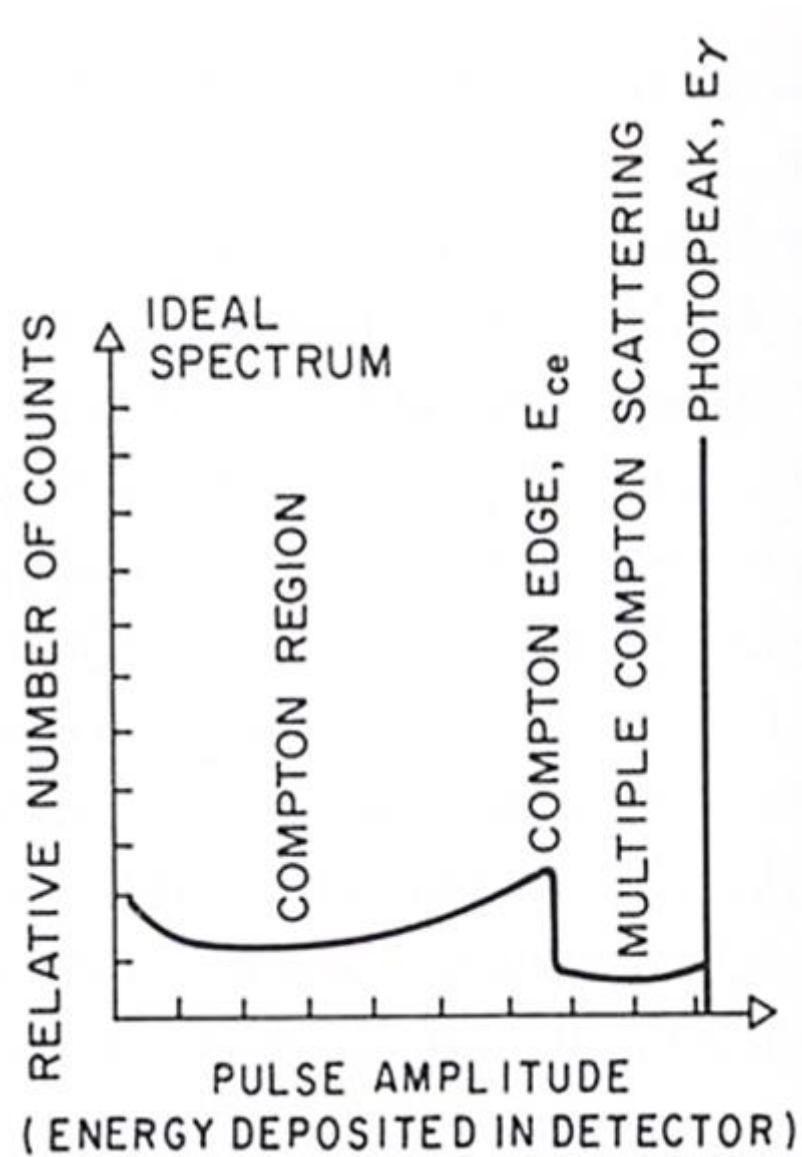


Maier, Fig. 10.7

Mögliche Detektionsprozesse



Szintillationsdetektor: Energiespektrum





Detektor-Grösse: ~ 50 cm x 60 cm

60 Photomultiplier pro Detektor

Energieauflösung: < 10% @140 keV

Ortsauflösung: < 3 mm

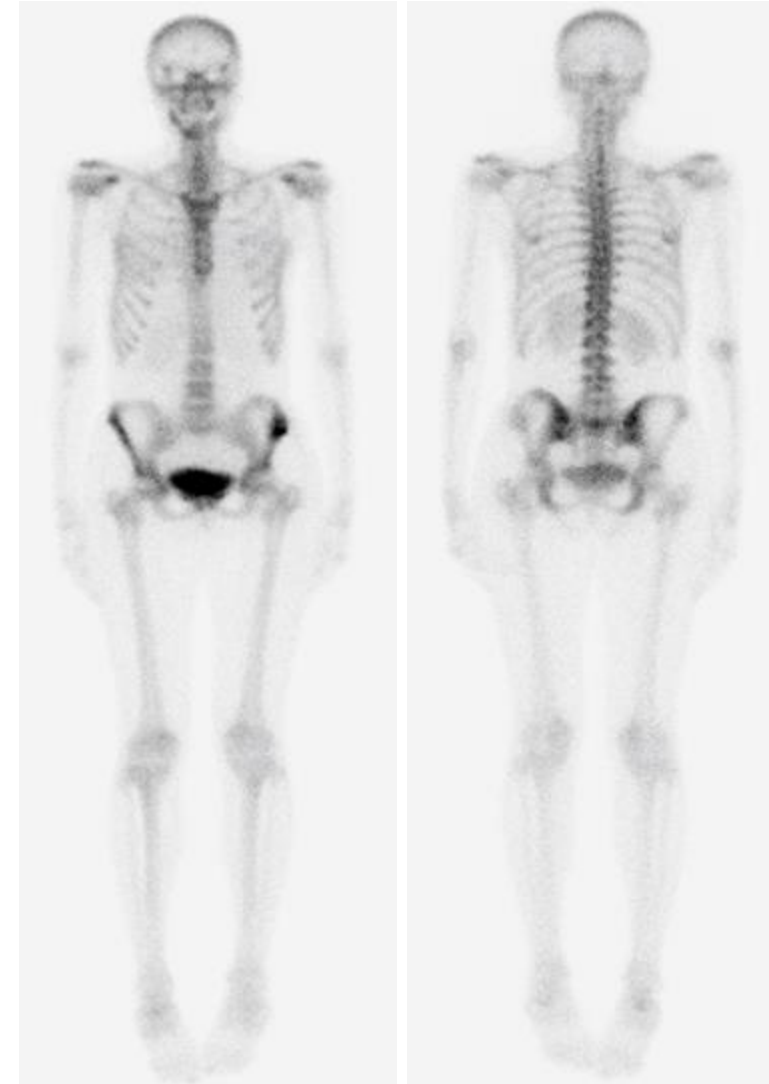
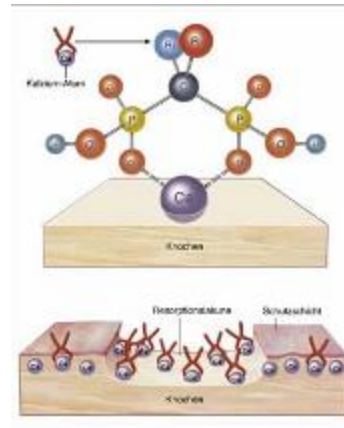
Knochenszintigrafie:

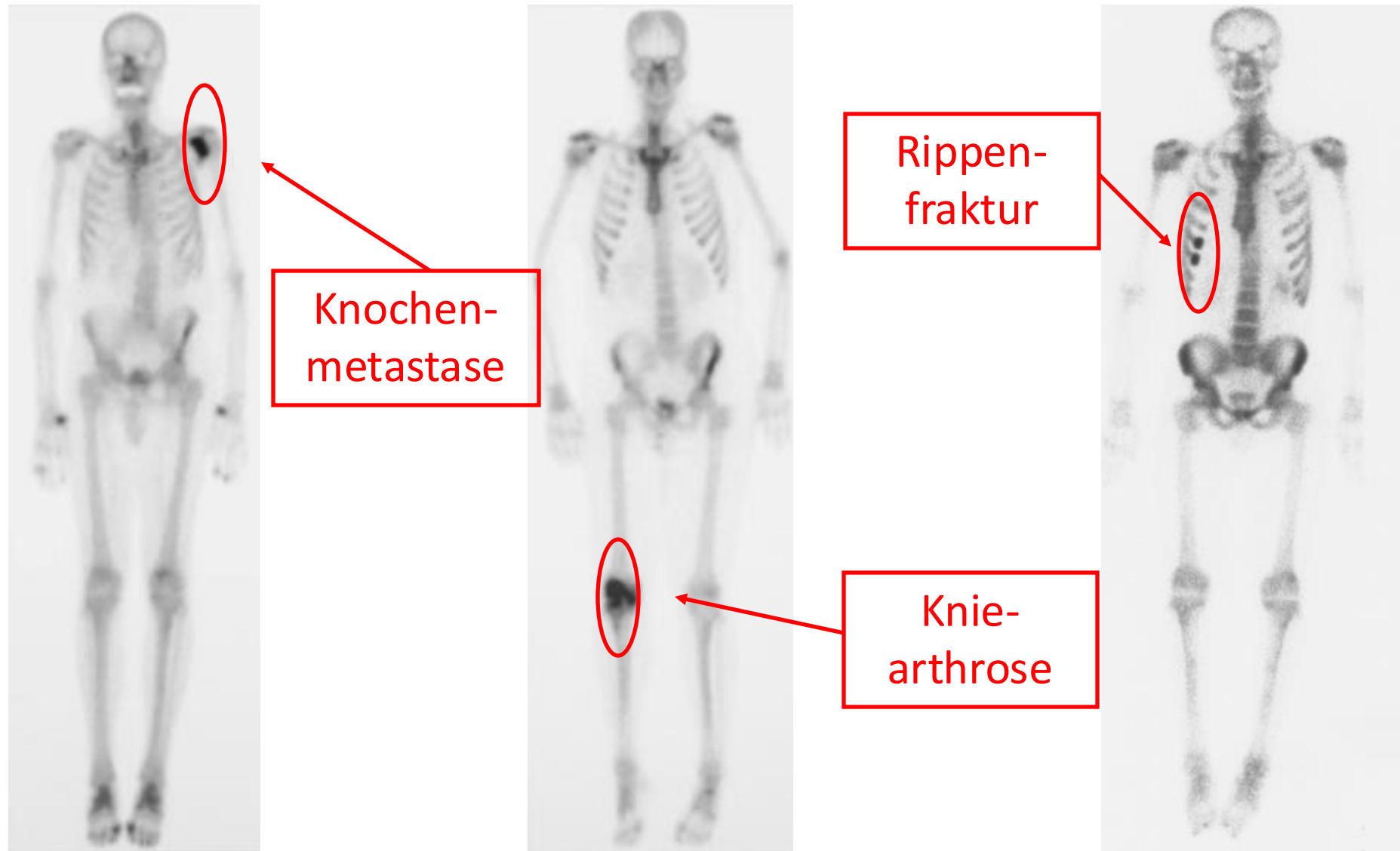
Erhöhter Metabolismus im Knochen:

- Knochenbrüchen
- Entzündungen
- Verschleißerscheinungen
- Knochenmetastasen

Tracer:

^{99m}Tc -Bisphosphonat

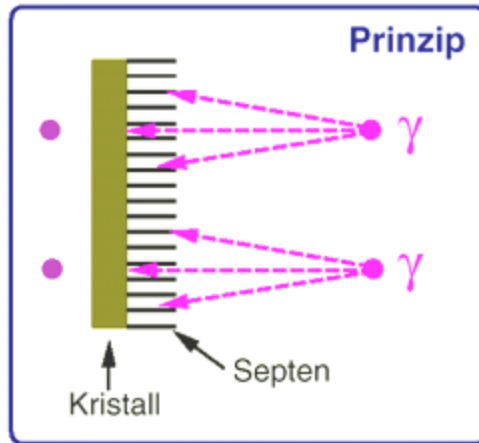




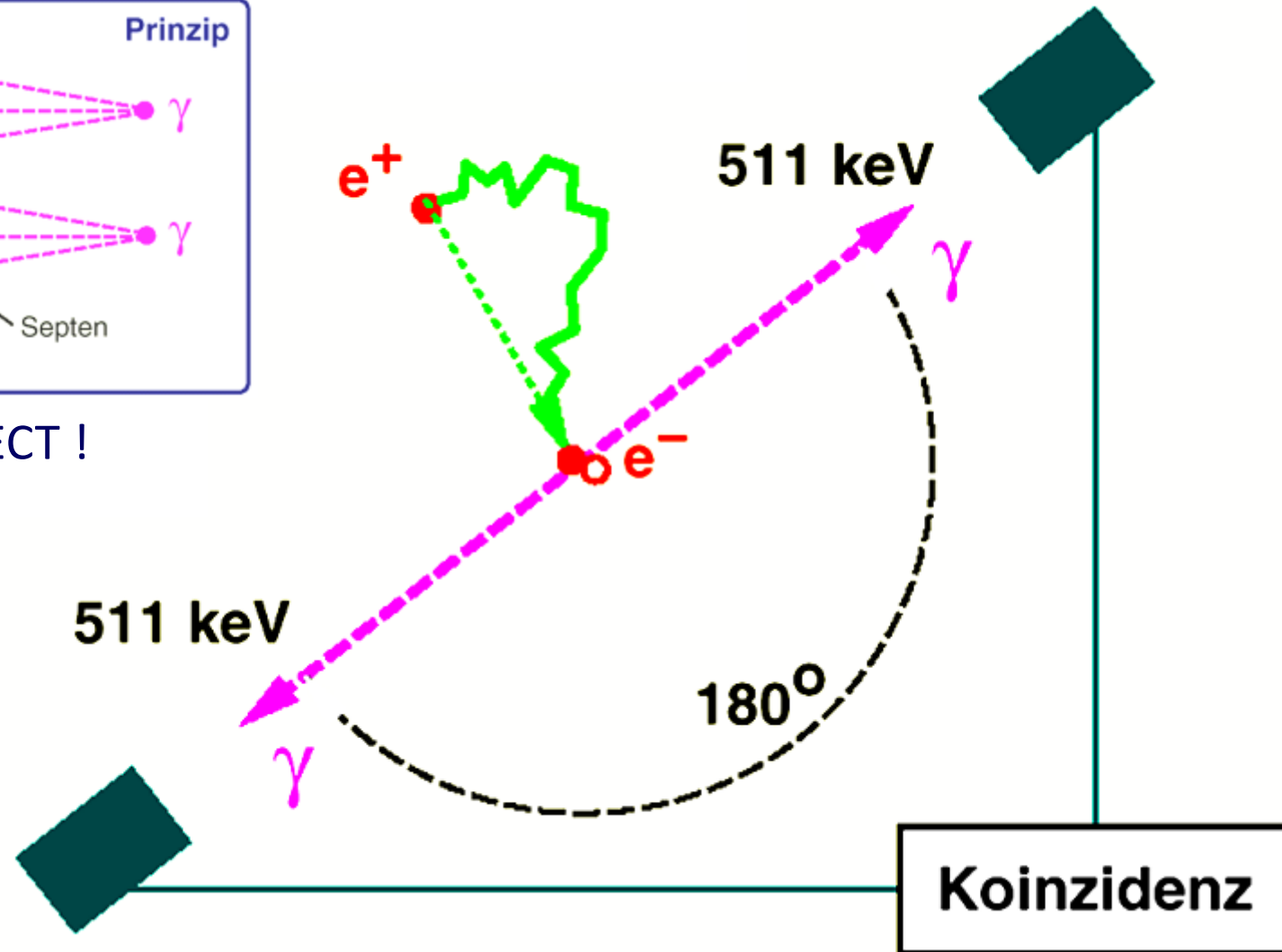
SPECT-Doppelkopfkamera

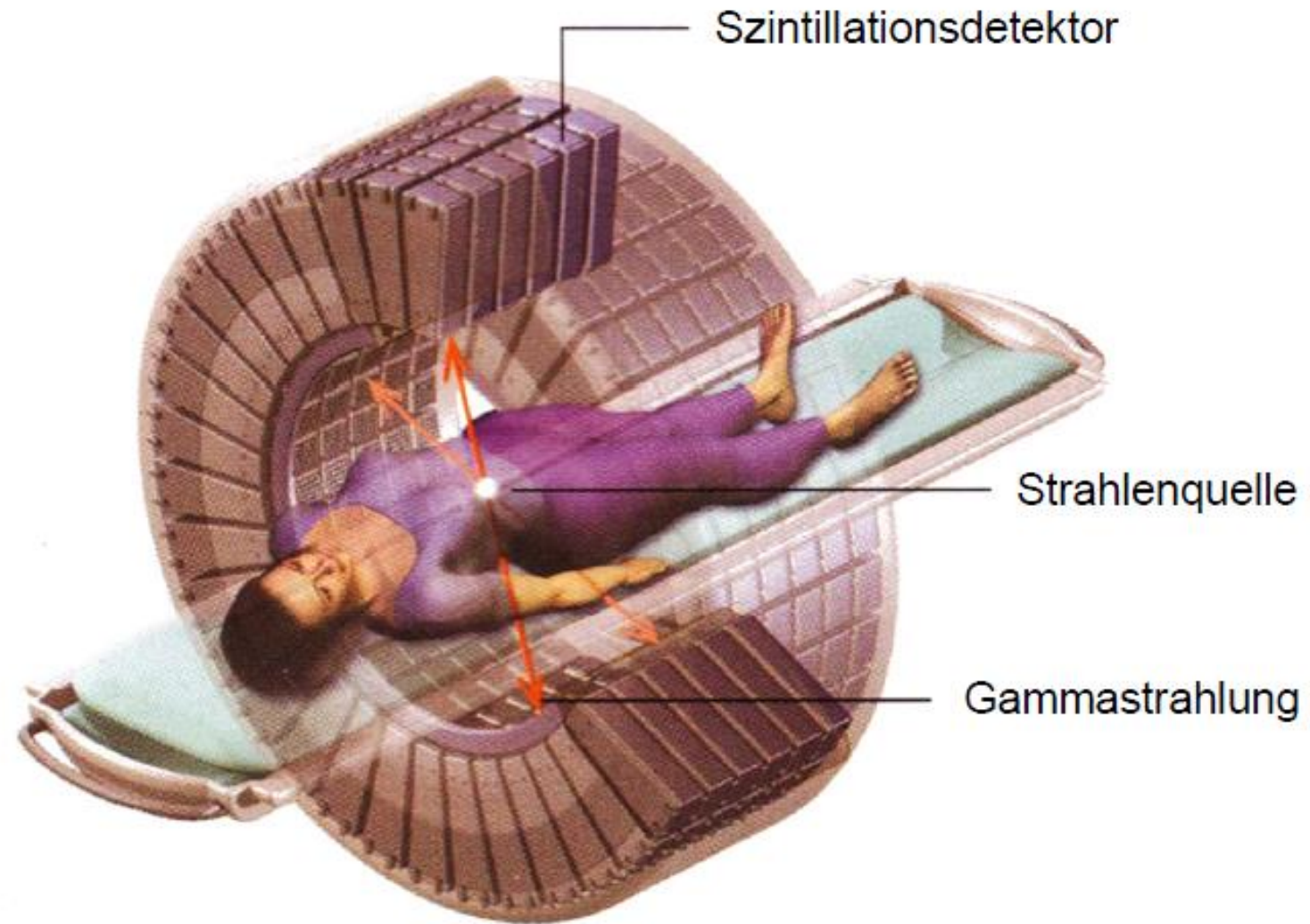






vgl. SPECT !





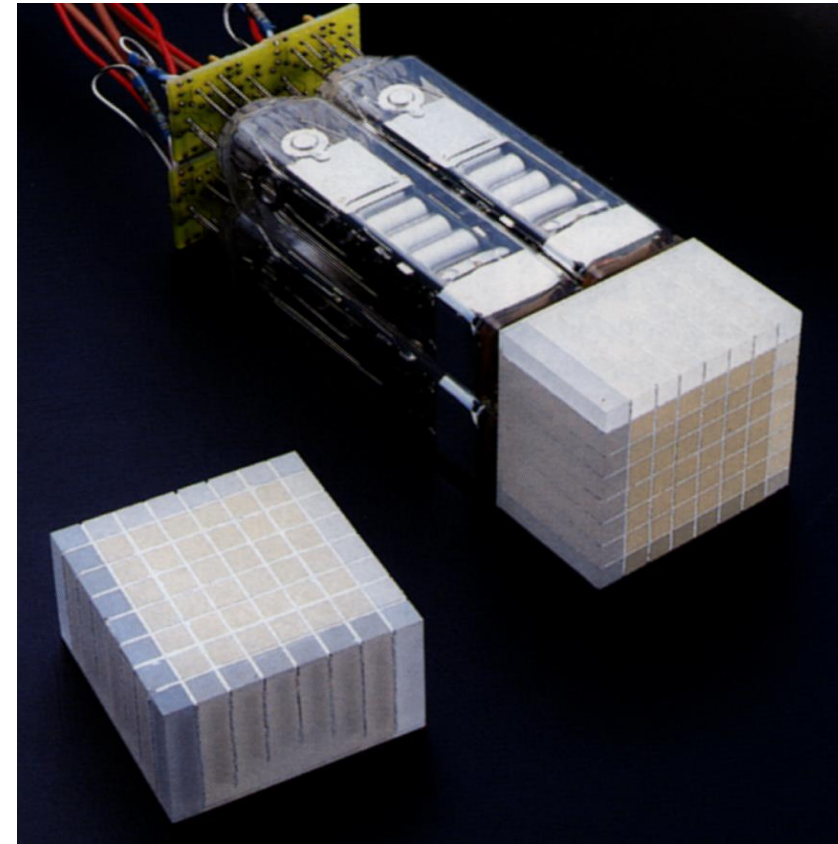
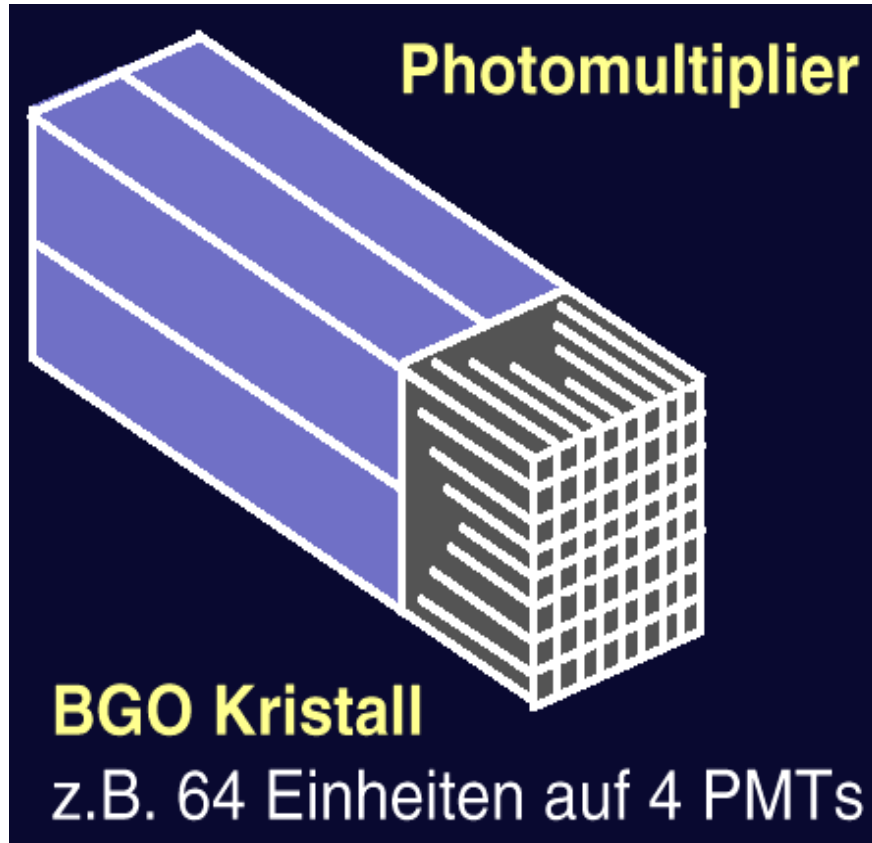


1968 PC-I: Erster PET Scanner
Burnham and Brownell (MGH)



2009 Siemens Biograph
PET/ CT System

Prinzip: Szintillator + Photomultiplier

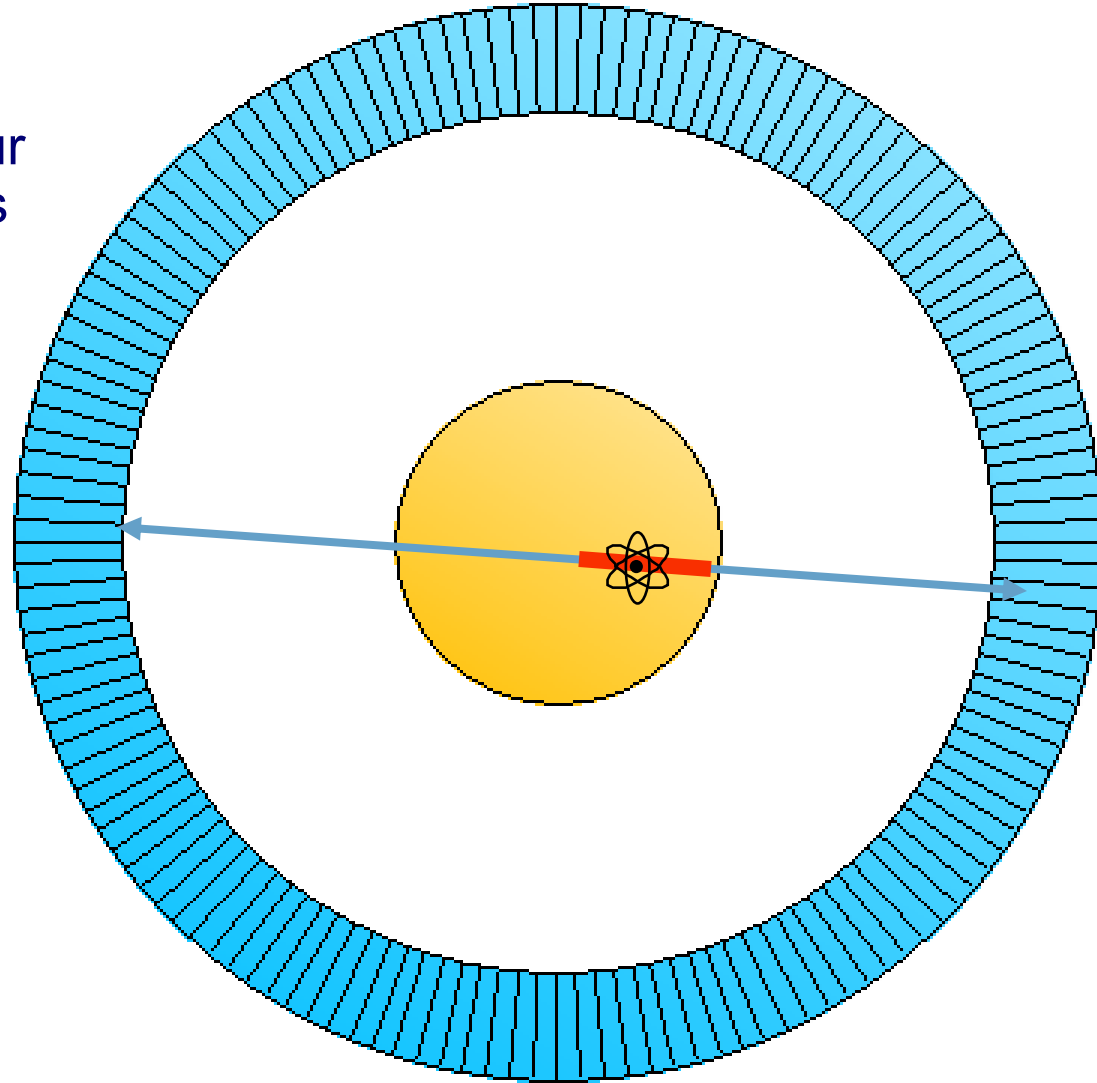


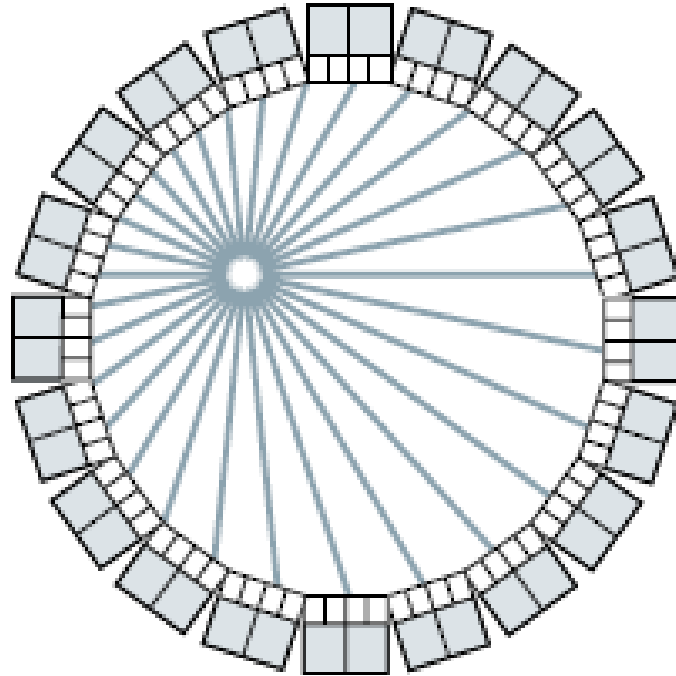
Idee:

Benutze Flugzeitdifferenz zur
Lokalisation des Ereignisses

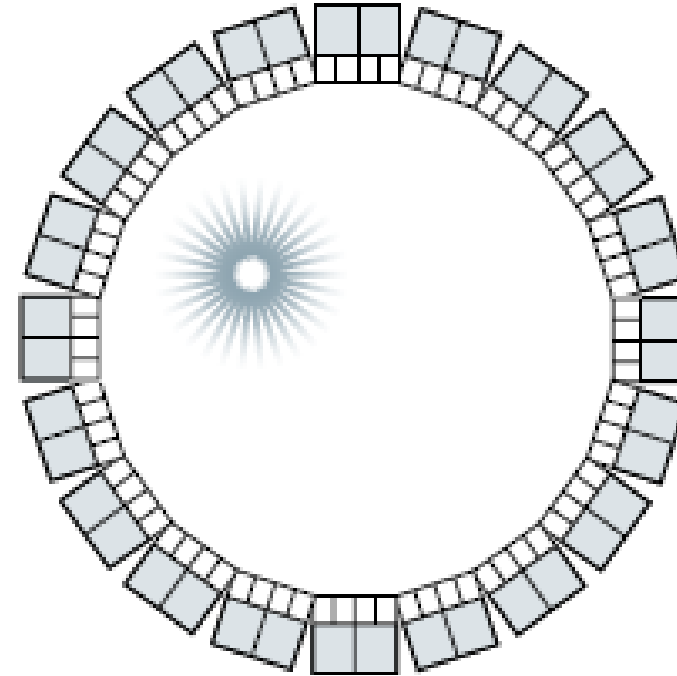
Problem:

1 ns Zeitauflösung
=
30 cm Ortsauflösung

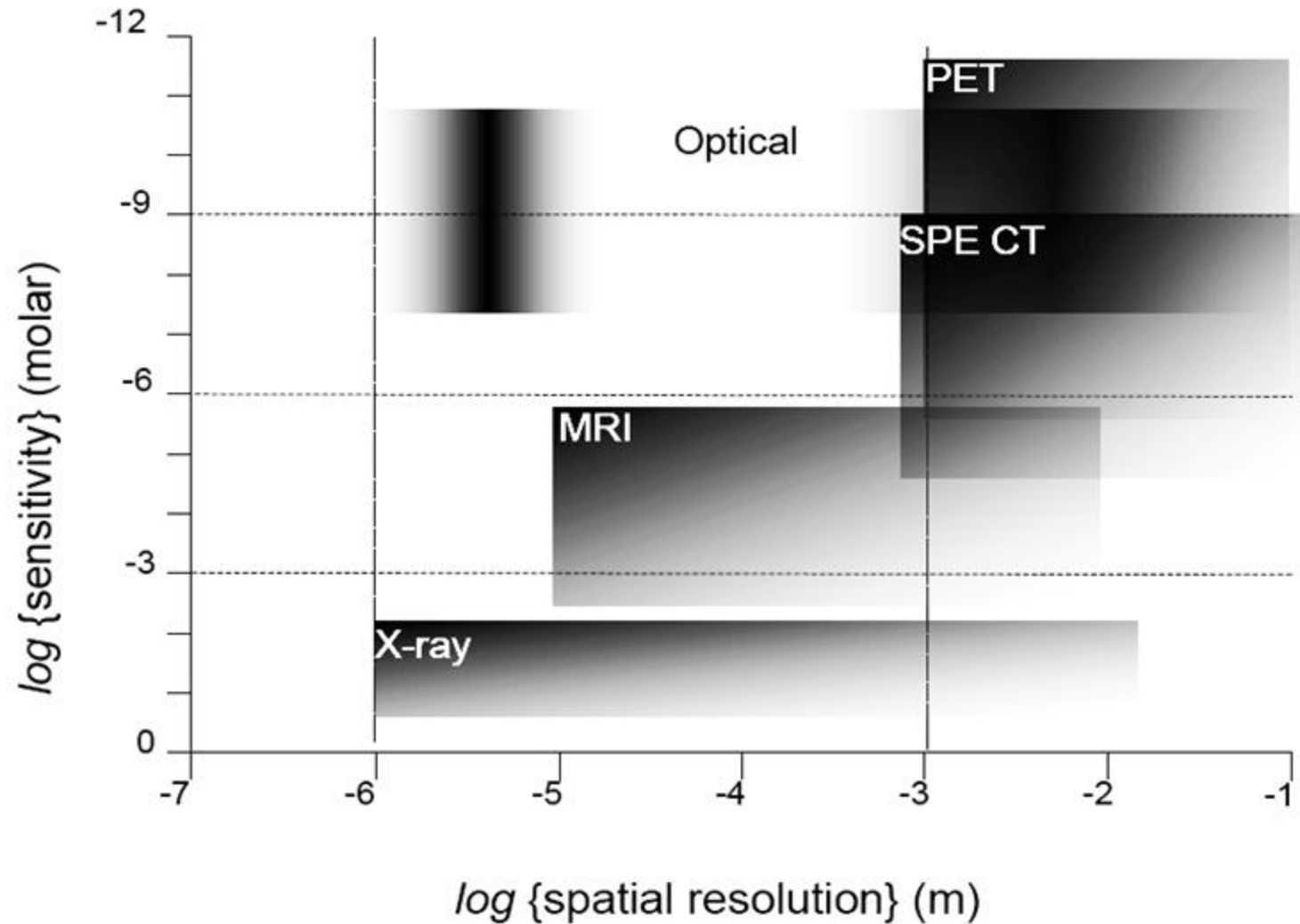


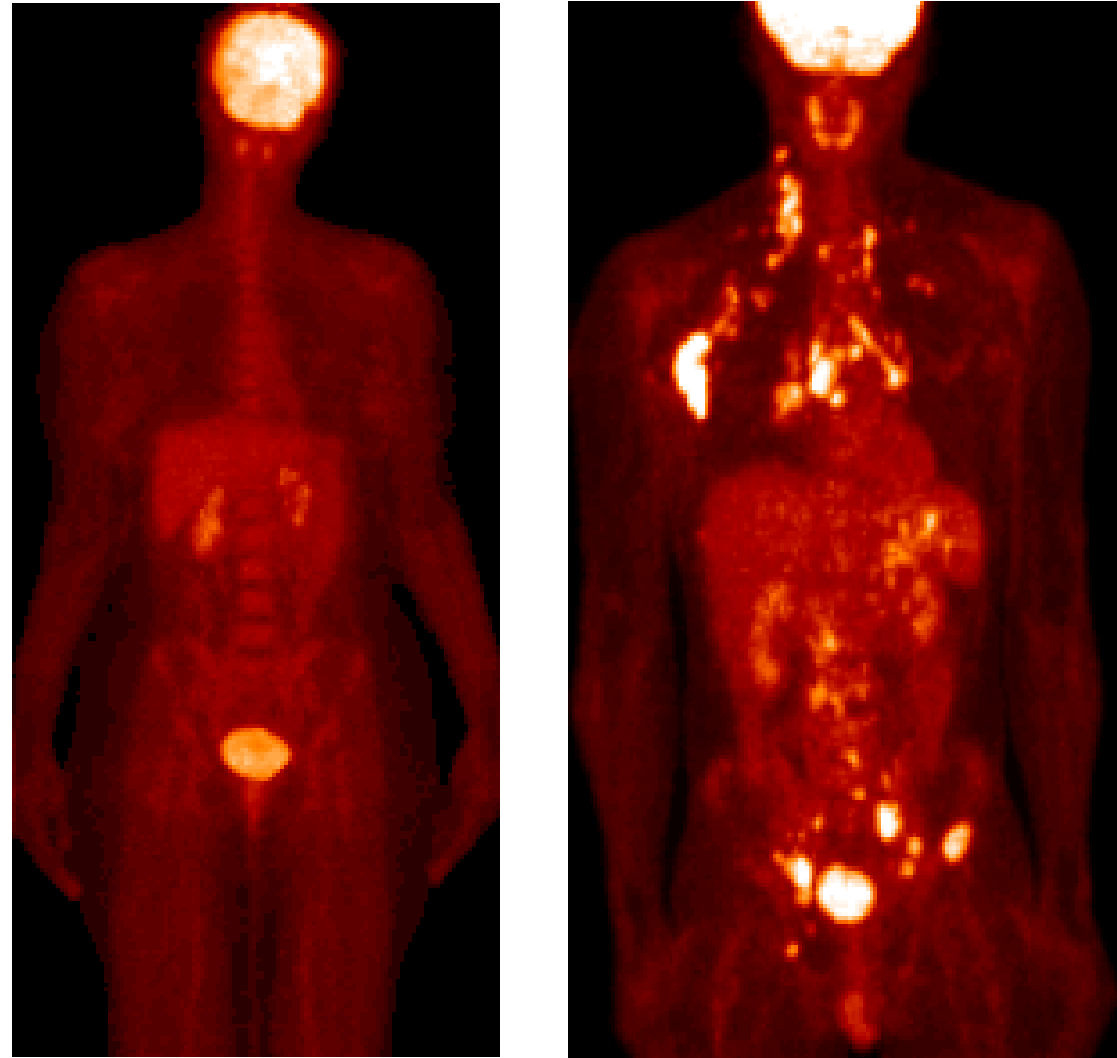


**Koinzidenzlinien
konventionelles PET**



**Einschränkung des
Bereichs im TOF-PET**





F-18 & Fluorodeoxyglucose (FDG) zur Tumor-Detektion

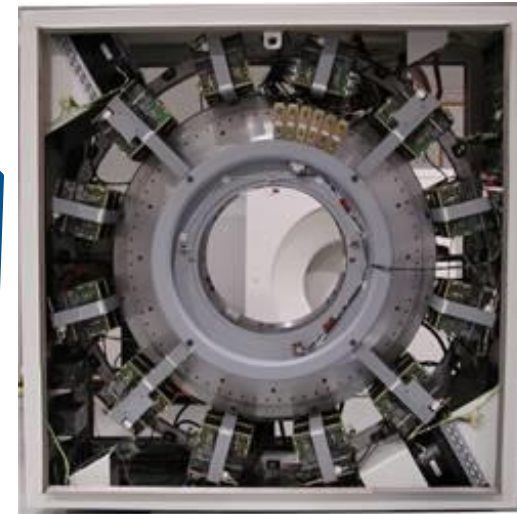
Vorteile:

- Kombination von funktioneller (PET) und anatomischer (CT) Information
- Hohe Genauigkeit der Koregistrierung
- CT-basierte Schwächungskorrektur
- Quantitative Daten

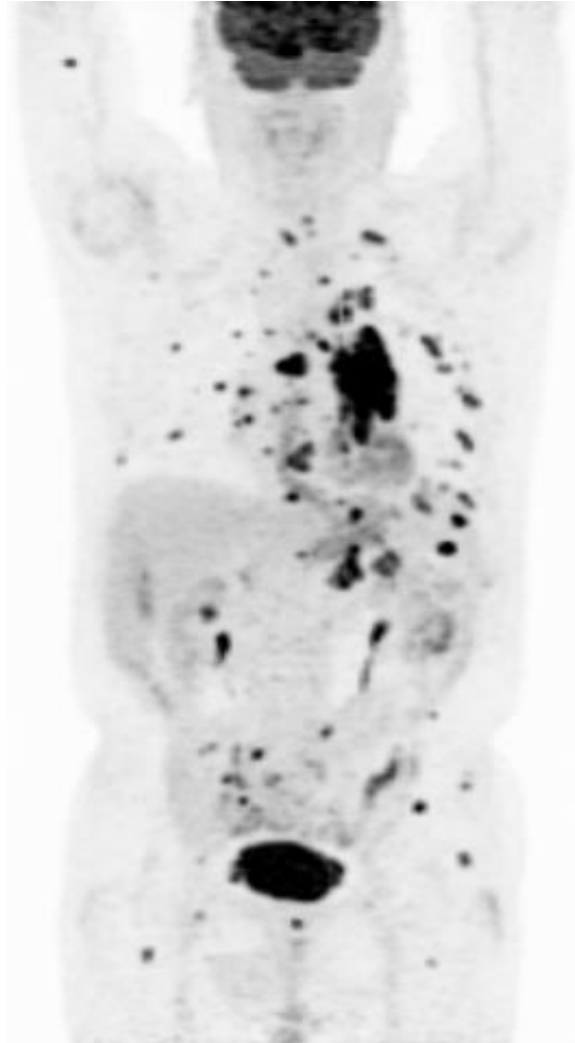


CT

PET



5-minute PET



CT

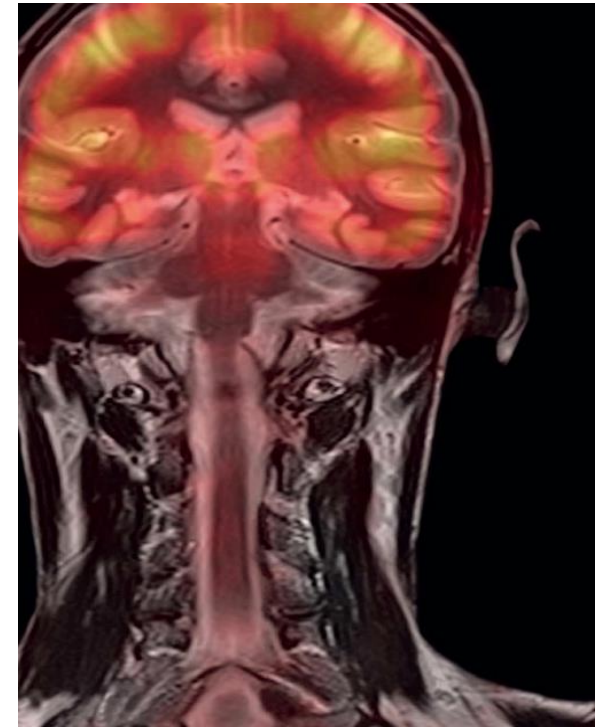
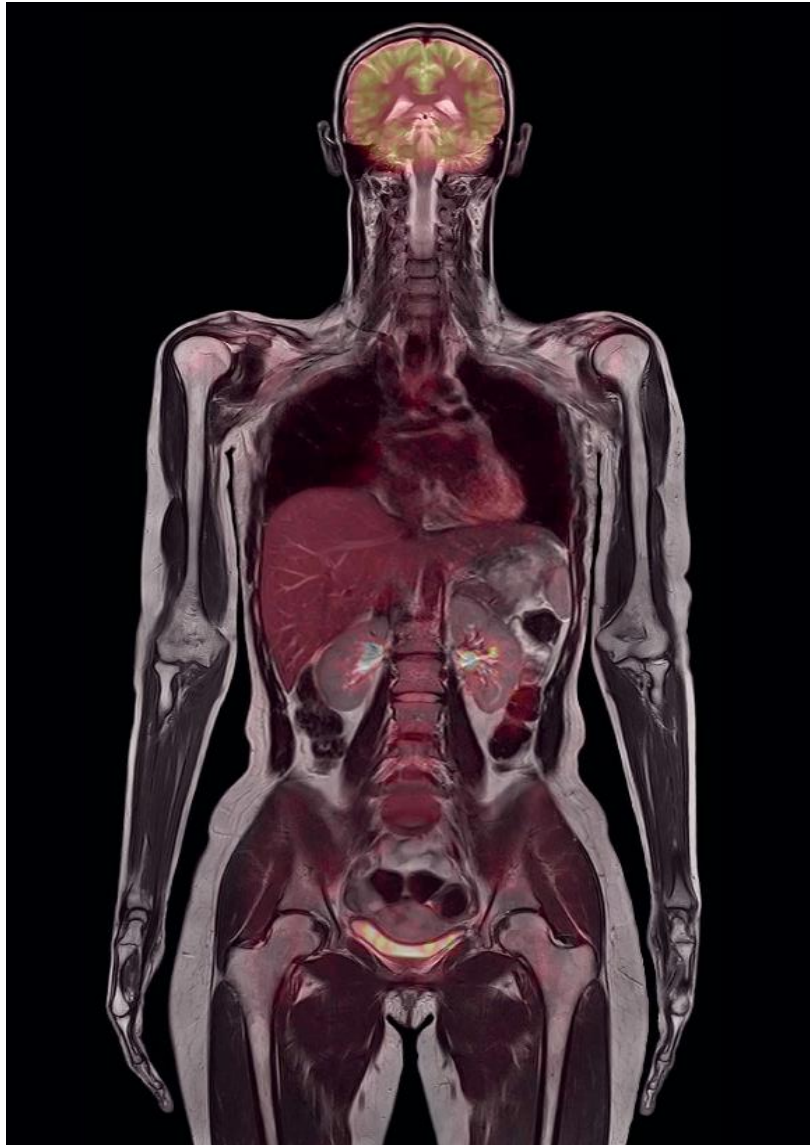




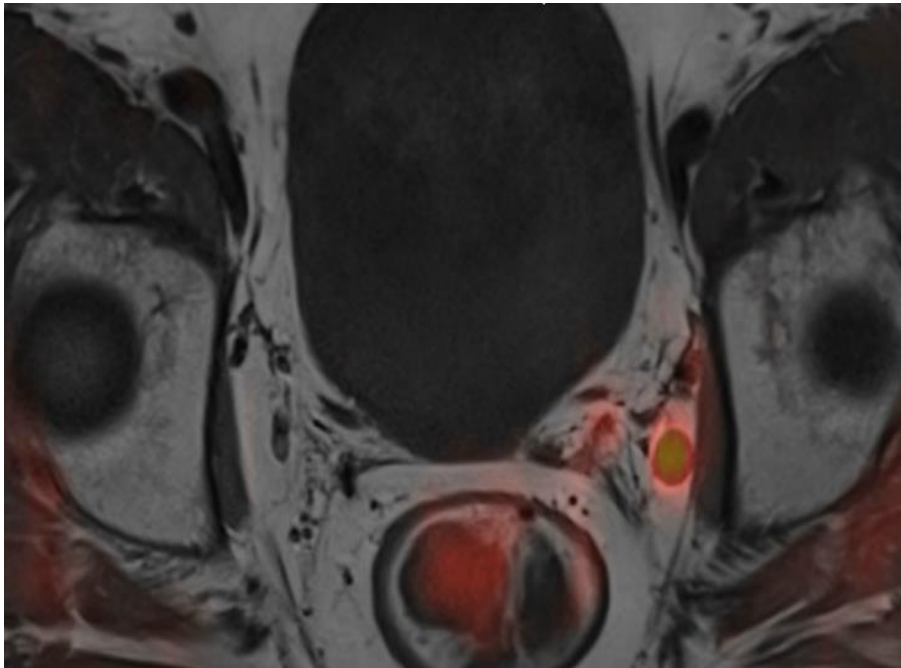
Plattenepithelkarzinom im
linken Lungenflügel

Vorteile:

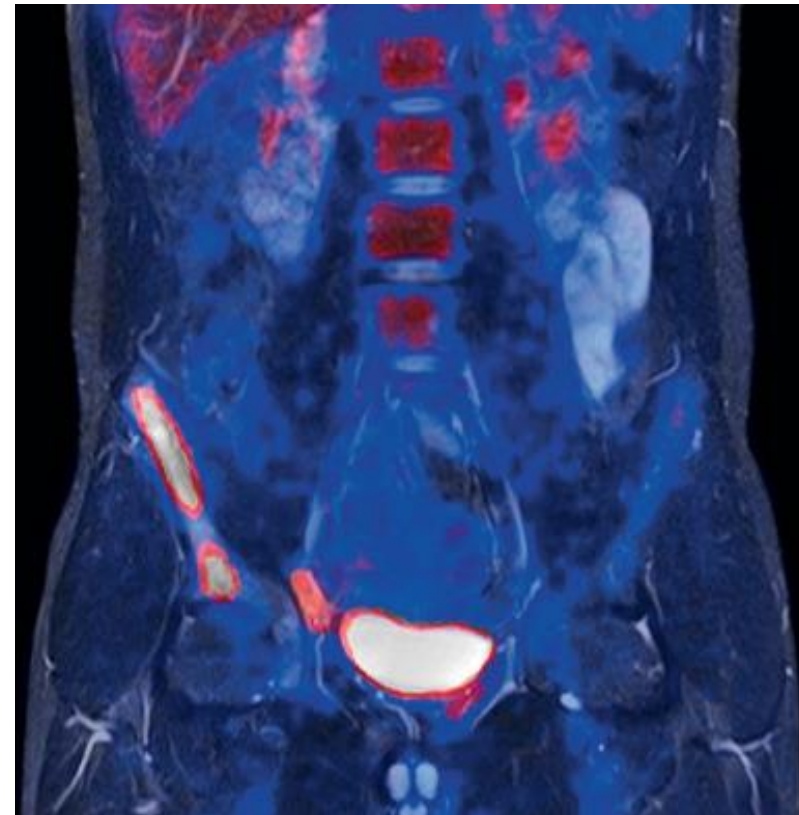
- Kombination von funktioneller (PET) und anatomischer (MRT) Information mit gutem Weichteilkontrast
- Hohe Genauigkeit der Koregistrierung, gleichzeitige Messung



Kombination aus
Weichteilkontrast (MR)
& Funktionaler Bildgebung (PET)



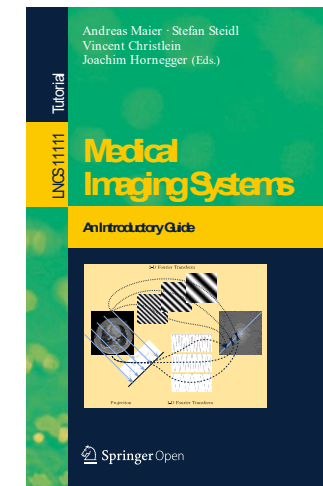
Tumordiagnostik und Verlauf



Referenzen für weitere Information

Bücher über SPECT/PET

- Radiotheranostics: a roadmap for future development. Herrman et al. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30821-6 and <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7367151/>
- PSMA Theranostics: Science and Practice. Mokoala et al. <https://doi.org/10.3390/cancers13153904> and <https://www.mdpi.com/2072-6694/13/15/3904>
- From the Magic Bullet to Theragnostics: Certitudes and Hypotheses, Trying to Optimize the Somatostatin Model : Di Stasio et al. <https://doi.org/10.3390/cancers13143474> and <https://www.mdpi.com/2072-6694/13/14/3474>



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>

Chapter 10

Inhalt

Teil I: Überblick über klinische Bildgebung

- MRT
- SPECT/PET
- Ultraschall
- Röntgenbildgebung

Teil II: Spektrale Röntgenbildgebung

- Röntgendetektoren
- Konzepte spektraler Bildgebung
- Anwendungen



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>

Chapter 11

Ultraschall: Grundlagen

Fragen, die Sie am Ende jeder behandelten Methode beantworten können sollten:

- Was erzeugt den Kontrast?
- Wie erhält man die Ortsauflösung?

ausführlichere Behandlung in folgenden Vorlesungen im Master:

- Biomedical Physics II (Prof. Pfeiffer/Prof. Wilkens)



Quelle: Maier, “Medical Imaging Systems”

Figure 11.1: Clinical Ultrasound System in action. Image courtesy of Siemens Healthineers AG.

	f	Examples
Infrasound	0 ... 16 Hz	Seismic waves
Audible sound	16 Hz ... 20 kHz	Music Human Speech
Ultrasound	> 20 kHz	Bat, Dolphin, and Whale Sounds Acoustic Microscopy Ultrasound Imaging

Table 11.1: Acoustic spectrum.

Medium	v [m s ⁻¹]	Z [g cm ⁻² s ⁻¹]
Air	331	$4.3 \cdot 10^1$
Fat	1470	$1.42 \cdot 10^5$
Water	1492	$1.48 \cdot 10^5$
Brain tissue	1530	$1.56 \cdot 10^5$
Muscles	1568	$1.63 \cdot 10^5$
Bones	3600	$6.12 \cdot 10^5$

Table 11.2: Sound velocity v and impedance Z of various media occurring in the human body.

Material 1	Material 2	Reflected
Brain	Skull bone	43.5%
Fat	Muscle	1%
Fat	Kidney	0.6%
Muscle	Blood	0.1%
Soft tissue	Water	0.25%
Soft tissue	Air	99.9%

Table 11.3: Reflectivity at boundaries between two materials.

Transducer = Emitter & Detektor

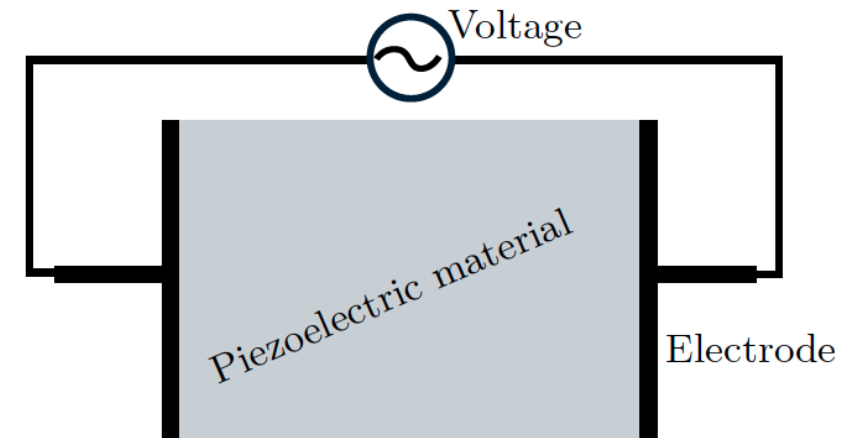
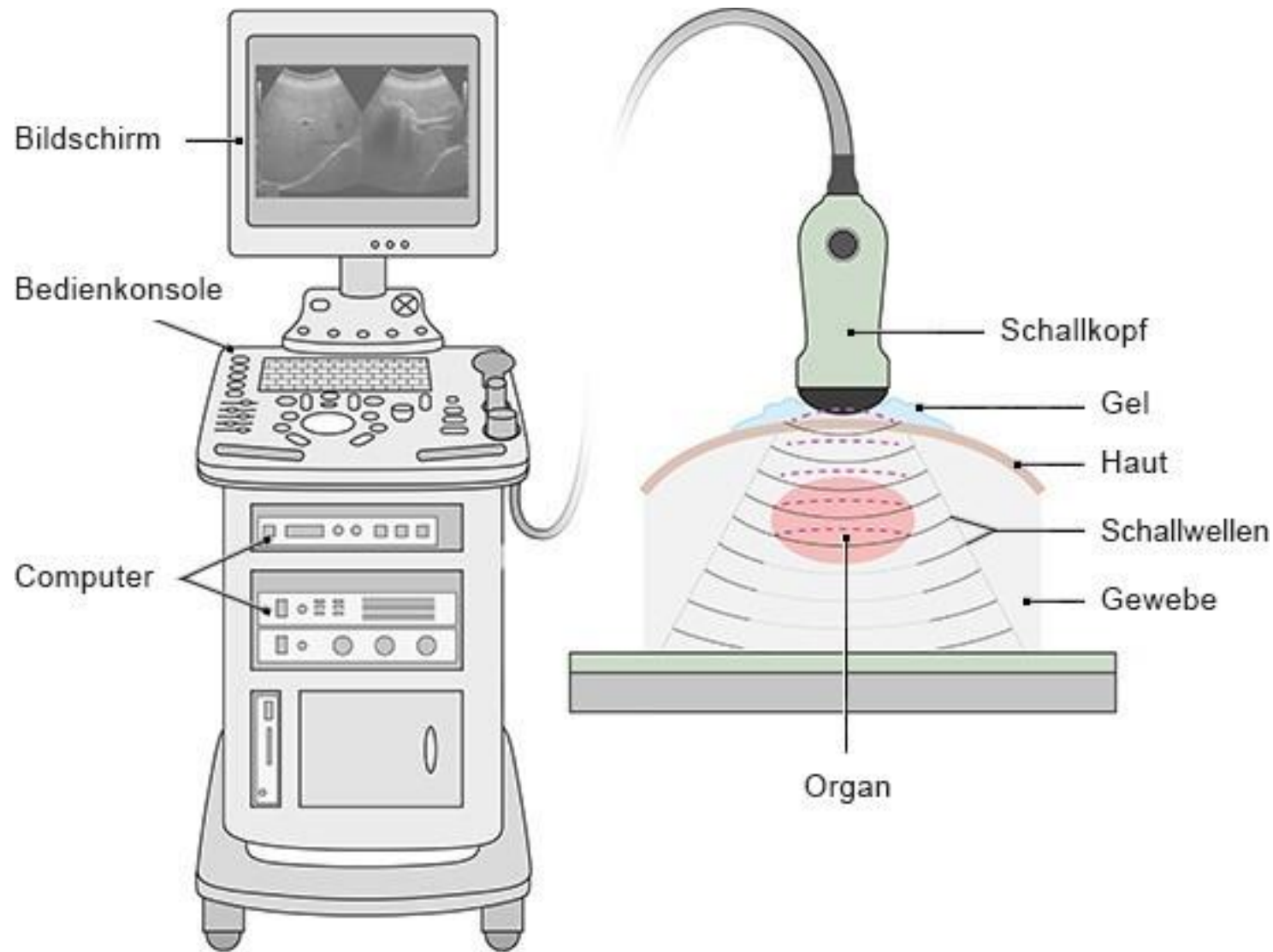
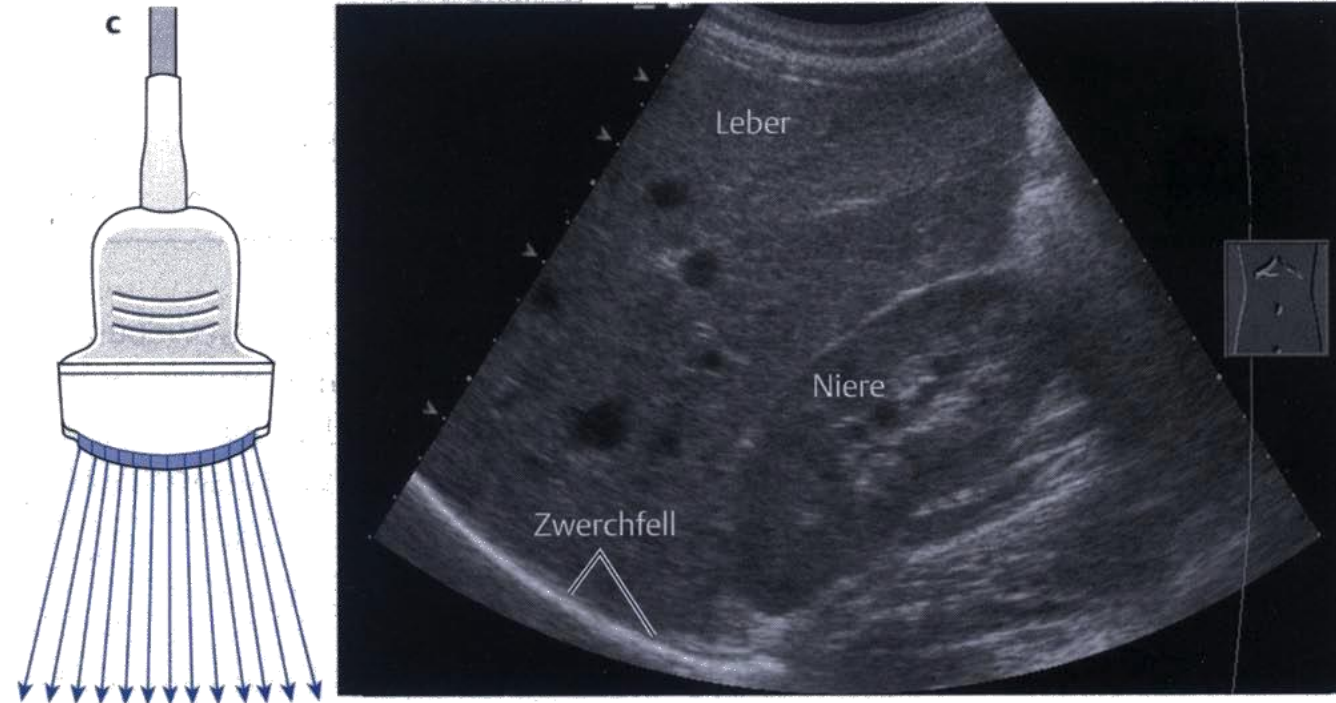
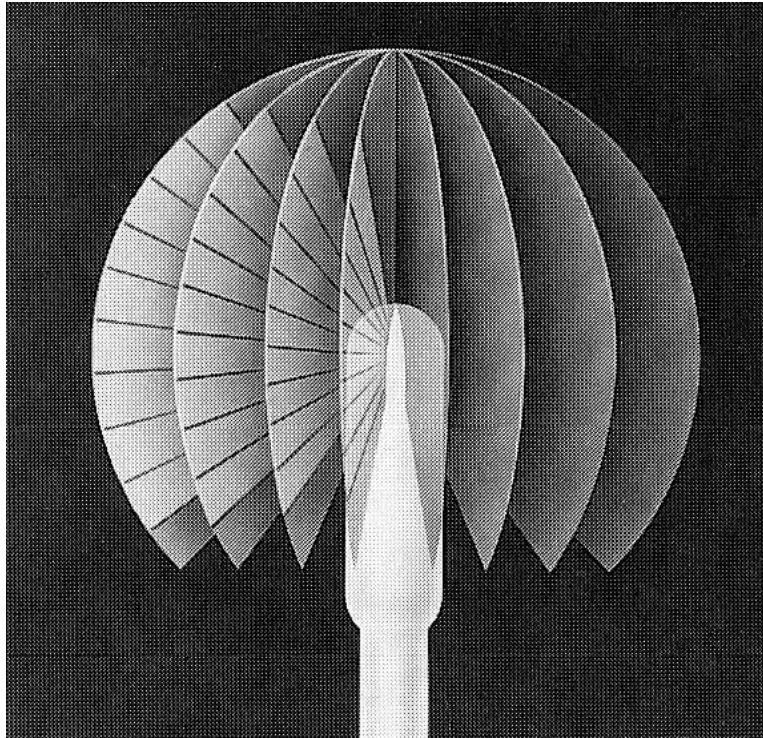


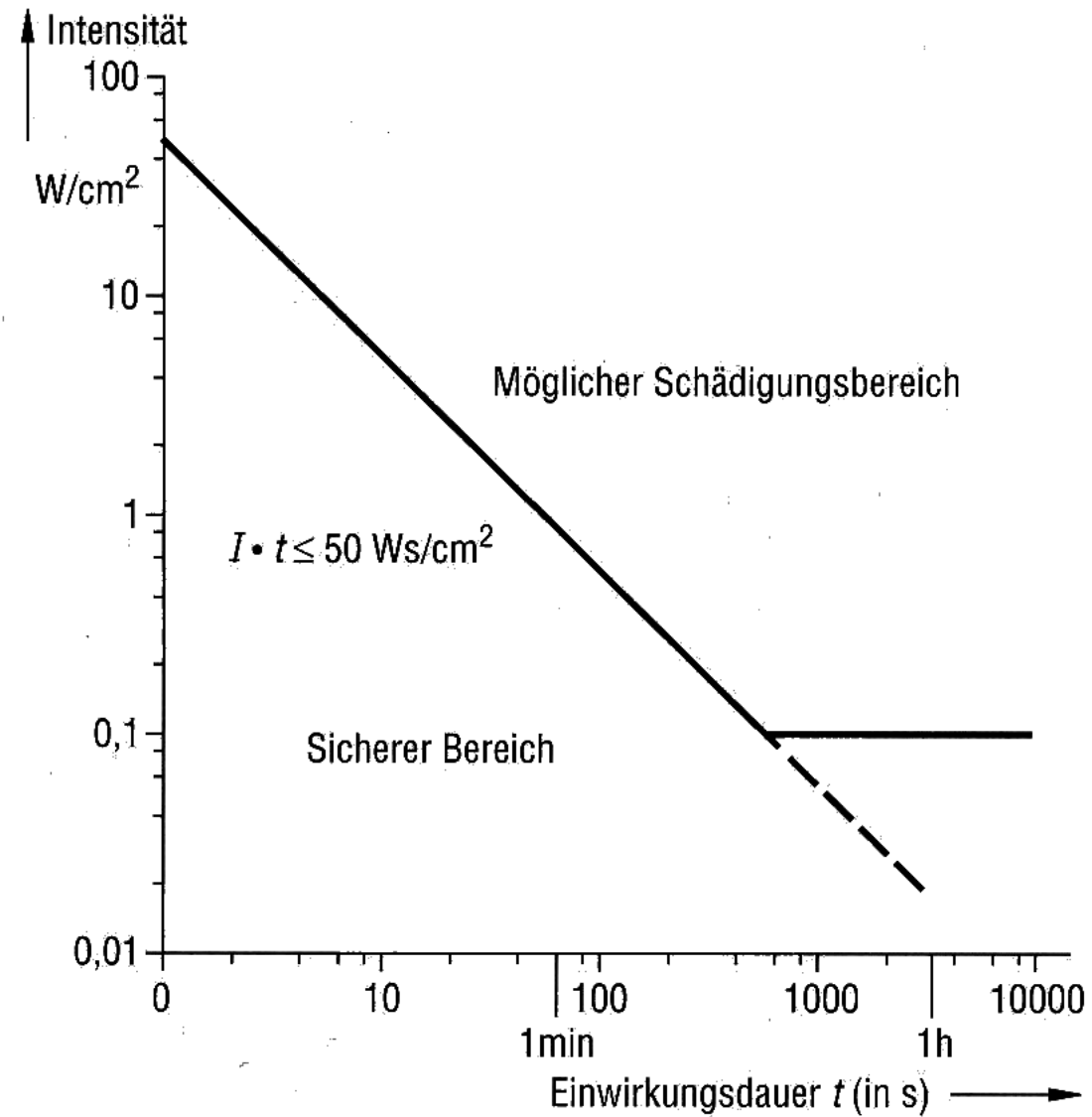
Figure 11.4: Piezoelectric effect.

Quelle: Maier, "Medical Imaging Systems"





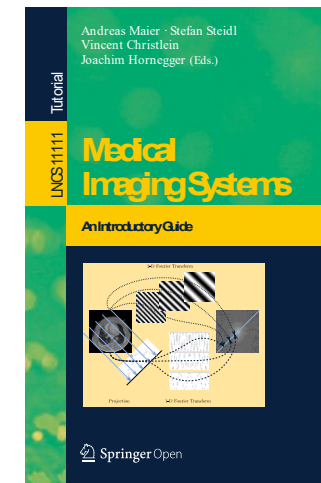
seit 2021 3D und 4D Ultraschall für Schwangere ohne medizinische Indikation verboten



Referenzen für weitere Information

Bücher über Ultraschall

- Morneburg H. (Hrsg) (1995) Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik, Publicis MCD Verlag: Erlangen
- Dössel O. (2000) Bildgebende Verfahren in der Medizin, Springer: Berlin Heidelberg
- Schlegel W. und Bille J. (Hrsg) (2002) Medizinische Physik–Band 2, Springer: Berlin Heidelberg
- Qin S et al. (2009) Ultrasound contrast microbubbles in imaging and therapy: physical principles and engineering. Phys. Med. Biol. 54, R27–R57



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>

Chapter 11

Hausaufgaben

Eine Aufgabe auf Moodle

- Aufgabe 1: zu klinischen Methoden

Inhalt

Teil I: Überblick über klinische Bildgebung

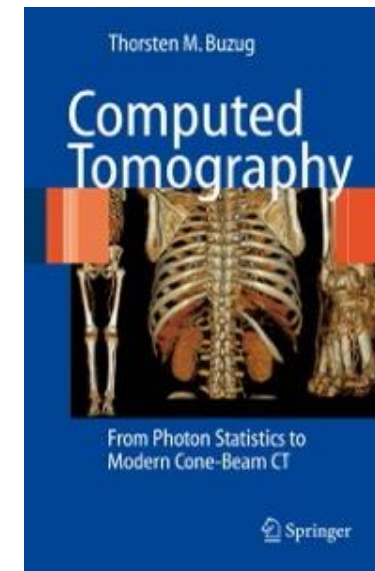
- MRT
- SPECT/PET
- Ultraschall
- Röntgenbildgebung

Teil II: Spektrale Röntgenbildgebung

- Röntgendetektoren
- Konzepte spektraler Bildgebung
- Anwendungen



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-319-96520-8>



<https://link-springer-com.eaccess.tum.edu/book/10.1007/978-3-540-39408-2>

**Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit!**