

Hardware in der MR-Tomographie

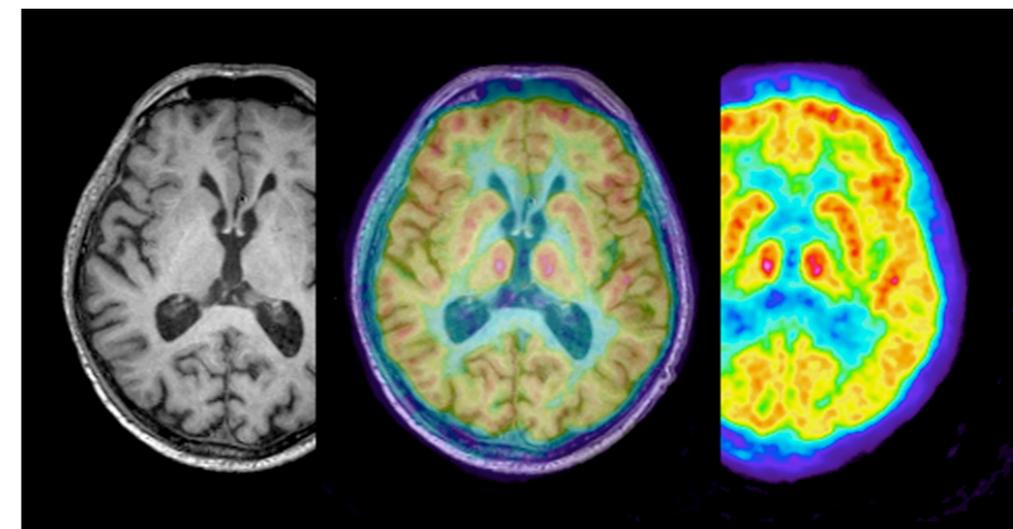
Matthias Keller

INSTITUT FÜR BIOMEDIZINISCHE TECHNIK

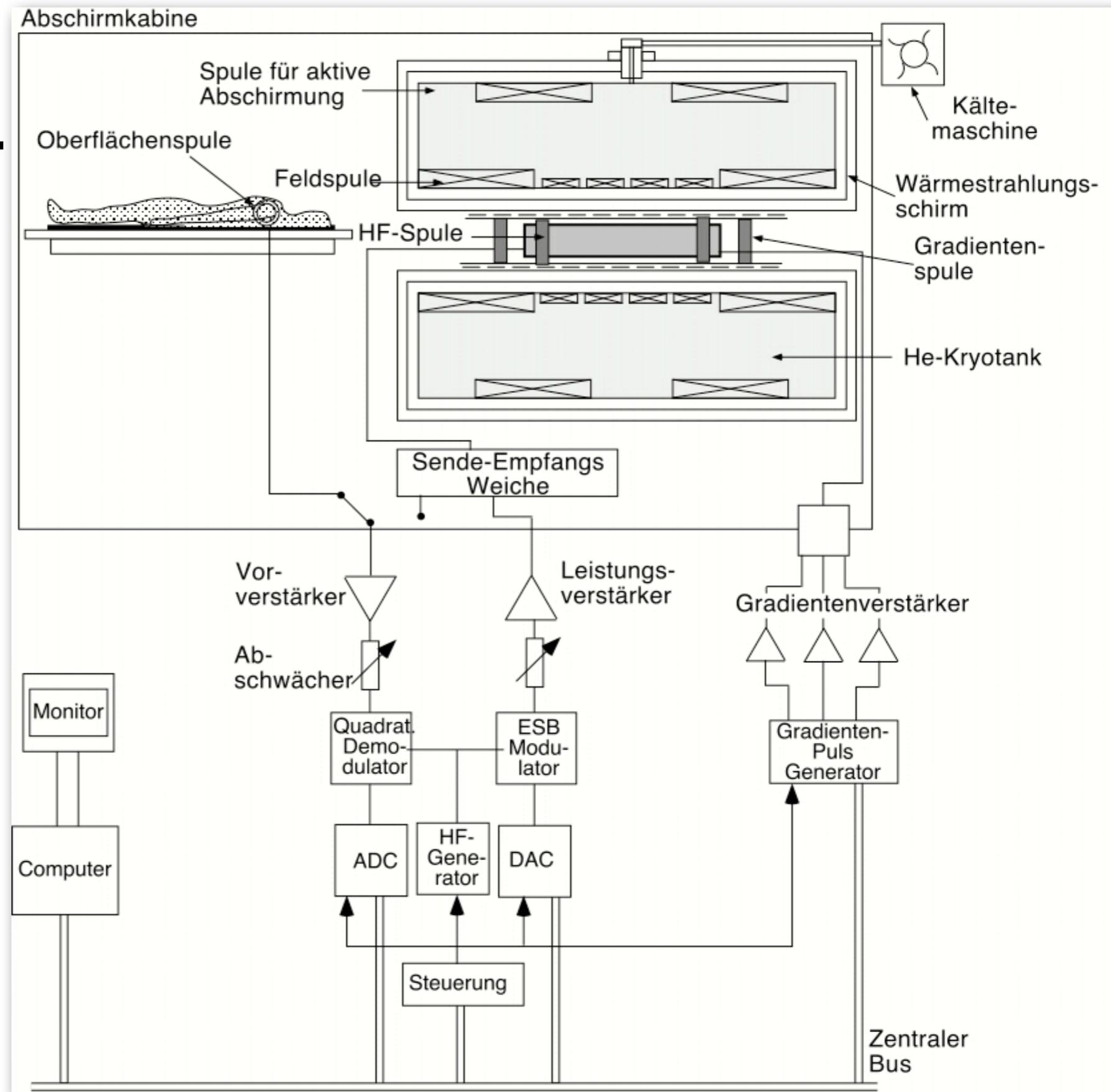


Aufgaben eines MR-Tomographen

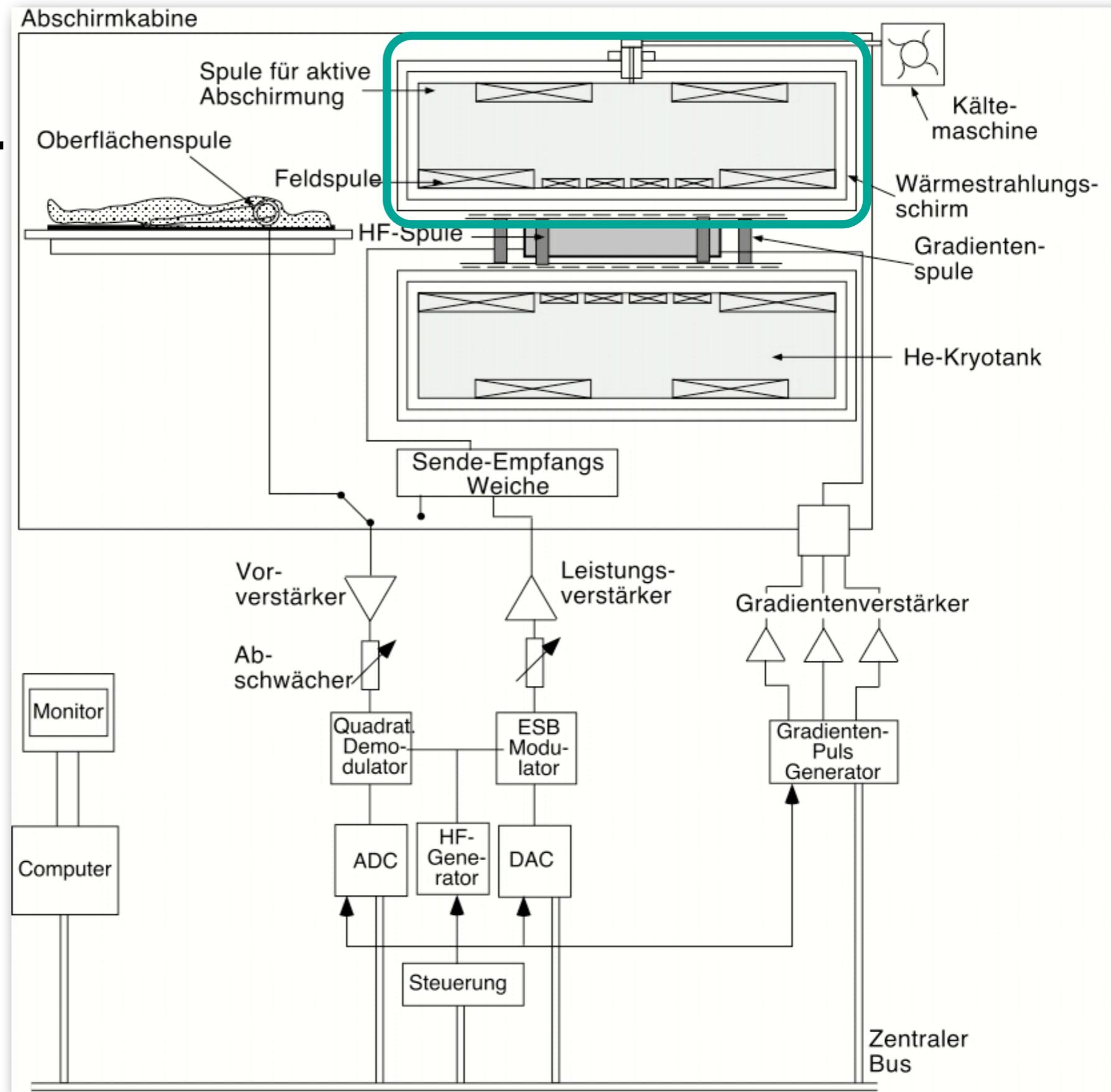
- Erzeugung Grundmagnetfeld
- Selektive Anregung (z- Ebene)
- Ortskodierung
- HF-Anregung (Flip)
- Auslesen (Empfang)



Komponenten eines MR-Tomographie-Systems



Komponenten eines MR-Tomographie-Systems

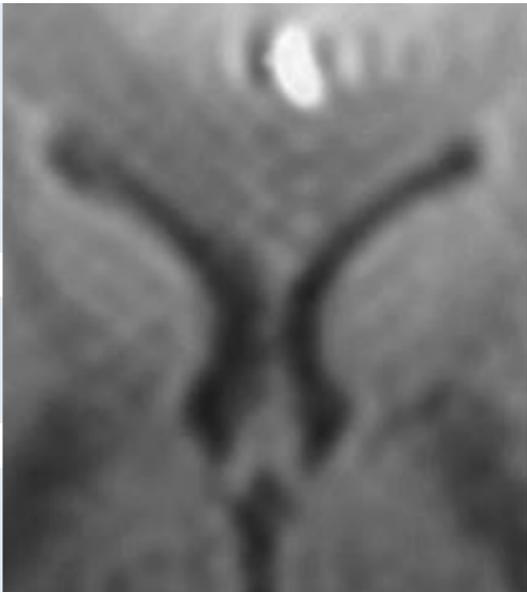
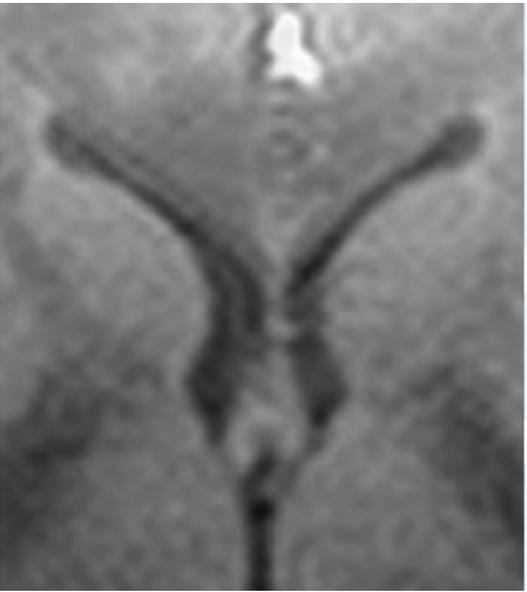


Grundmagnetfeld

Überblick über verschiedene Gesichtspunkte bei der Wahl der Feldstärke

Bereich	Feldstärke	Larmorfrequenz	T1 weiße Hirnmasse	Chemische Verschiebung Fett/Wasser (3,5 ppm)	SNR für weiße Hirnmasse (rel. Einheiten)
sehr klein	0,02 T	852 kHz	?	3 Hz	≈ 0,02
klein	0,5 T	21,3 MHz	540 msec	75 Hz	0,6
mittel	1 T	42,6 MHz	680 msec	149 Hz	1
groß	4T	170,4 MHz	1080 msec	595 Hz	2,3

Auflösung mit Steigerung des Feldstärke

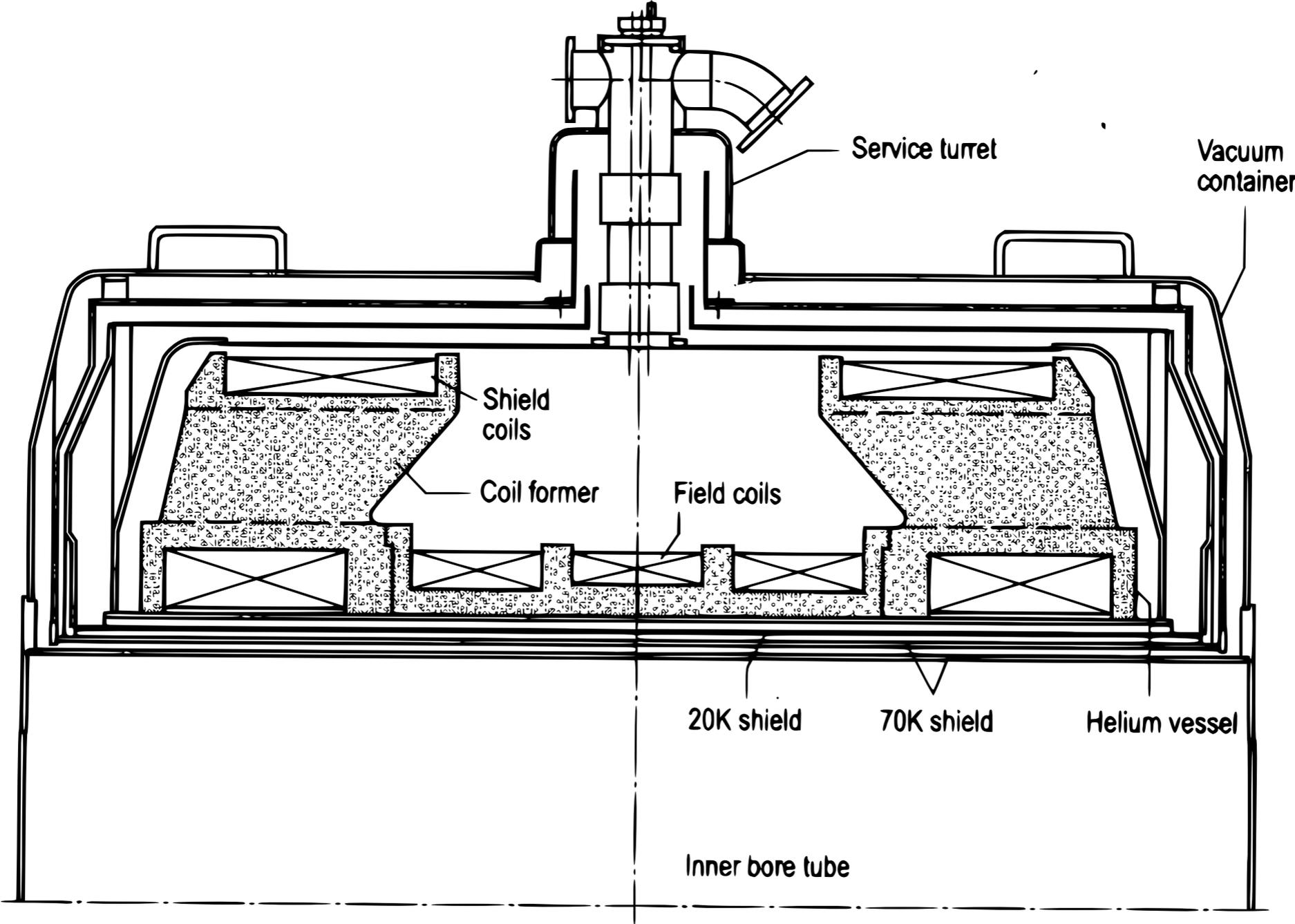
	1,5 Tesla		3 Tesla	
Erhöhung der Auflösung bei gleicher Messdauer um den Faktor	1		1,5	
Abnahme der Messzeit bei gleicher Auflösung etwa um den Faktor	1		6	
	4 Tesla			
	1,8			
	10			

Quelle: Forschungszentrum Jülich

Forderungen an MR-Magnete

Forderung	Bereich	Problem
Homogenität	1 ppm in 20 cm 10 ppm in 40 cm Kugel	T_2^* verkürzt Bildverzeichnungen
Langzeitstabilität	0,1 ppm pro Stunde	Weglaufen der Larmorfrequenz
Kurzzeitstabilität	?	Weglaufen der Phasenkodierung
Streifeldbereich	0,5 mT Linie in Querrichtung bei 3 m in Längsrichtung bei 5 m	Funktion anderer Geräte gestört, Gefahr durch Anziehung von Eisen

Cryostat (Kühlung des supraleitenden Magneten)

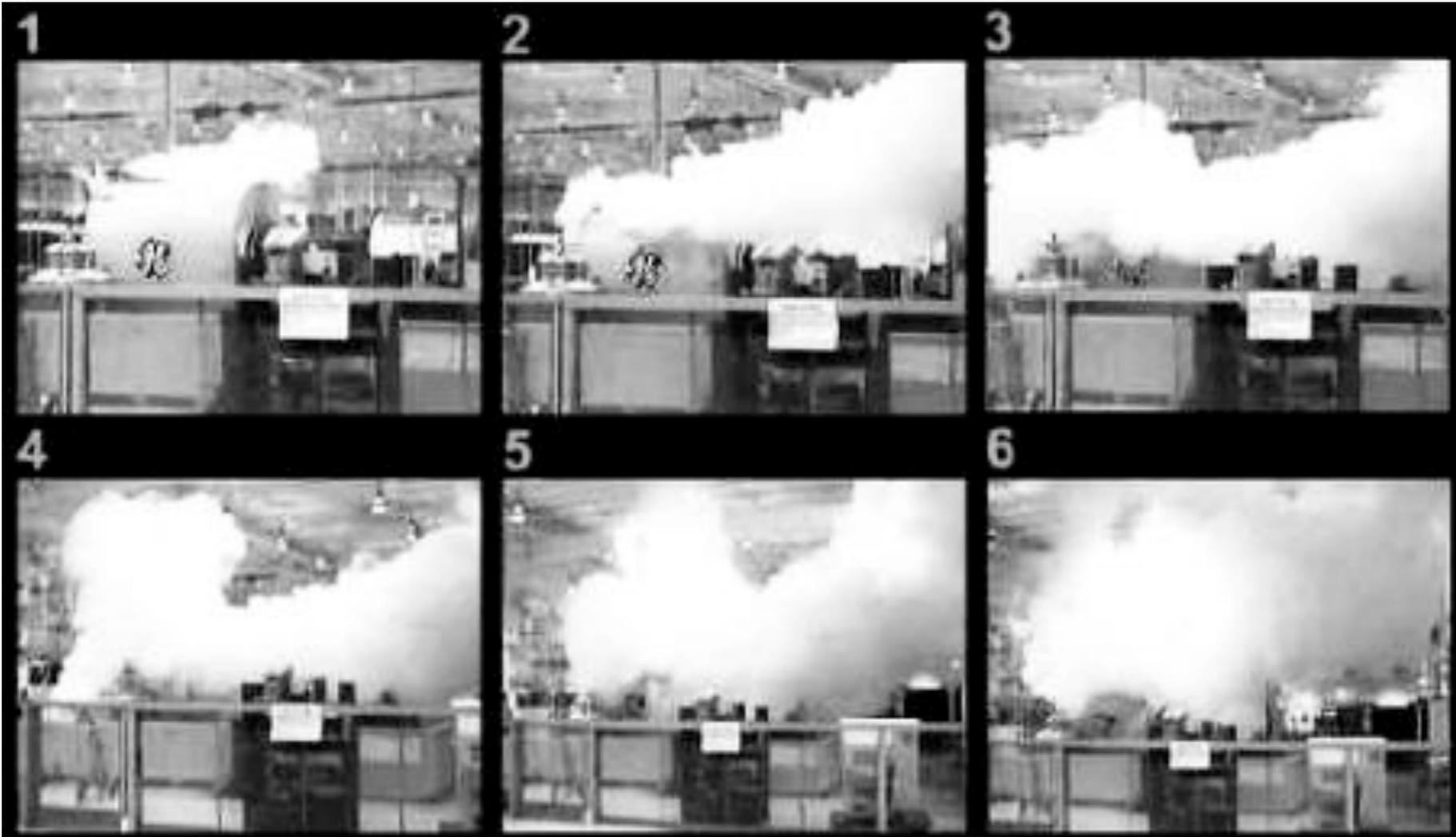
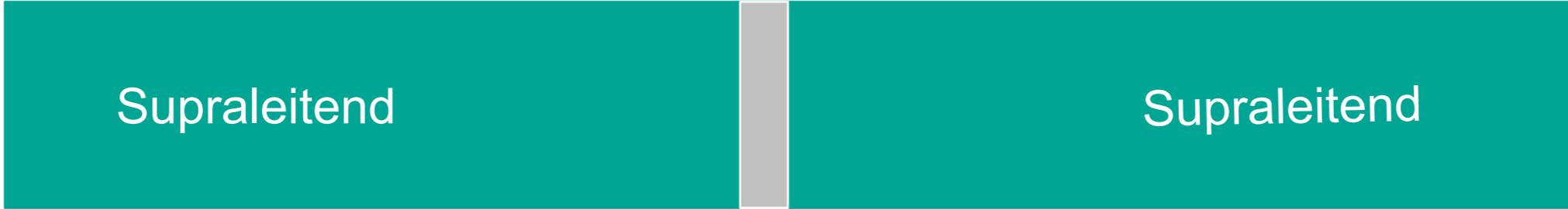


Mögliche Kombination von elektrischen Daten eines MR-Magneten

Feld in der Mitte	1	T
offener Durchmesser	1	m
Induktivität	200	H
Strom	200	A
gespeicherte magn. Feldenergie	4	MJ

Quench

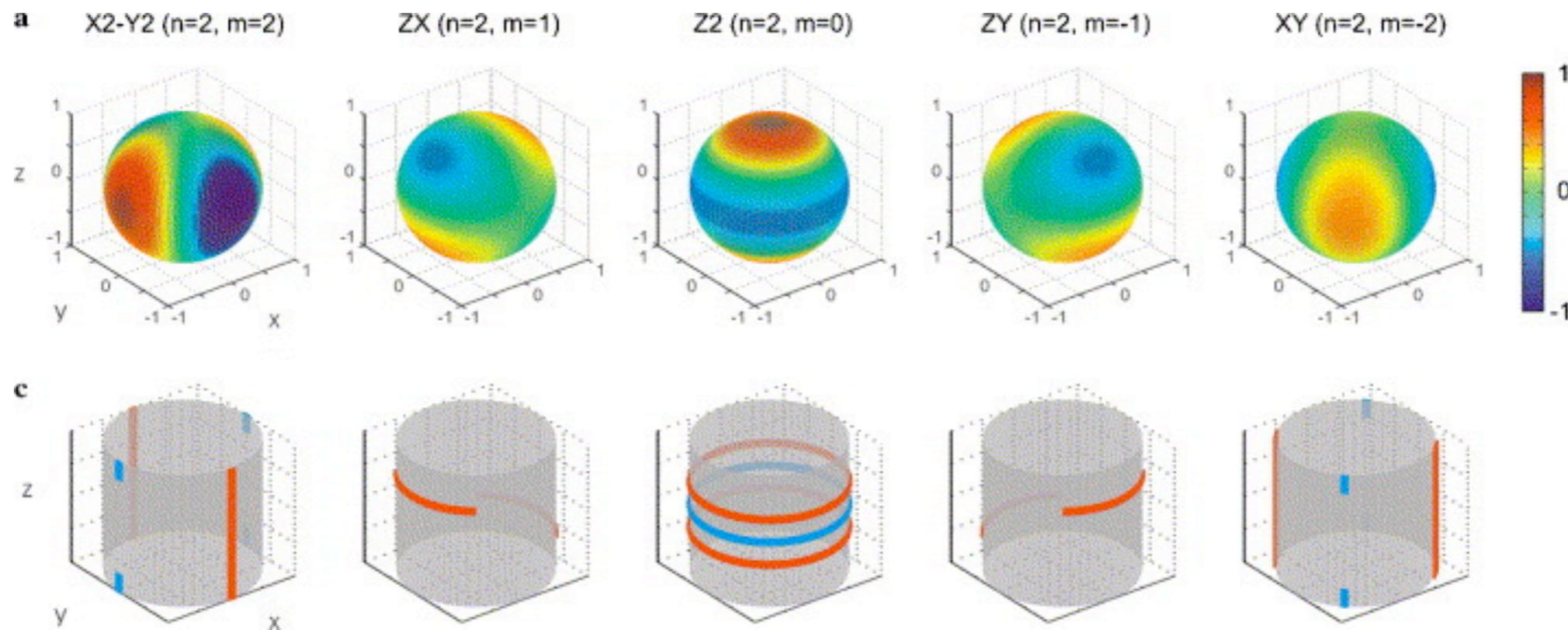
Normalleitend



tommcmahon.net

Shimming und Abschirmung des Magnetfeldes

Entwicklung der Feldkomponenten mit Hilfe von Legendre-Polynomen



*Combined passive and active shimming for in vivo MR spectroscopy at high magnetic fields.
Juchem C, Muller-Bierl B, Schick F, Logothetis NK, Pfeuffer J.*

Offene Systeme



newscenter.philips.com

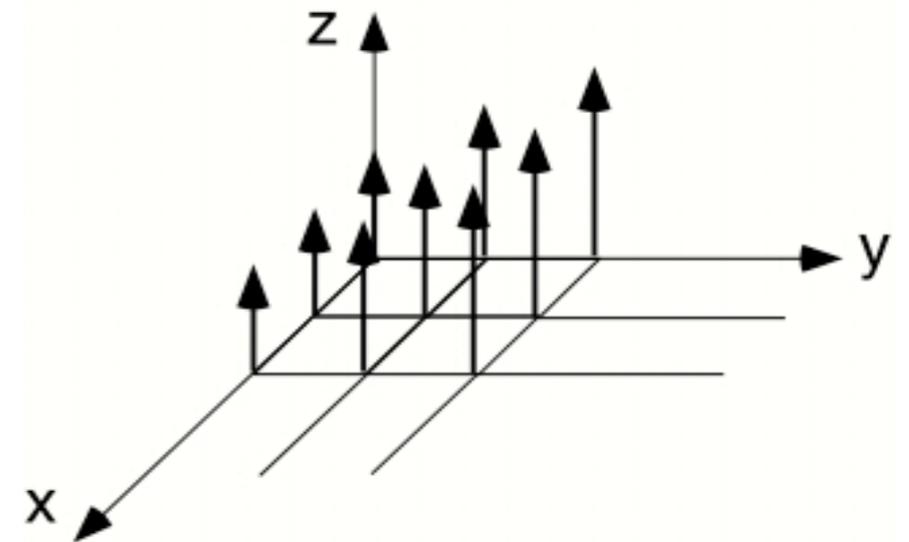
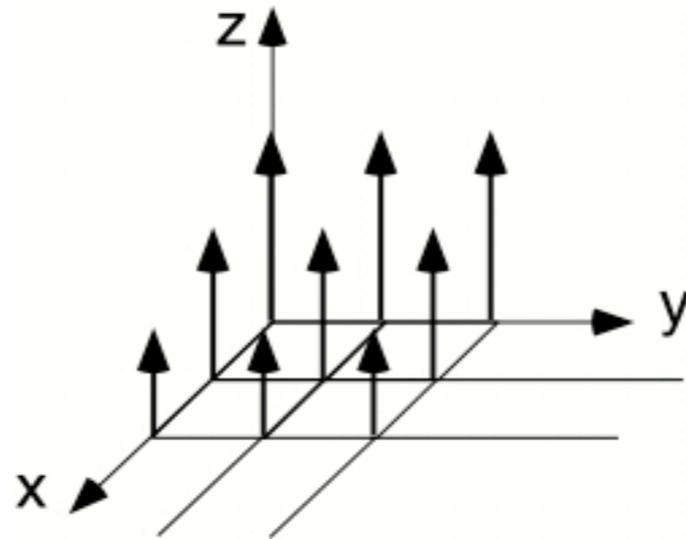
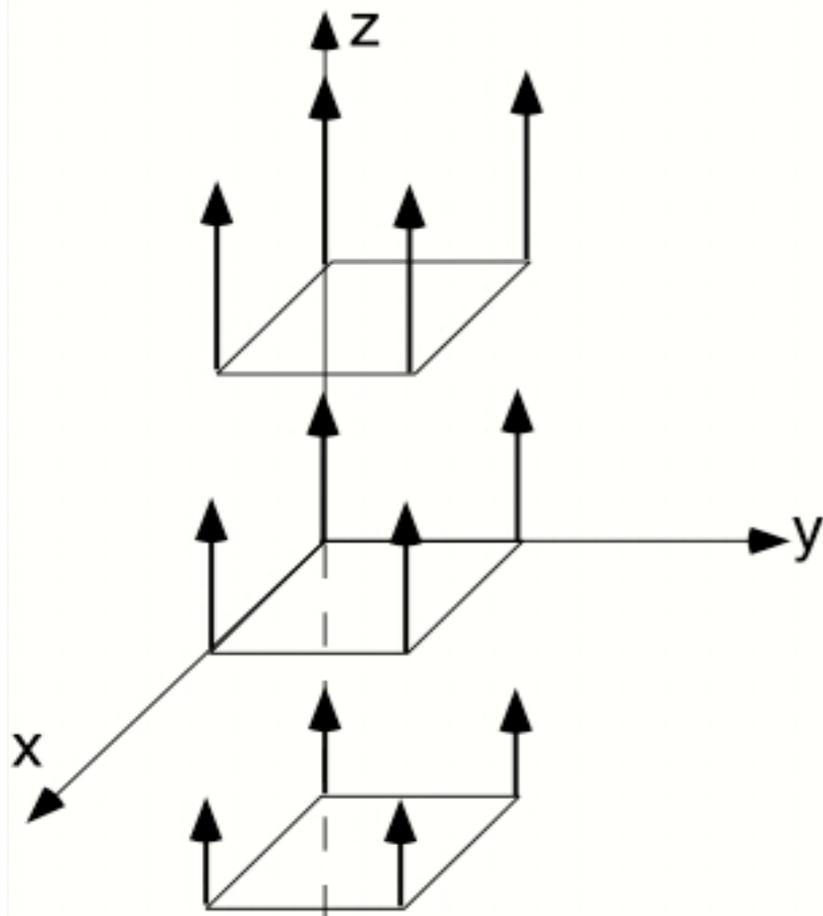
Gradientenspulen

Gradientenfelder

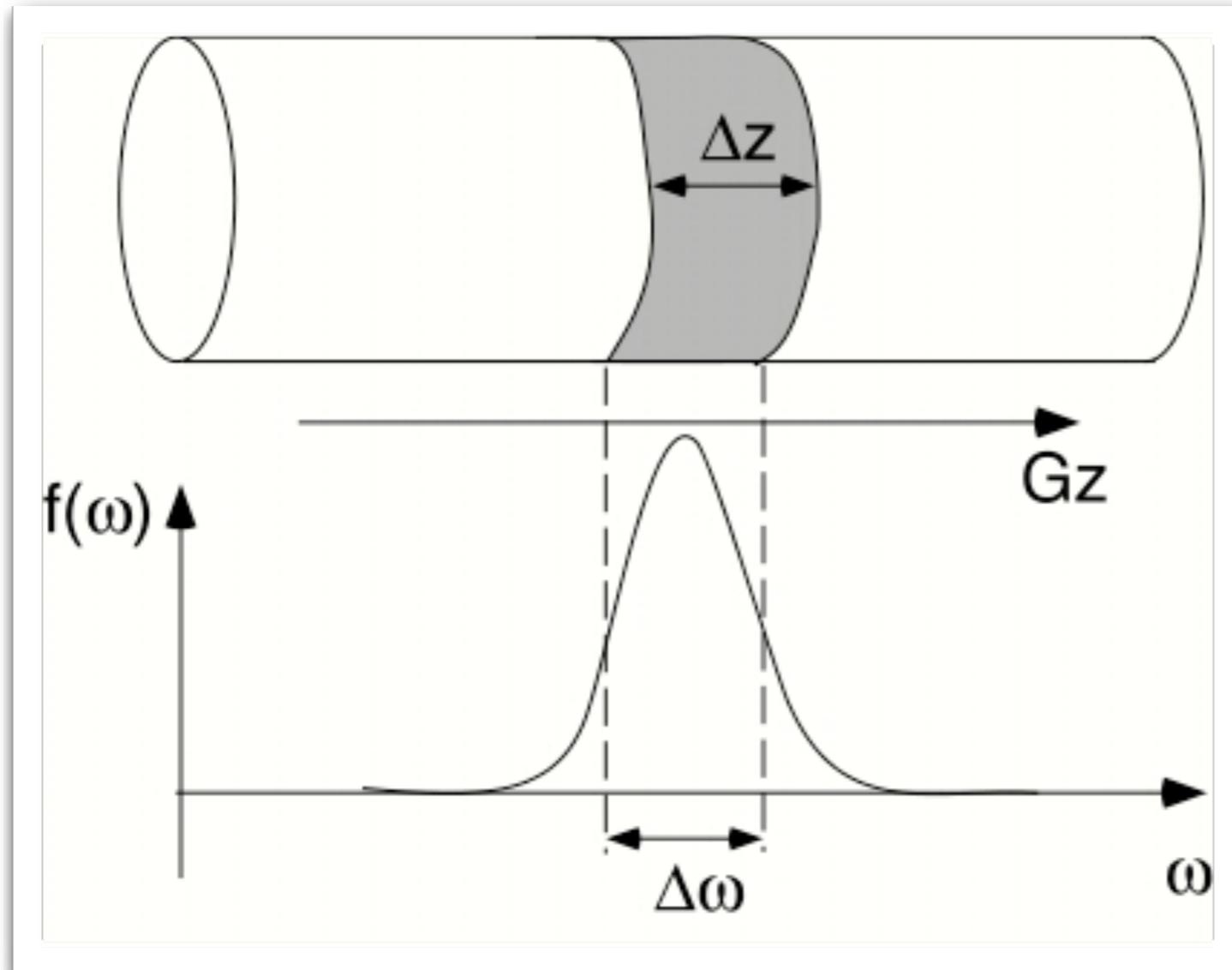
$$\text{z-Gradient } \frac{\partial B_z}{\partial z}$$

$$\text{y-Gradient } \frac{\partial B_z}{\partial y}$$

$$\text{x-Gradient } \frac{\partial B_z}{\partial x}$$



Selektive Anregung (z-Gradient)



$$\Delta\omega = \gamma \cdot G_z \cdot \Delta z$$

Signal in der Antenne

$$\underline{S}_t(t, T_y) = \iint M'_{T0}(x, y) \cdot \exp(-j\gamma G_x x t - j\gamma G_y y T_y) dx dy$$

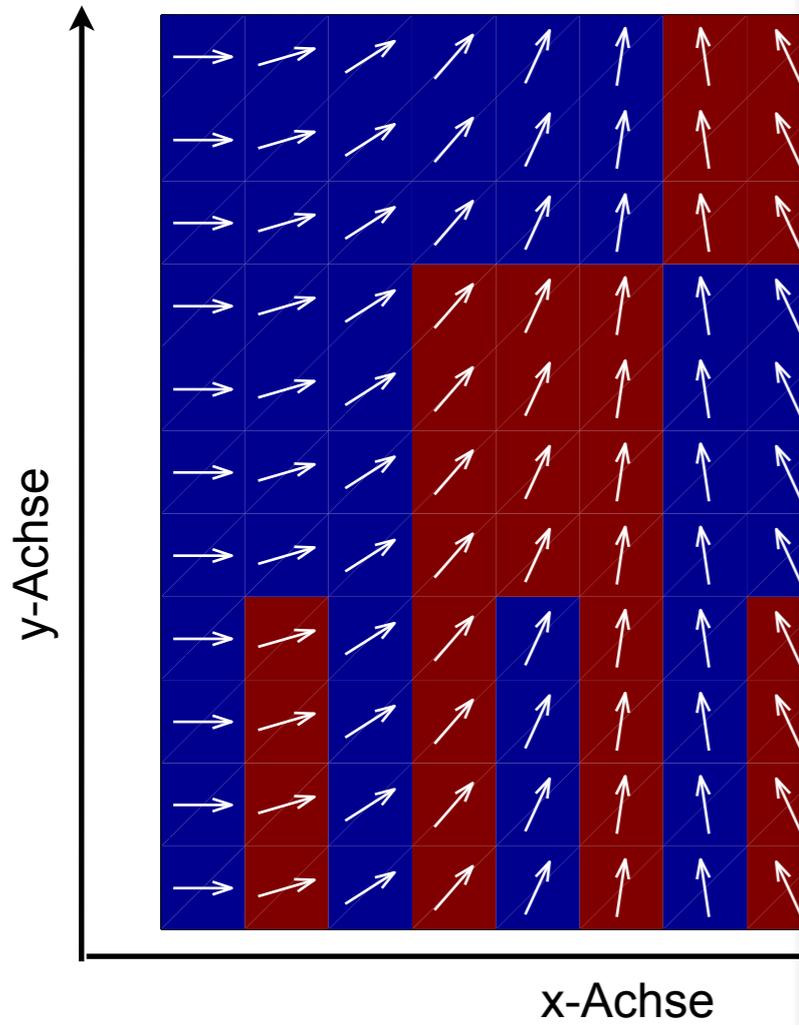
mit: $k_x = \gamma G_x t$ ($= 2\pi u_x$)
 $k_y = \gamma G_y T_y$ ($= 2\pi u_y$)

$$\underline{S}(k_x, k_y) = \iint M'_{T0}(x, y) \cdot \exp(-jk_x x - jk_y y) dx dy$$

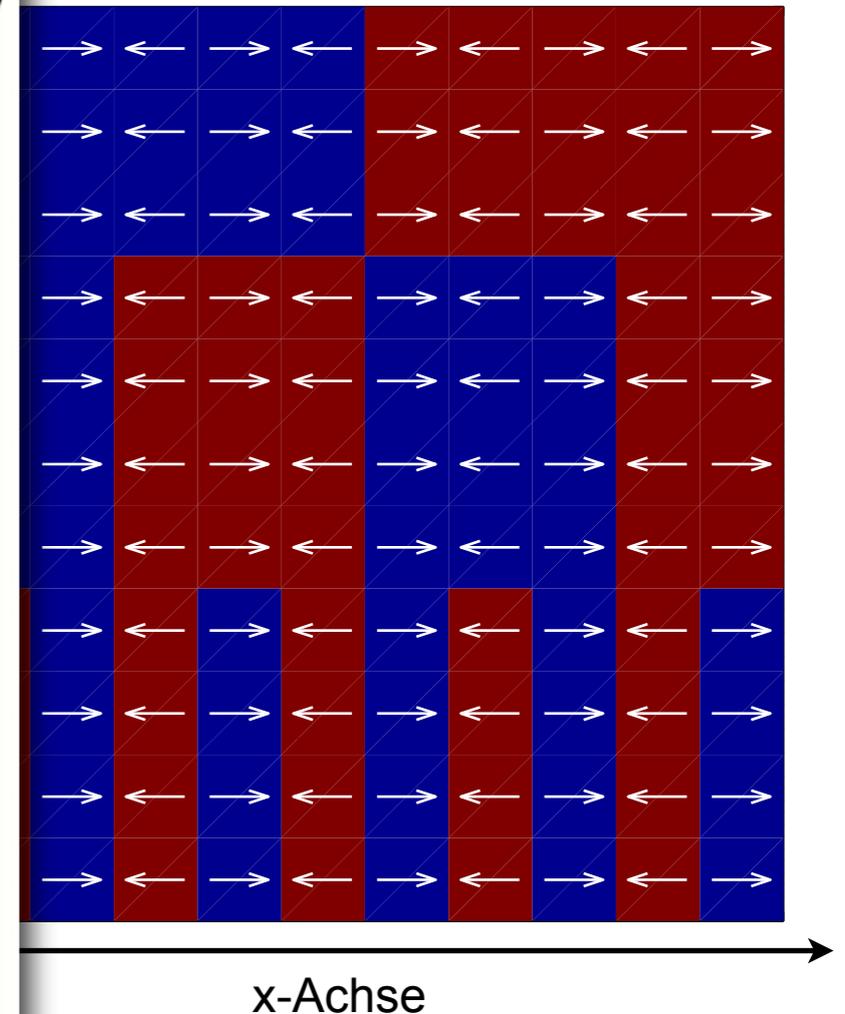
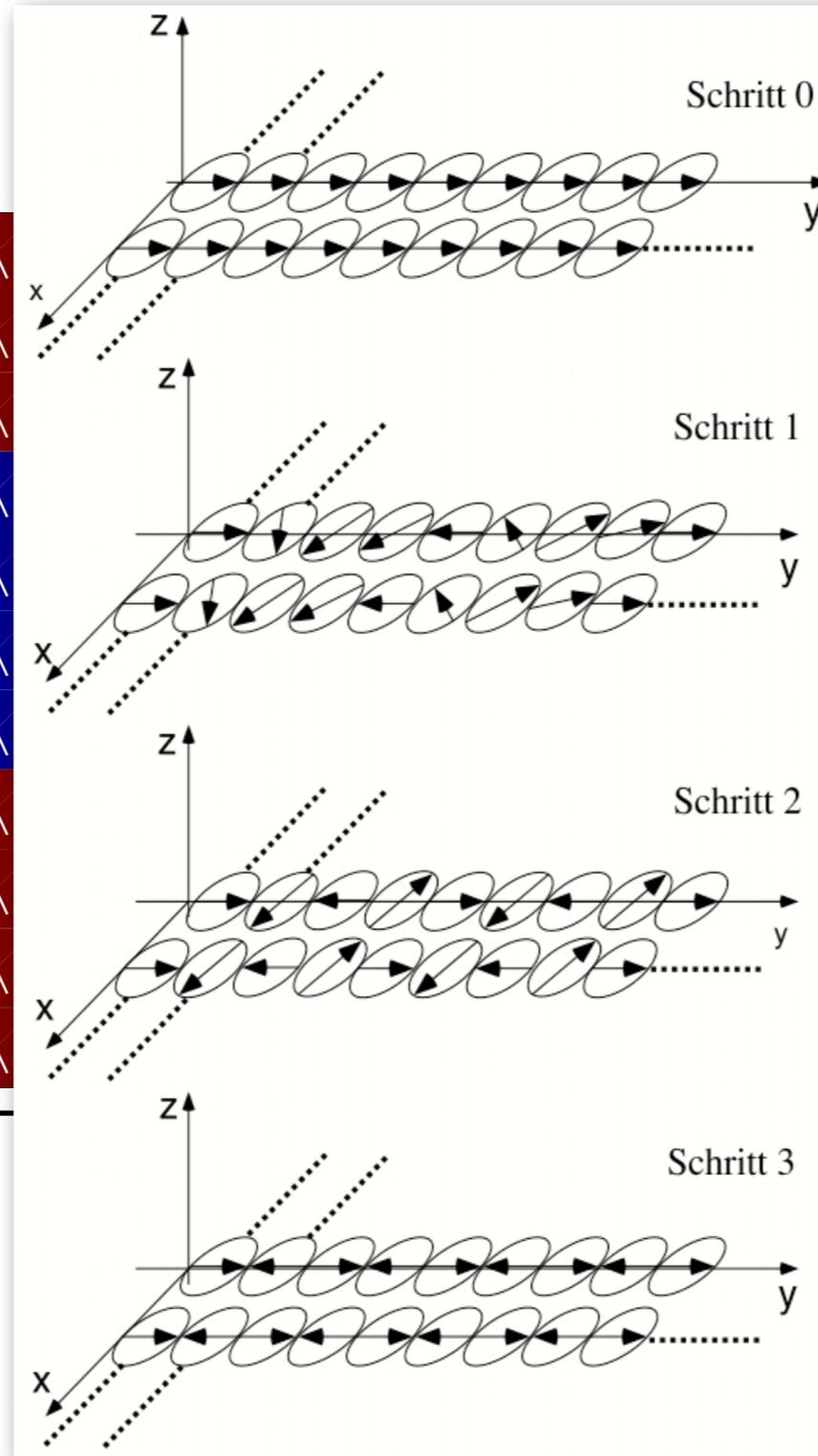
$$M'_{T0}(x, y) \quad \circ \xrightarrow{\text{2D-FT}} \bullet \quad \underline{S}(k_x, k_y)$$

**Das Signal hinter dem Quadraturdetektor
ist die Fourier-Transformierte des Bildes**

Raumfrequenzen und Ortskodierung

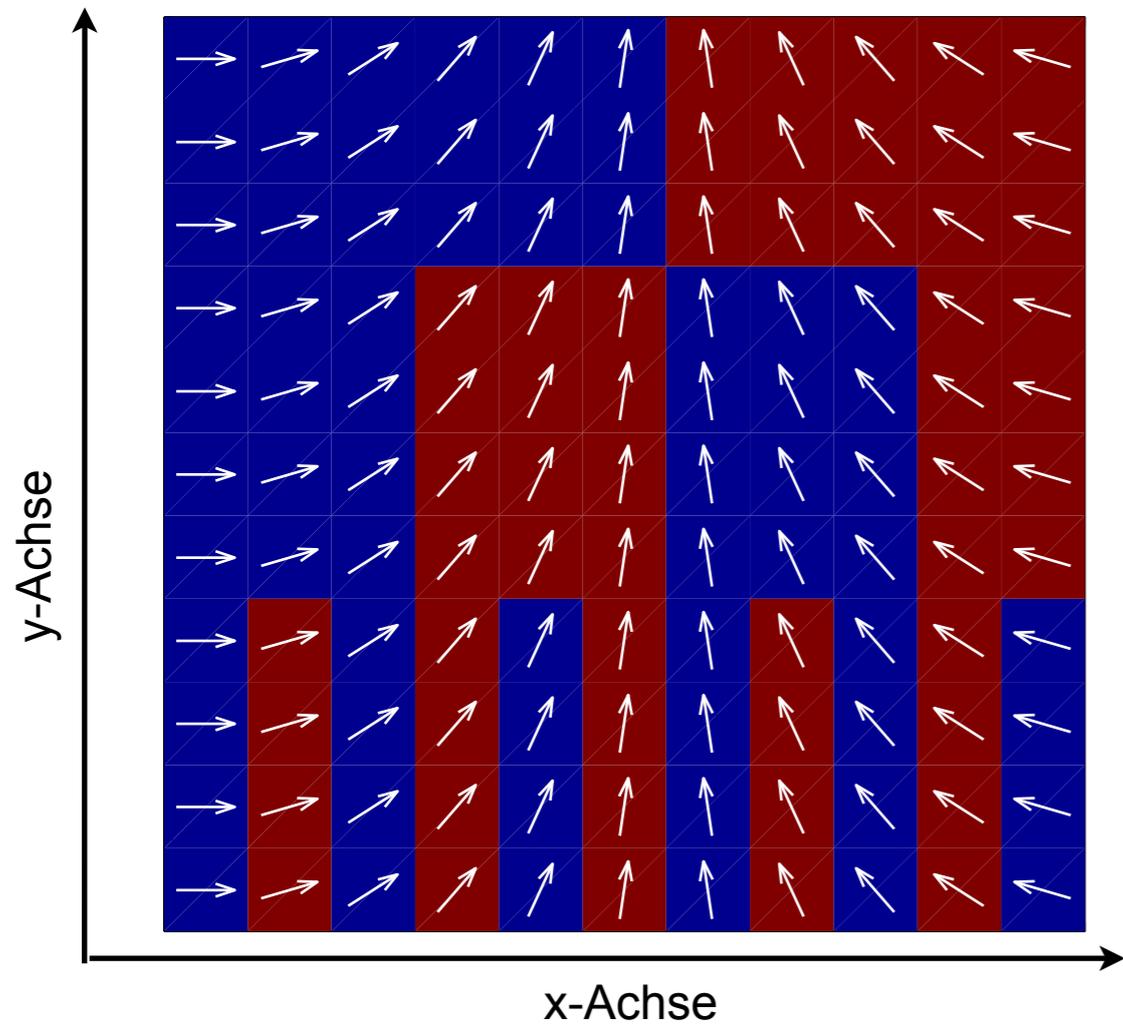


k klein

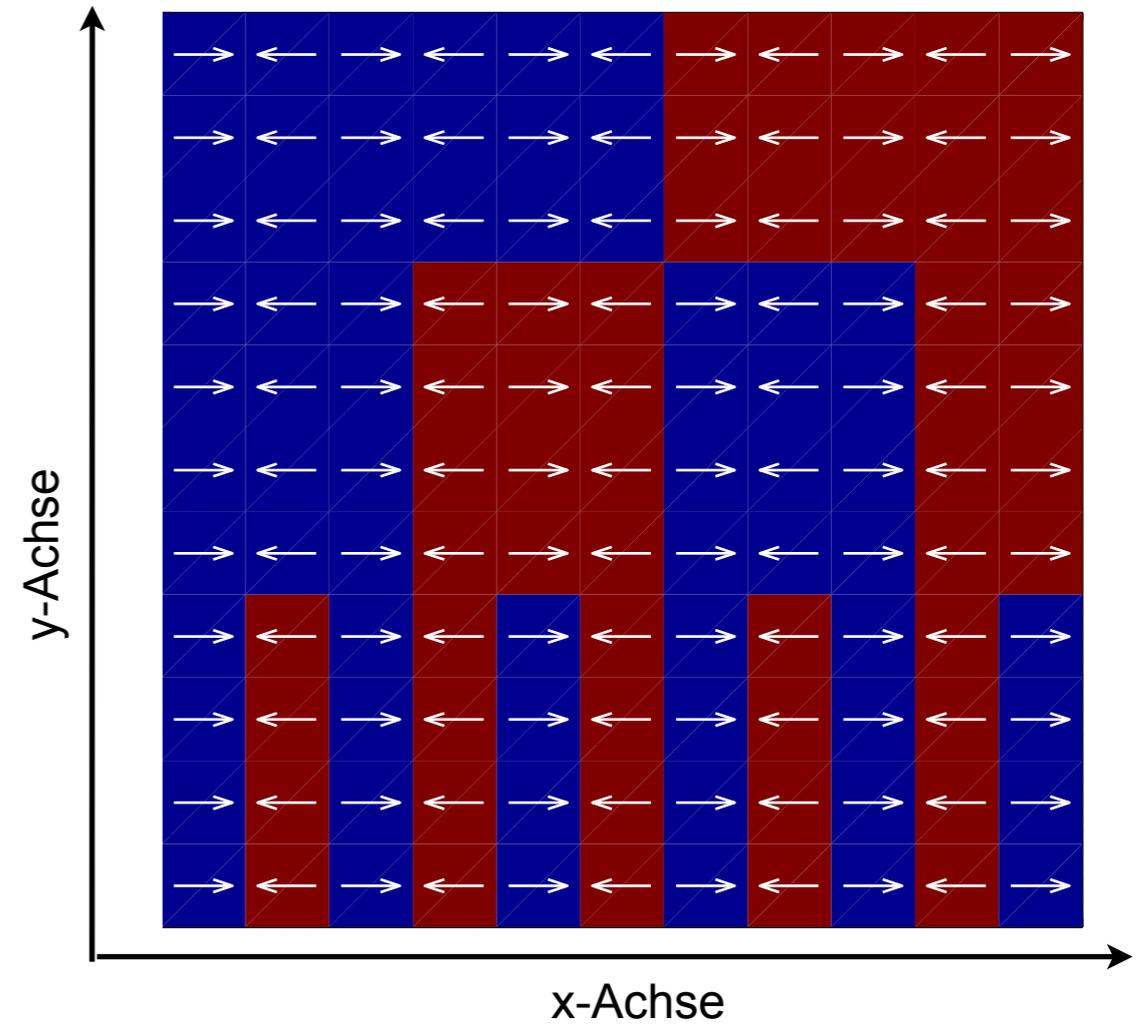


k groß

Raumfrequenzen und Ortskodierung

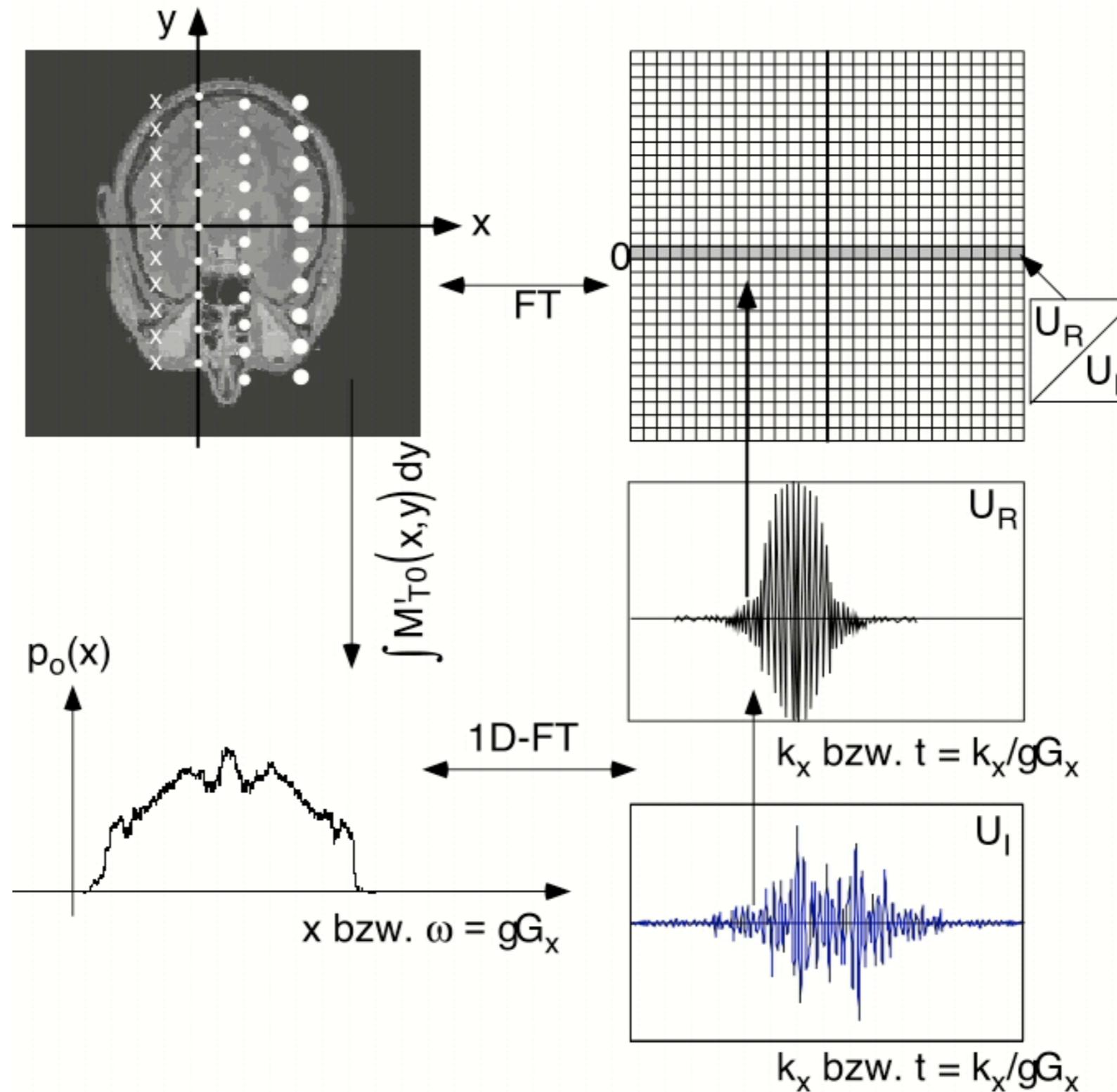


k klein

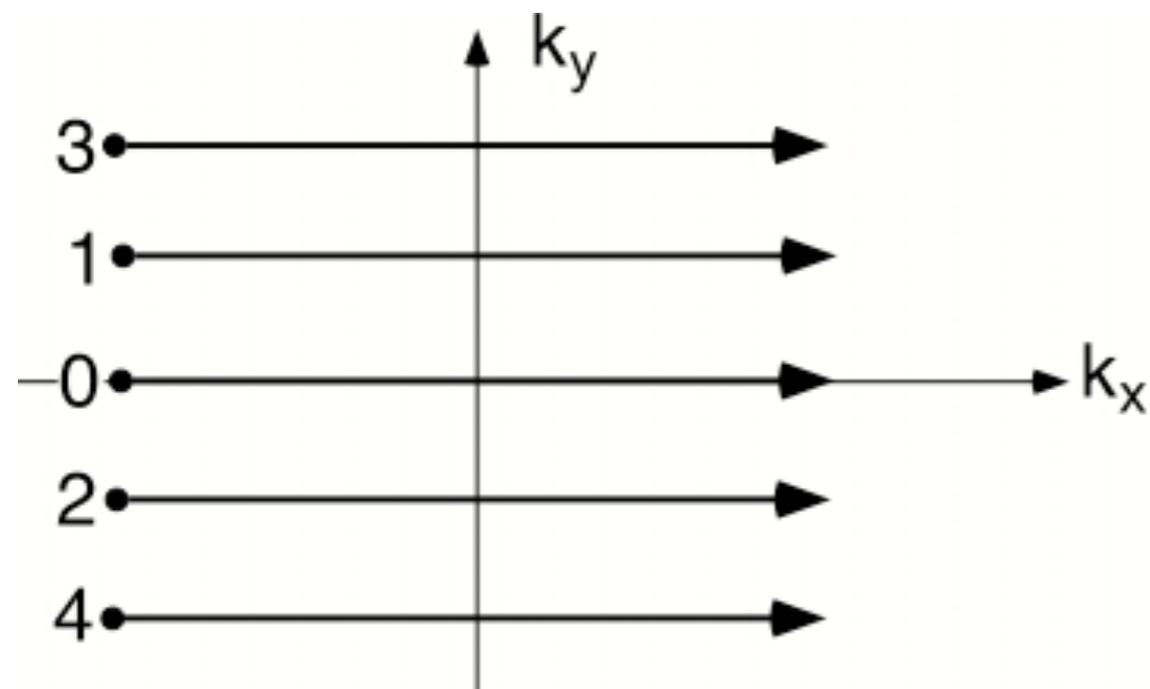


k groß

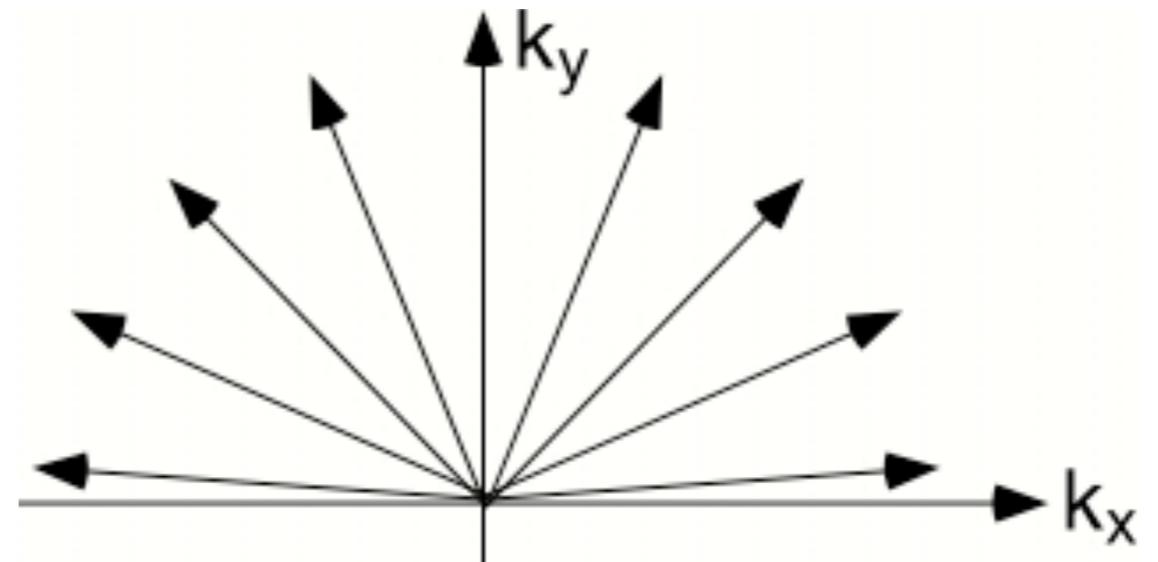
Messung einer Projektion zum Winkel 0° und Eintragung in den k-Raum



Abtastung des K-Raums

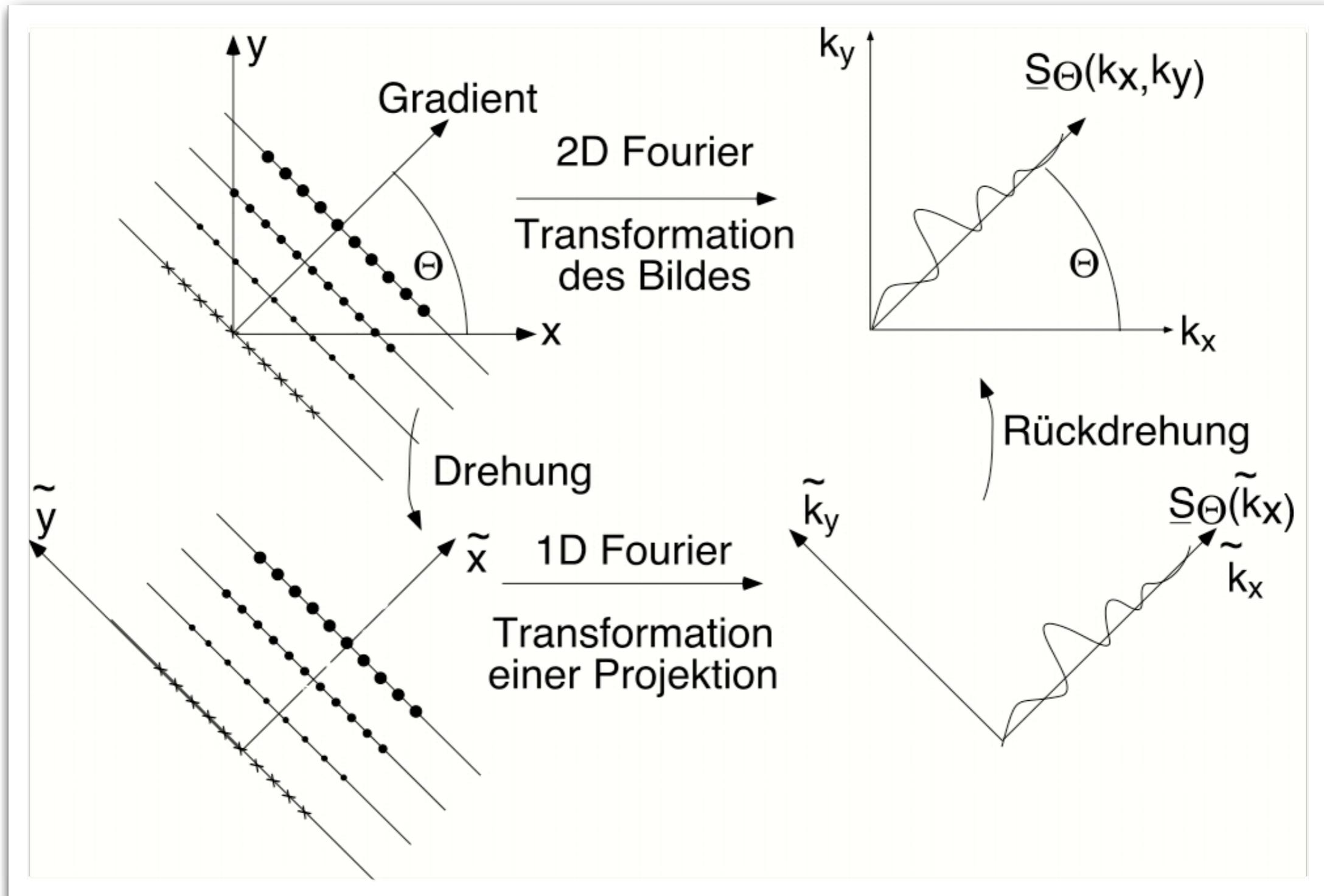


Karthesische Abtastung

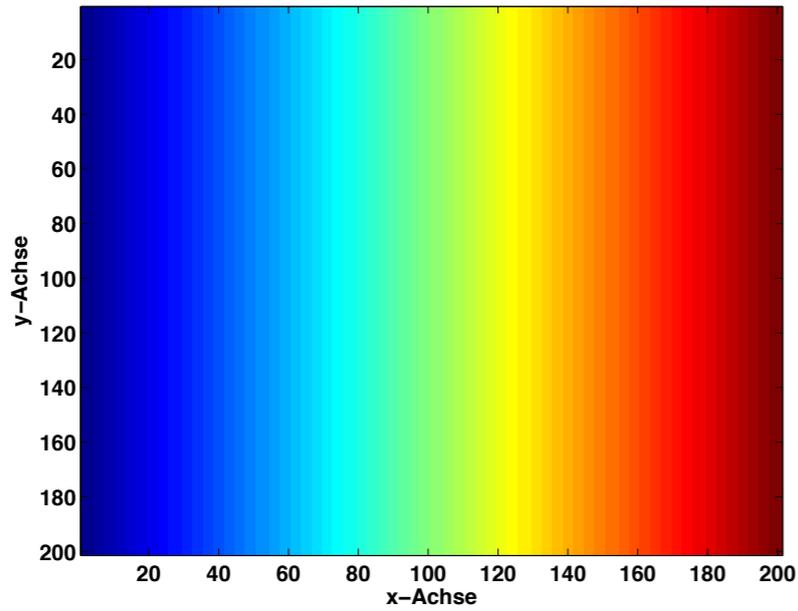


Abtastung in Projektionen

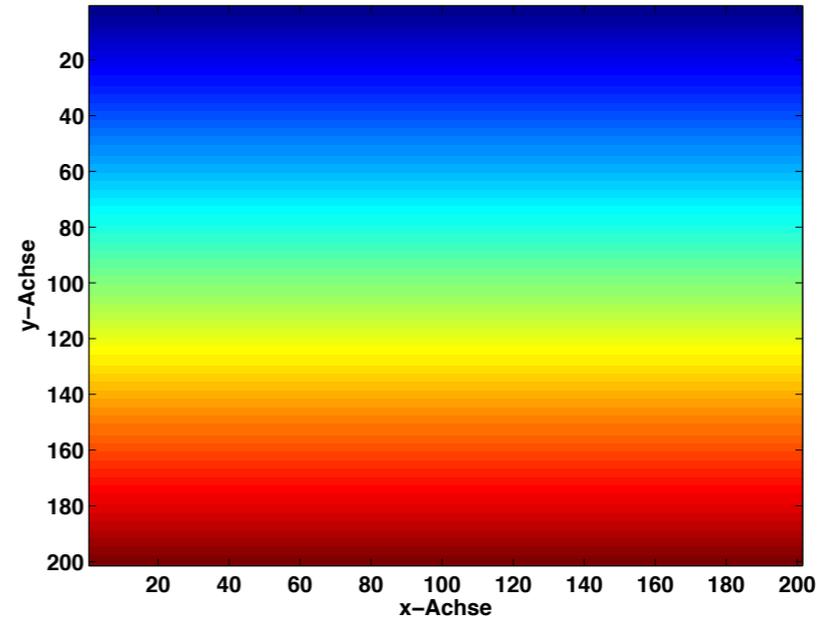
„Schräge“ Projektionen und Eintragung in den k-Raum



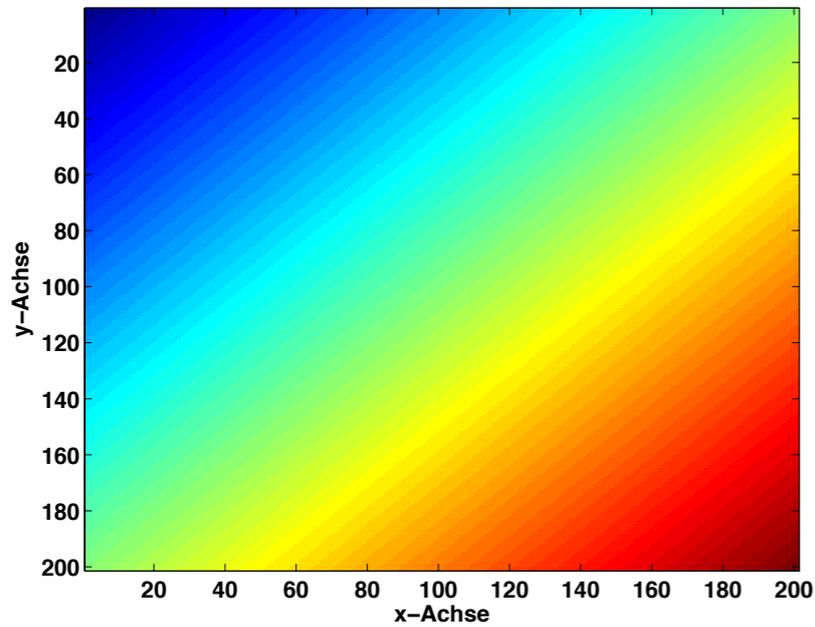
Überlagerung X-Y-Gradient



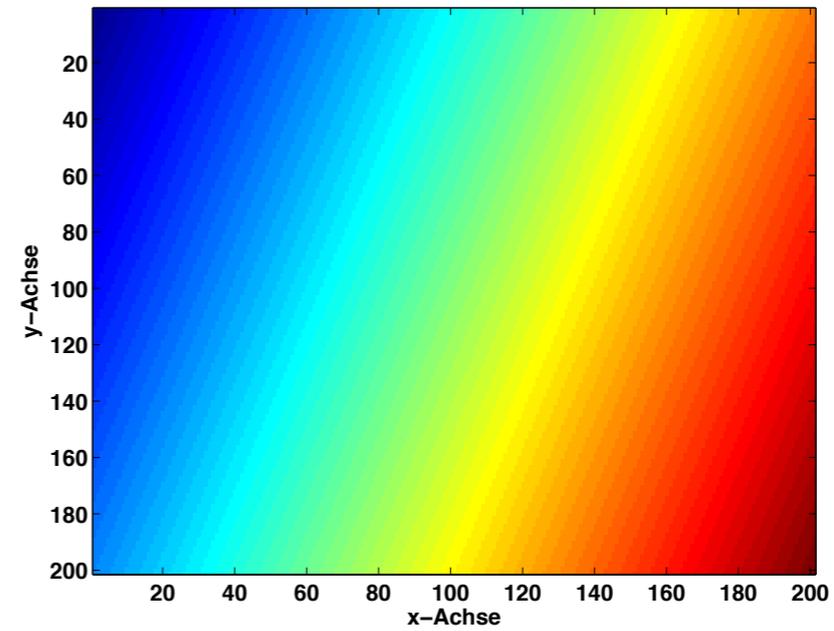
Gx



Gy



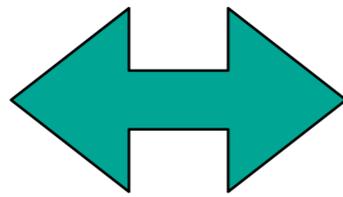
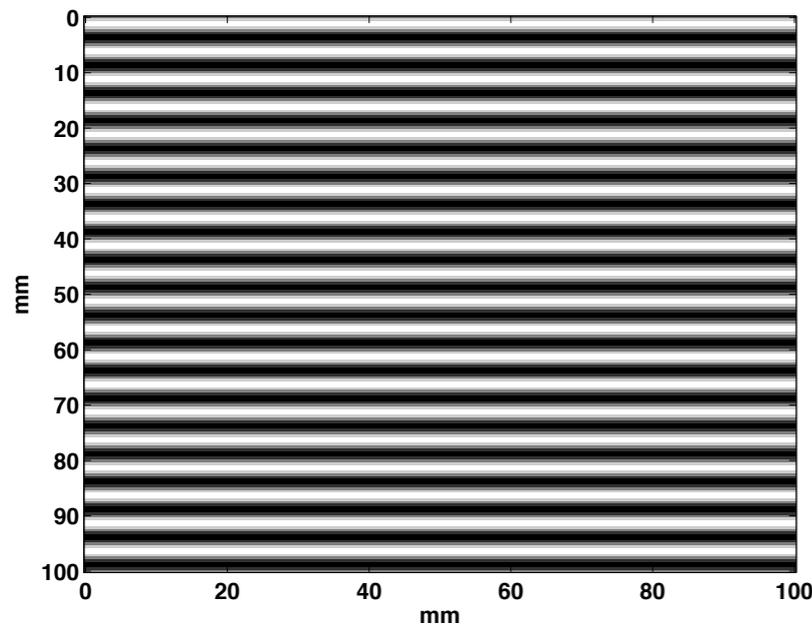
Gx+Gy



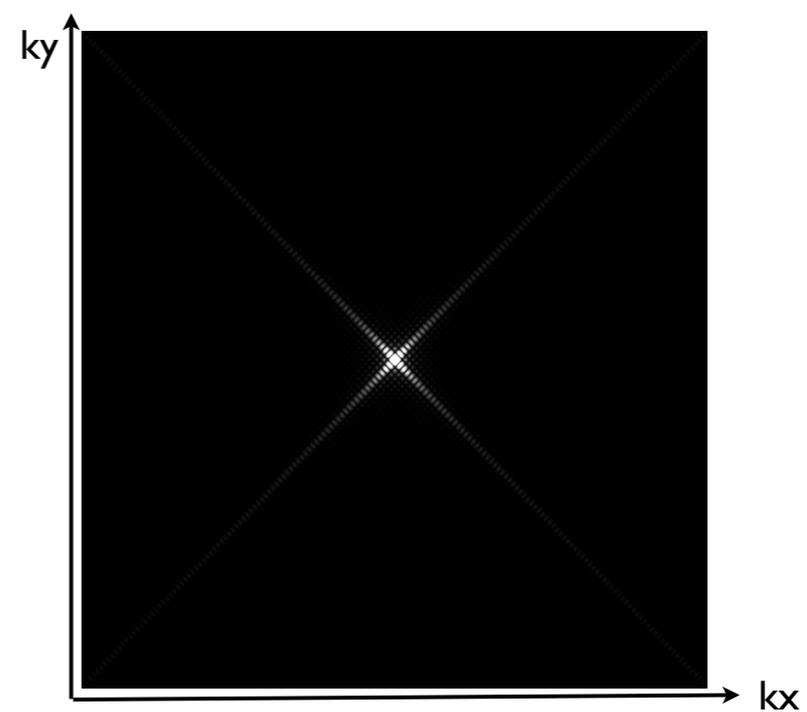
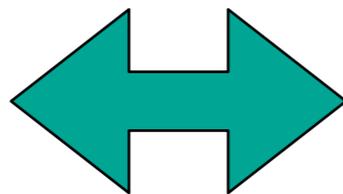
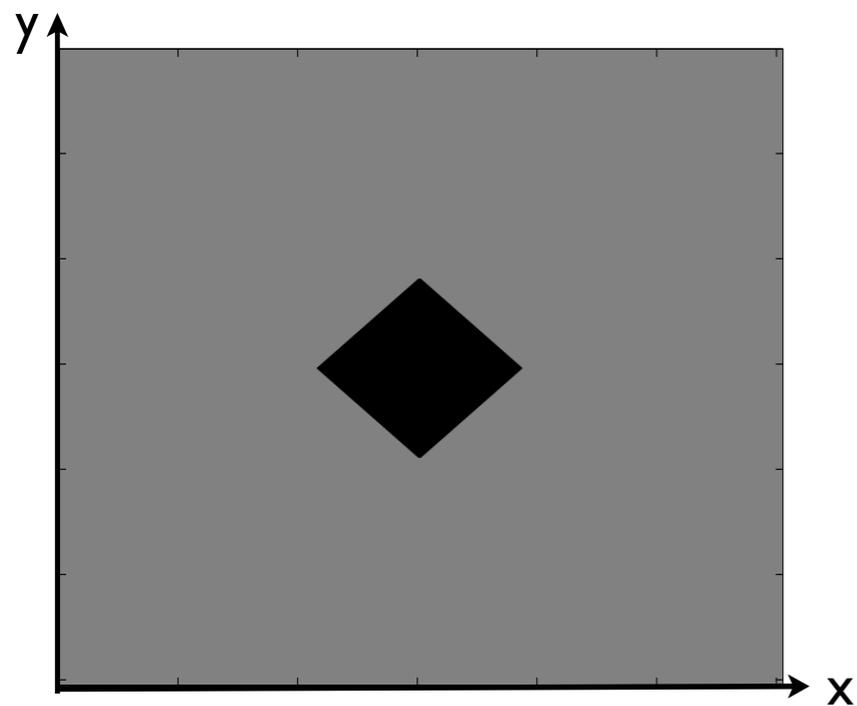
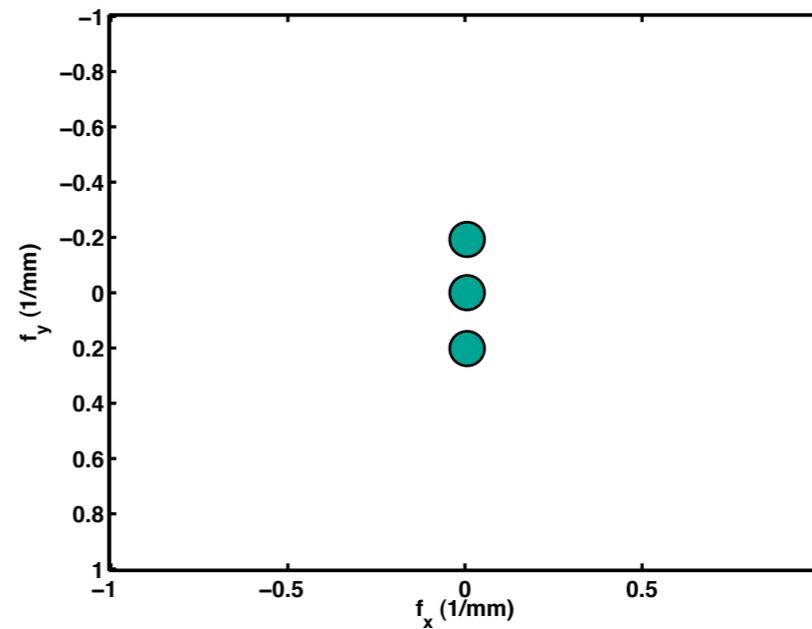
3 Gx+Gy

Beispiele im K-Raum

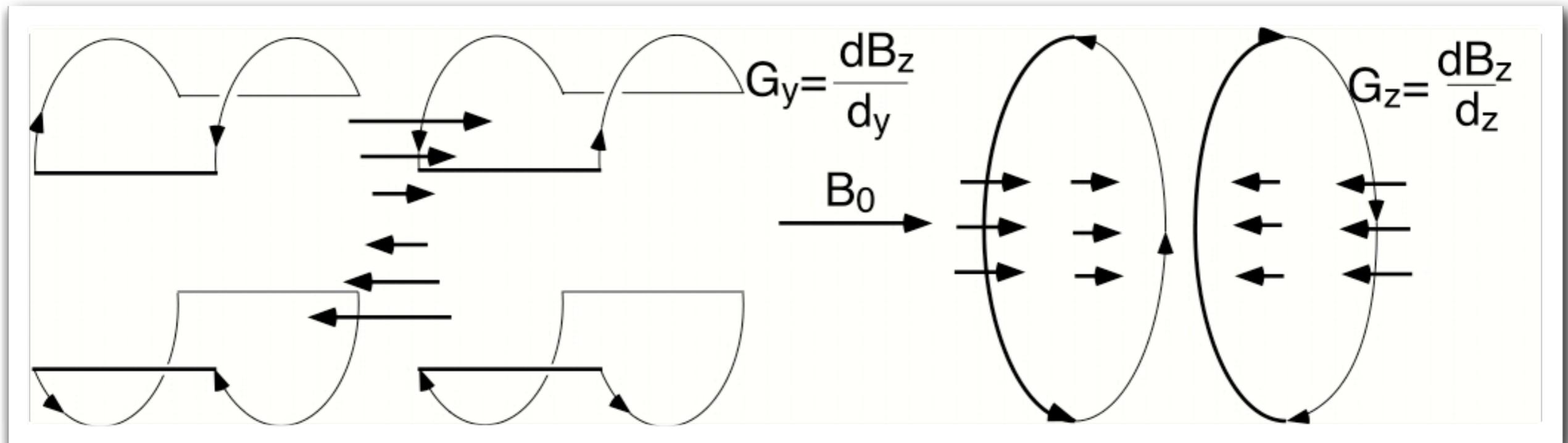
$$M'_{T0}(x,y)$$



$$\underline{S}(k_x, k_y)$$



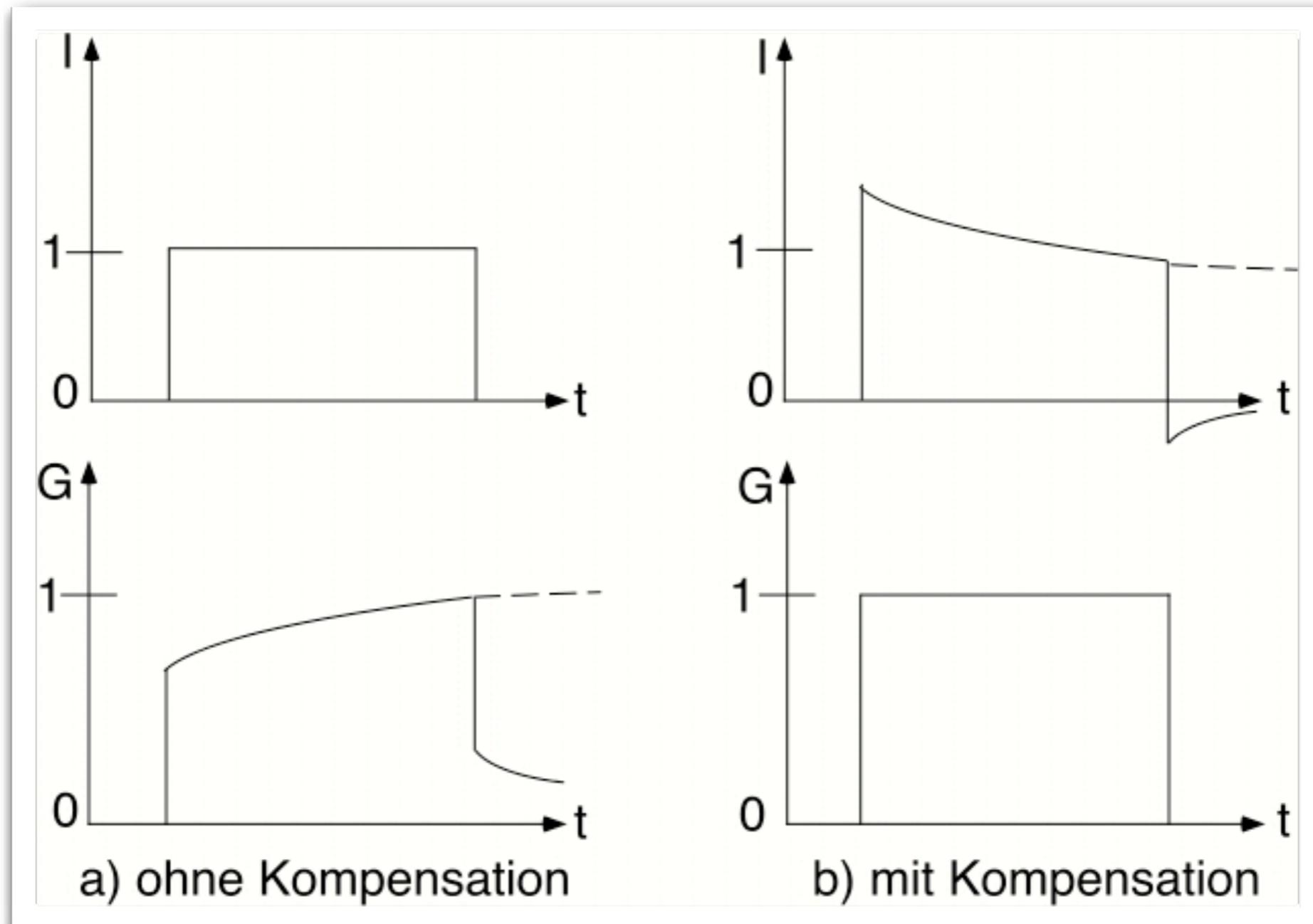
Gradientenspulen



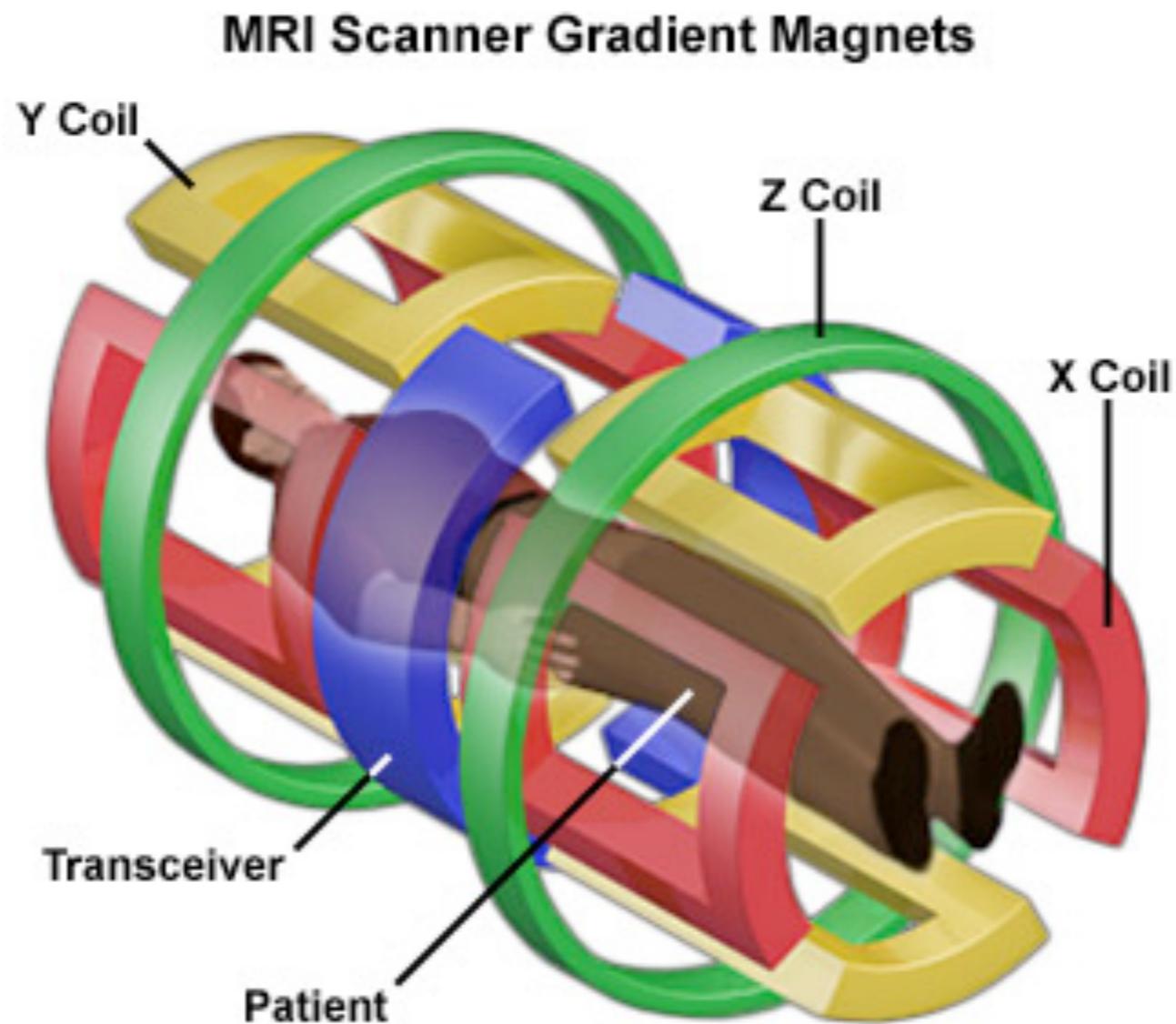
Daten von Gradientenspulen

Wichtige Größen von Gradientenspulen	Typische Größenordnungen für einen Durchmesser von 80 cm
Gradienten-Schaltzeit	auf 10 mT/m in 0,5 msec
Induktivität	200 μ H
Strom pro Gradient	30 A/(mT/m)
maximaler Strom	300 A
Strom-Schaltzeiten	600 kA/sec
Spitzenleistung des Verstärkers (ohne ohmsche Verluste in der Spule)	36 kW

Strom und Gradienten mit und ohne Kompensation von Wirbelstrom-Effekten



Gradientenspulen



medwow.com

**Einschub:
9.4 T MR-PET
(Forschungszentrum Jülich)**

9.4 T MR-PET



- Hohe Feldstärken- hohe Auflösung
- Bildgebung vom Gehirn
- Verständnis von Denkprozessen, Demenz

Quelle: Forschungszentrum Jülich

9.4 T MRT-Magnet in Jülich

Gewicht: 57t

Kabellänge: 750km

Zahl der Windungen: 136574

Offener Durchmesser: 0.9m

Volumen des flüssigen Heliums: 5200l

Kryogeneratoren-Leistung: 2*10kW

Abdampftrate: 1000l in 3 Monaten

Preis: ca. 20Mio Euro

Betriebskosten: 365.000 Euro/Jahr

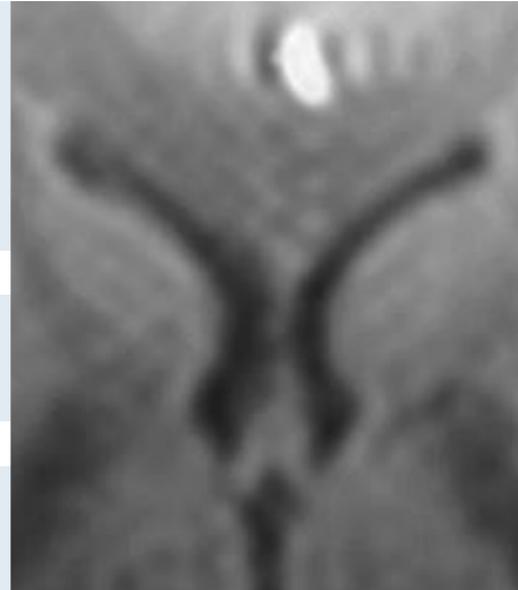


Quelle: Forschungszentrum Jülich

Auflösung mit Steigerung des Feldstärke

Feldstärke der Jülicher Magnetresonanztomografen (MRTs) in T(esla) (ein Tesla entspricht der 20.000-fachen Stärke des Erdmagnetfeldes)

1,5 Tesla



3 Tesla



Erhöhung der Auflösung bei gleicher Messdauer um den Faktor

1

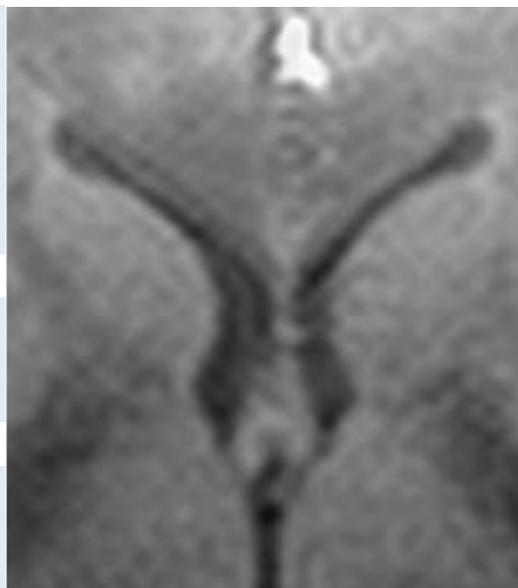
1,5

Abnahme der Messzeit bei gleicher Auflösung etwa um den Faktor

1

6

4 Tesla



1,8

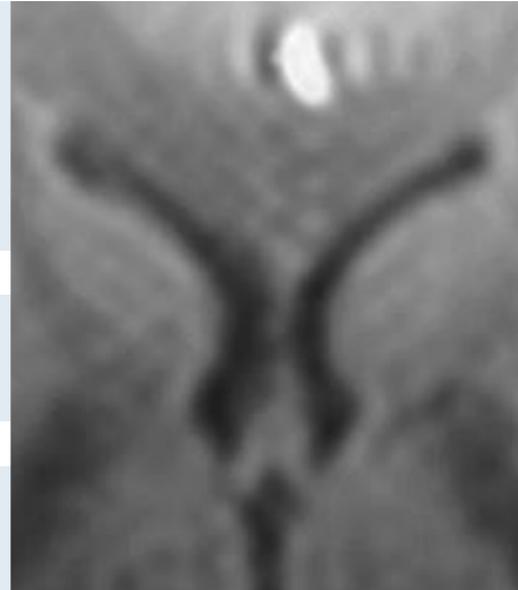
10

Quelle: Forschungszentrum Jülich

Auflösung mit Steigerung des Feldstärke

Feldstärke der Jülicher Magnetresonanztomografen (MRTs) in T(esla) (ein Tesla entspricht der 20.000-fachen Stärke des Erdmagnetfeldes)

1,5 Tesla



3 Tesla



Erhöhung der Auflösung bei gleicher Messdauer um den Faktor

1

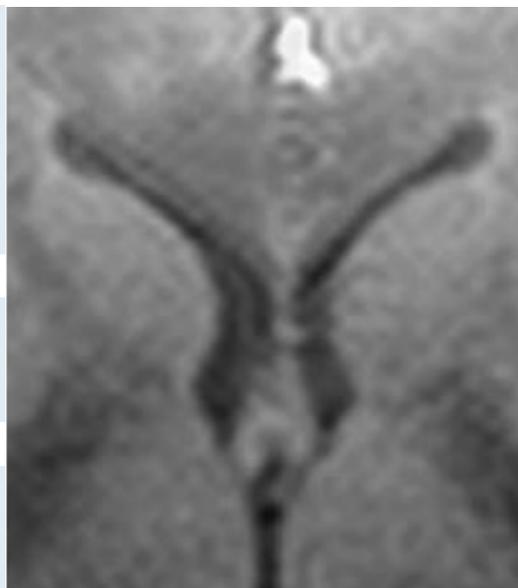
1,5

Abnahme der Messzeit bei gleicher Auflösung etwa um den Faktor

1

6

4 Tesla



9,4 Tesla



1,8

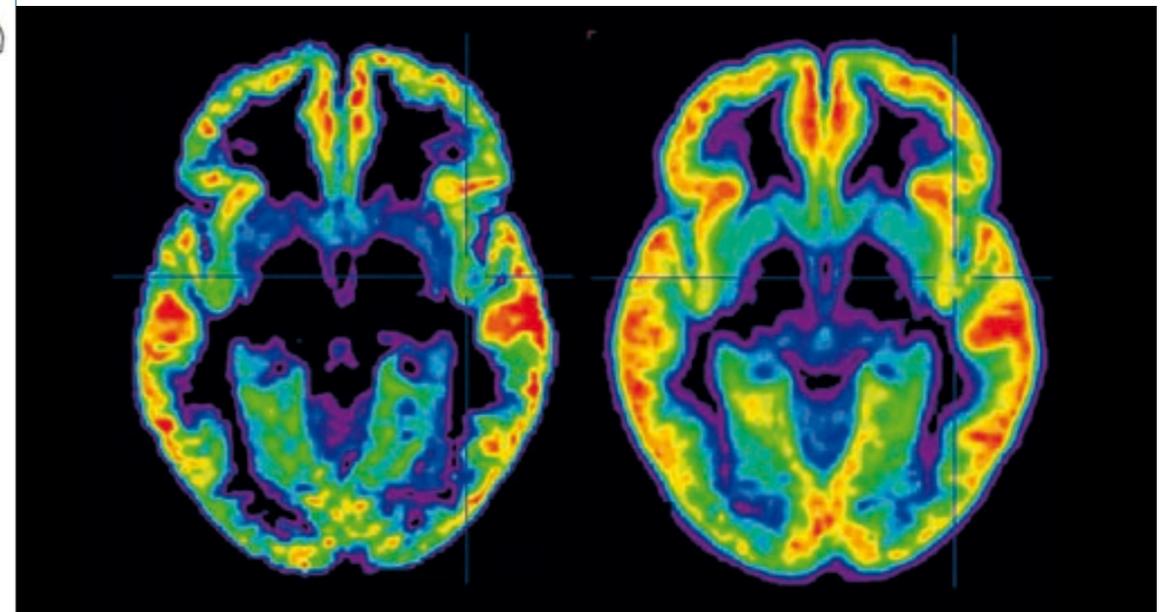
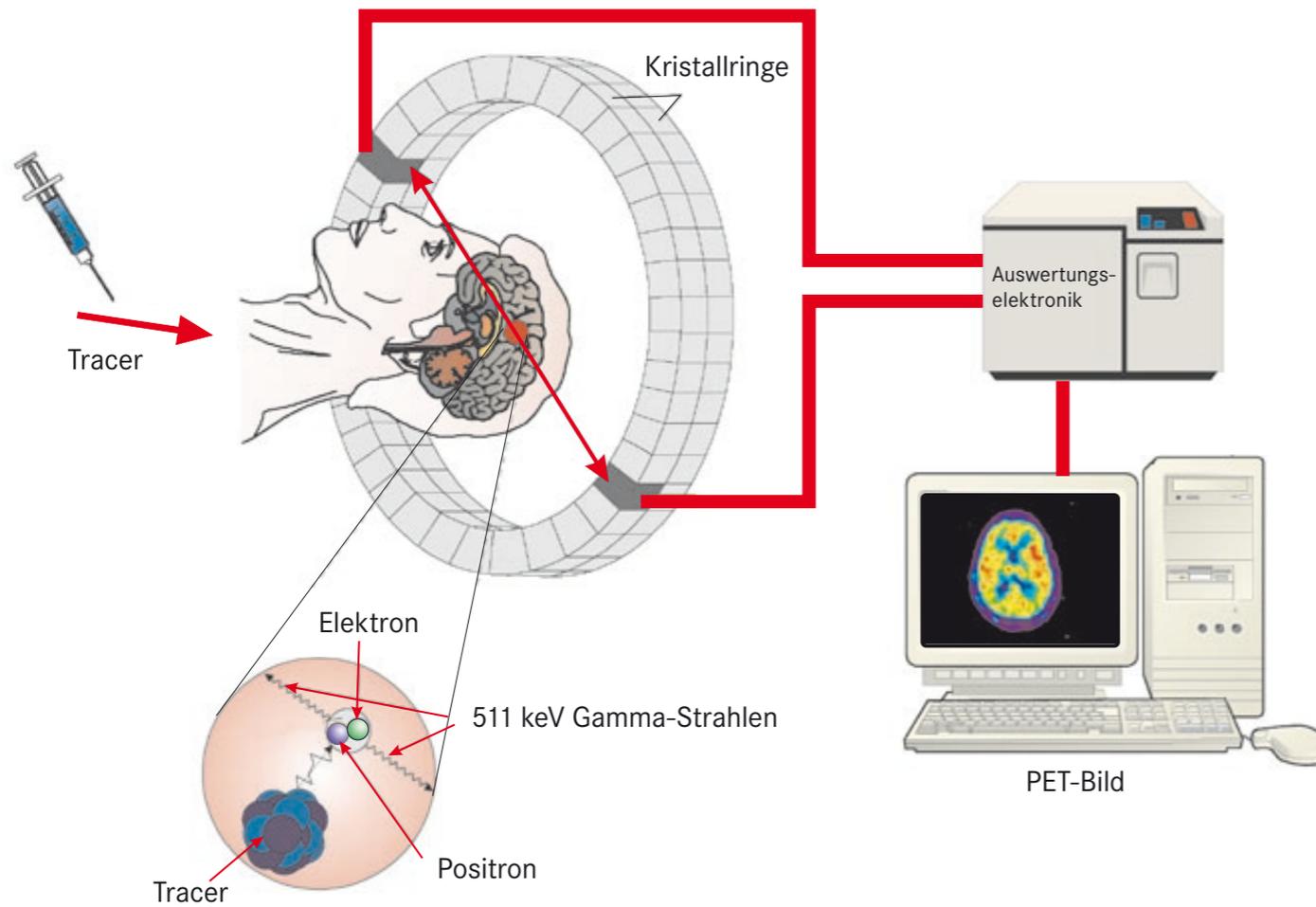
2,5

10

40

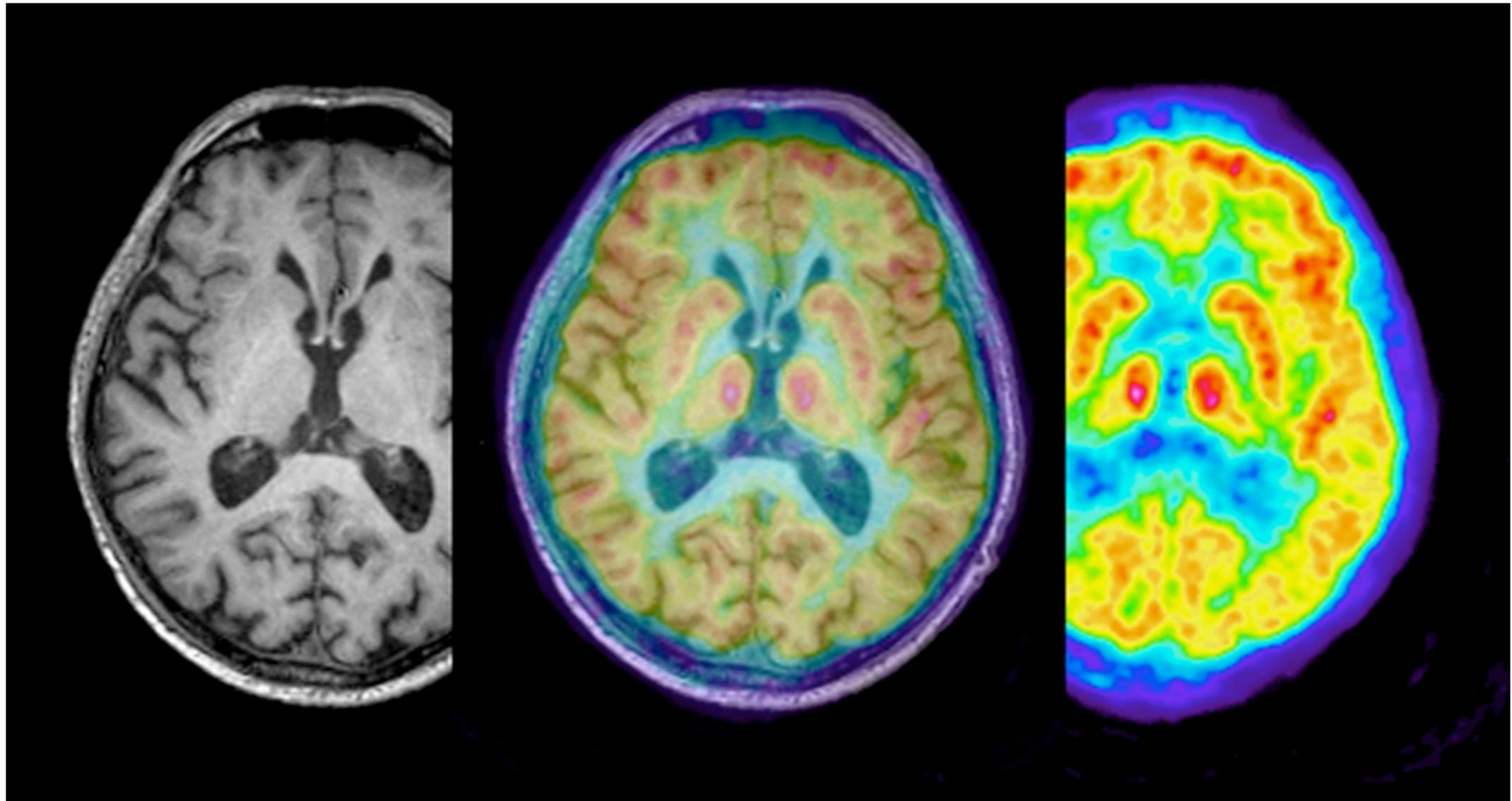
Quelle: Forschungszentrum Jülich

PET- Darstellung von Stoffwechselprozessen



Quelle: Forschungszentrum Jülich

Kombination mit PET



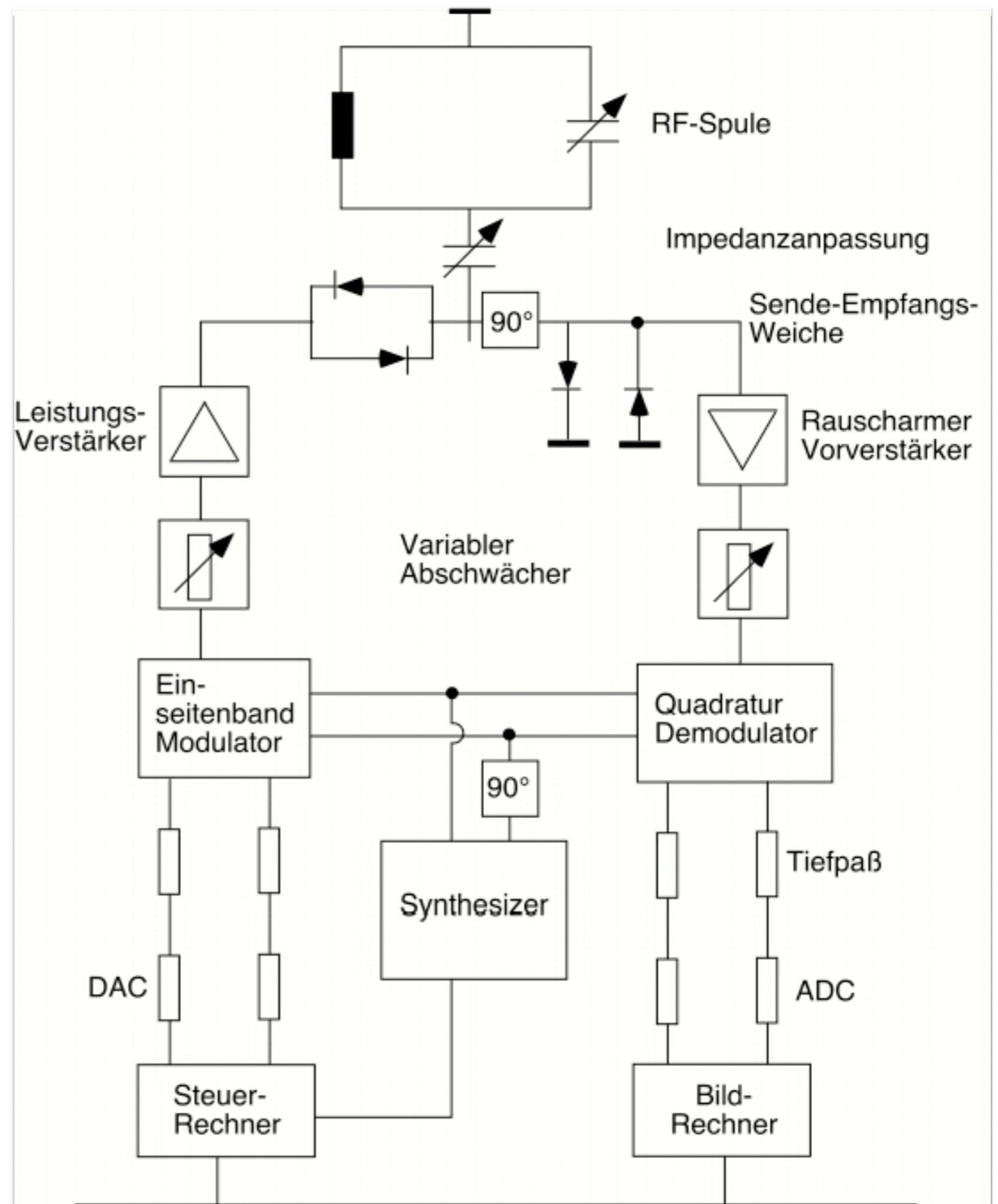
Anatomie

Funktion

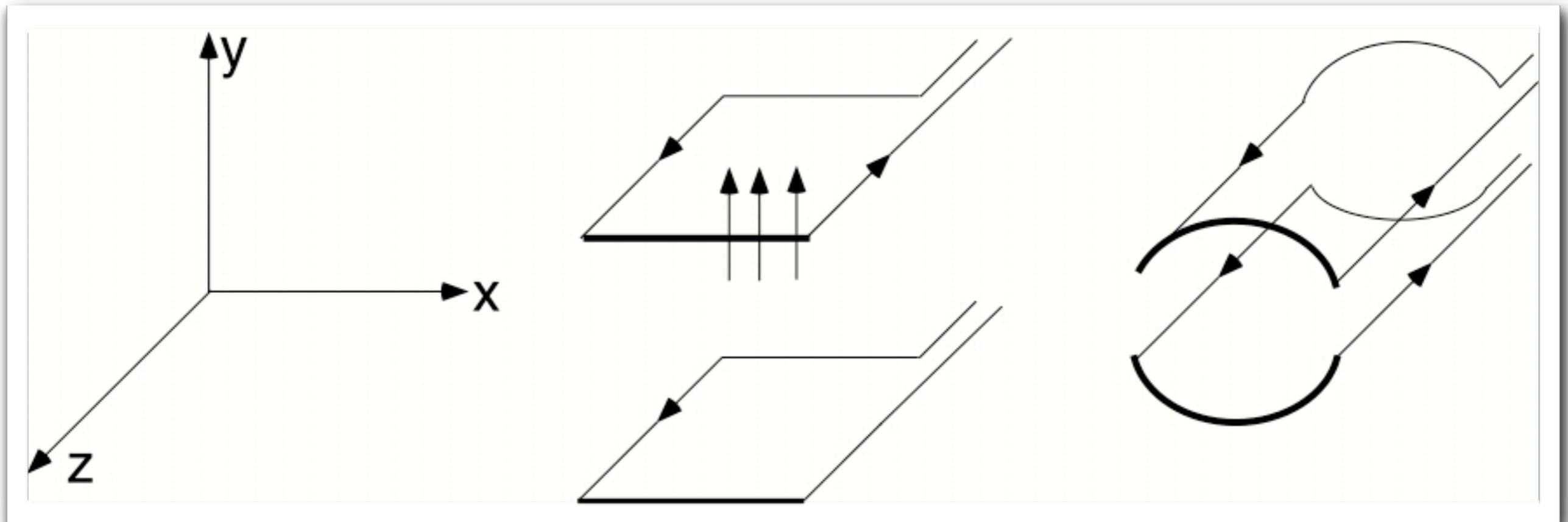
Quelle: Forschungszentrum Jülich

Sende und Empfangsspulen

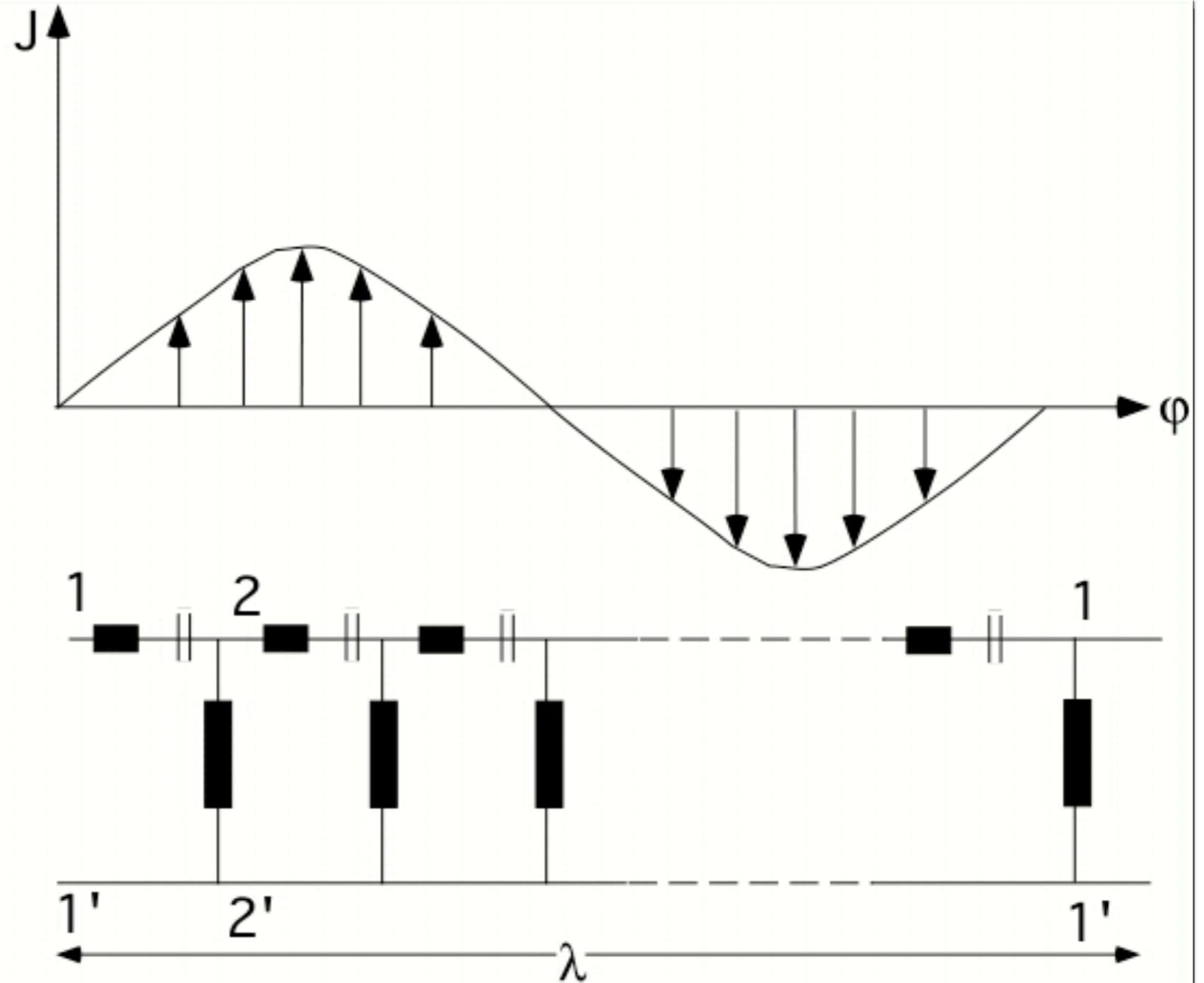
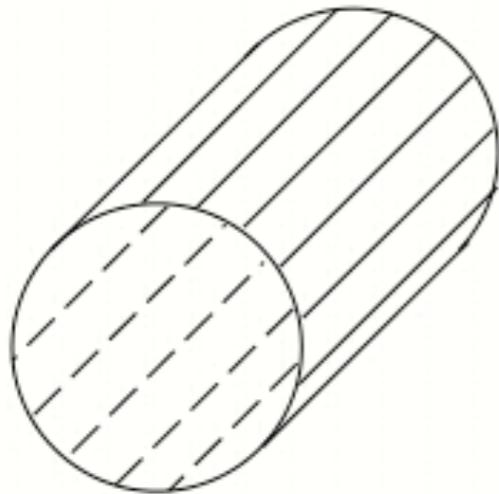
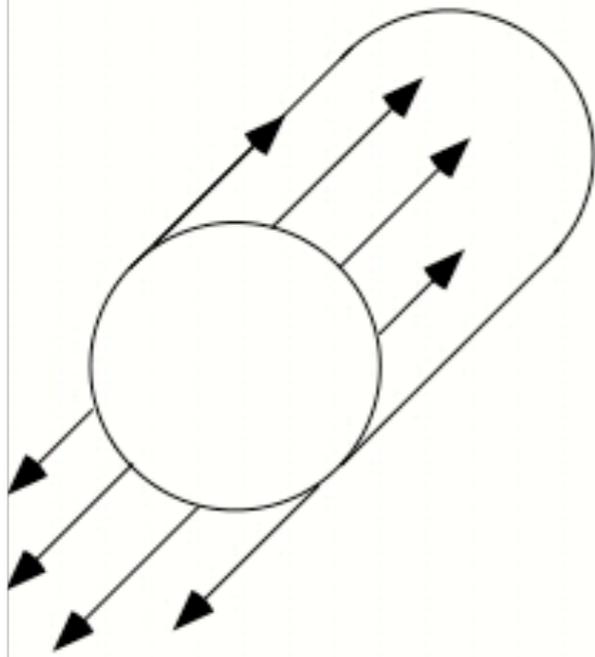
Der RF-Generator und Empfangsteil



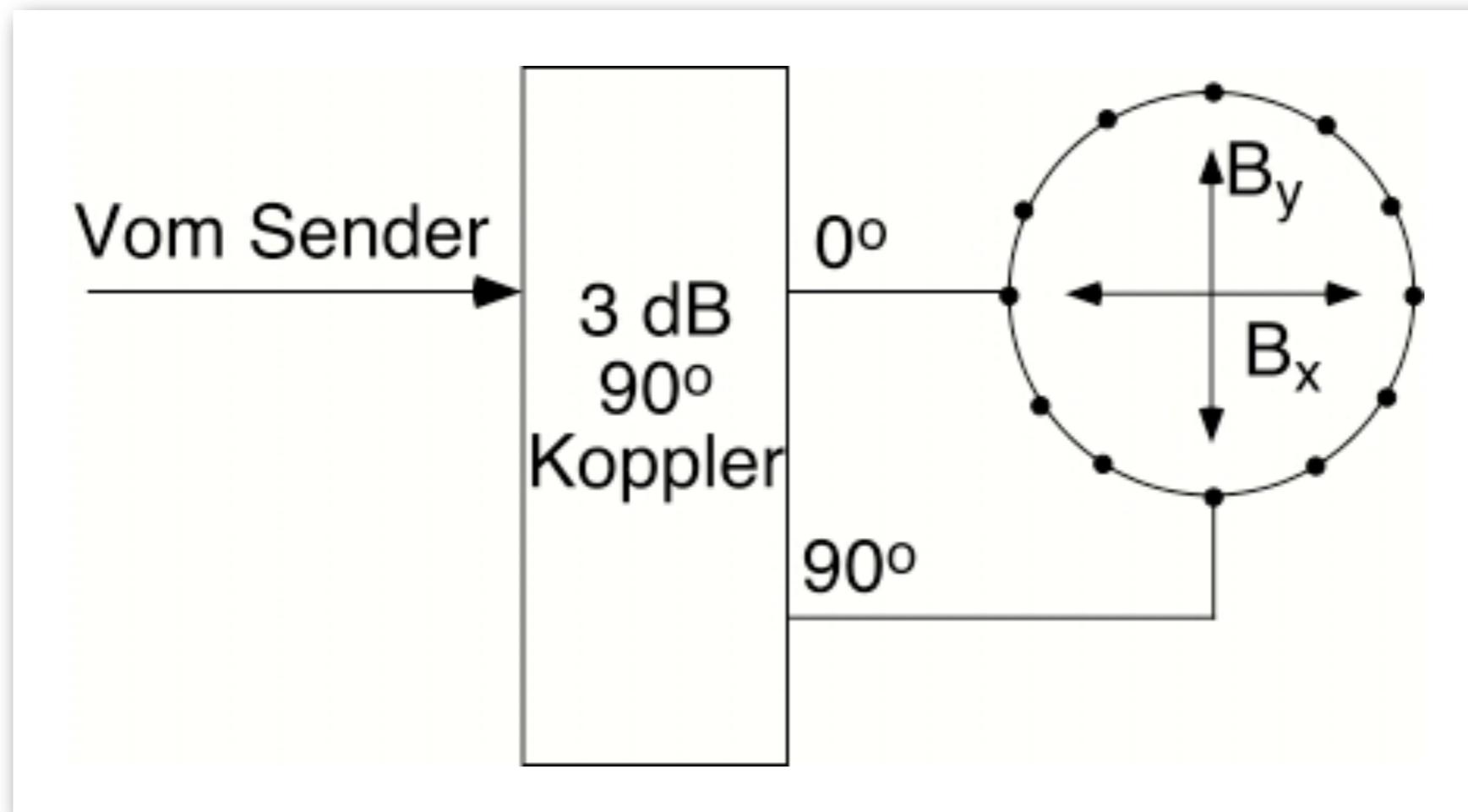
RF - Antenne - Vom Spulenpaar zur Sattelspule -



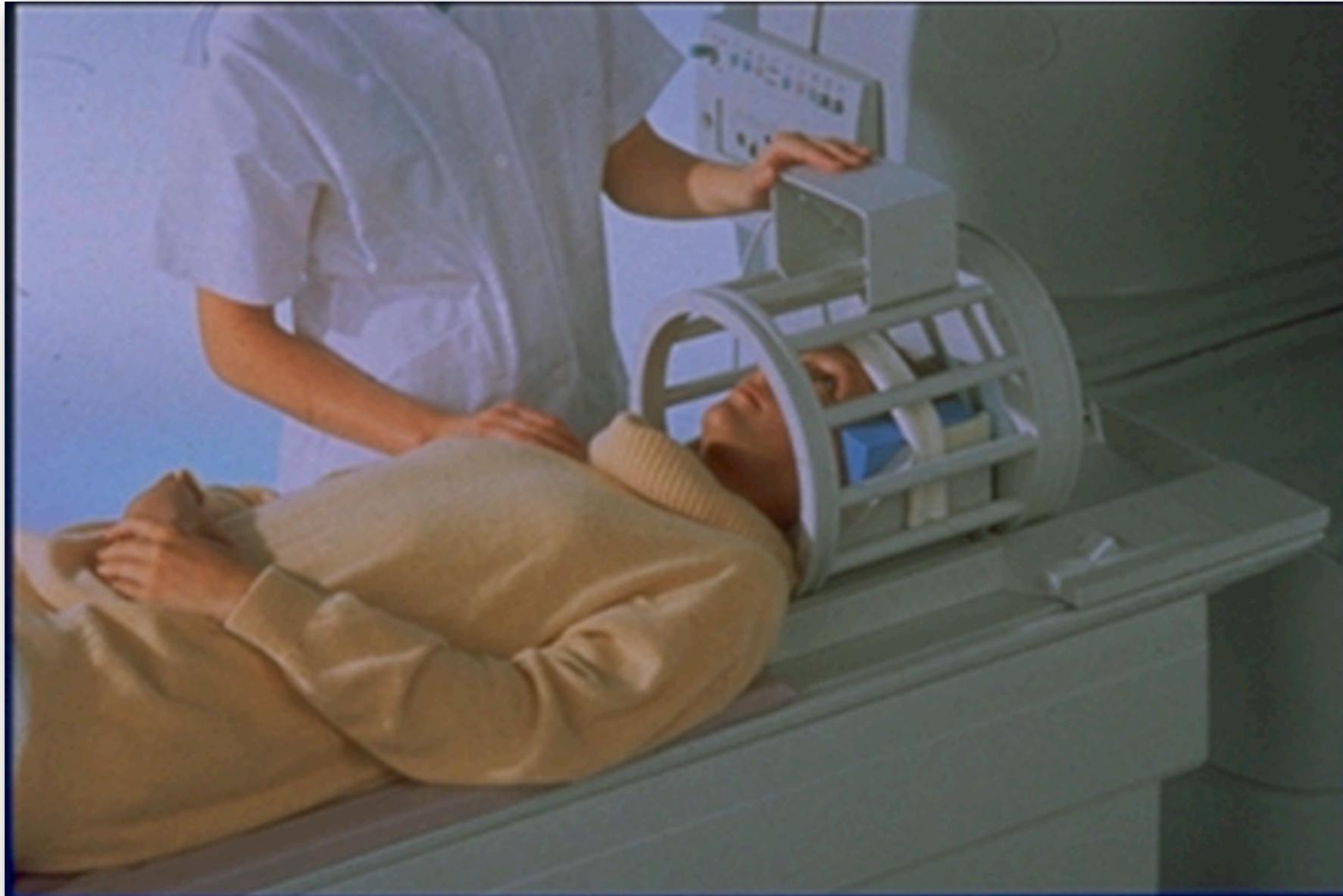
„Birdcage“-Spule



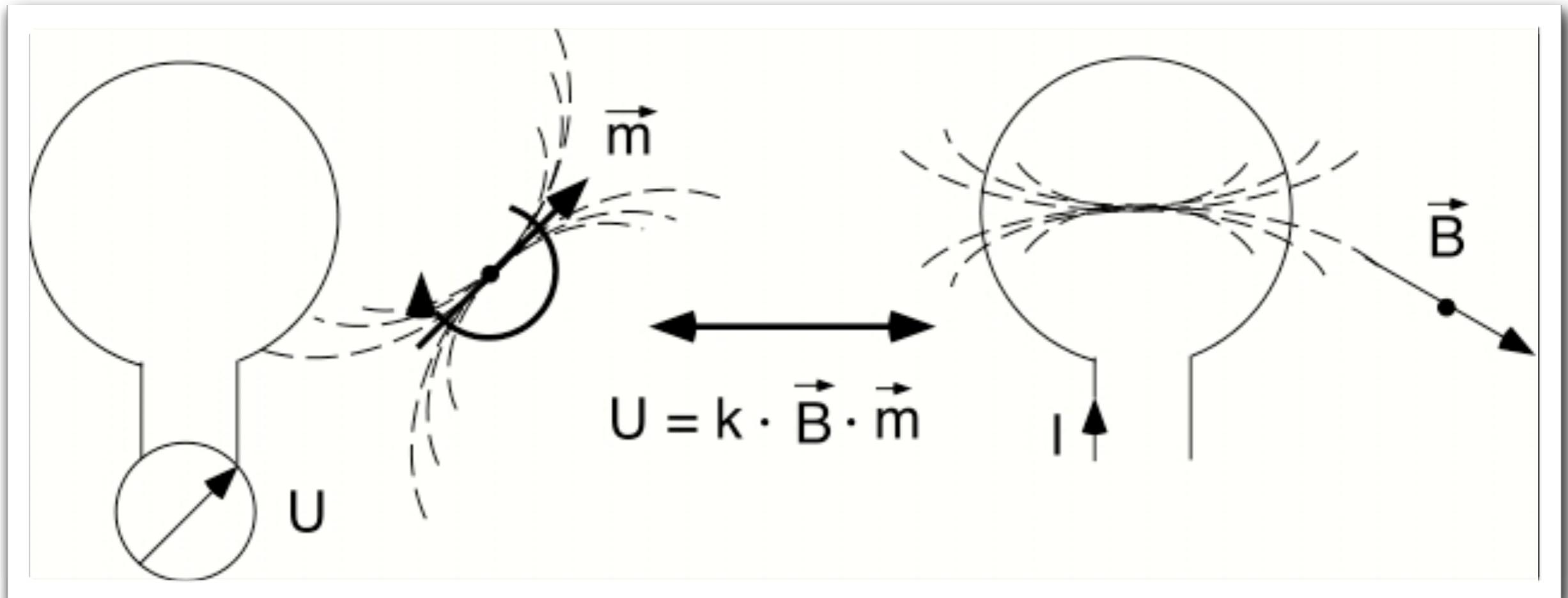
Quadratur-Spule



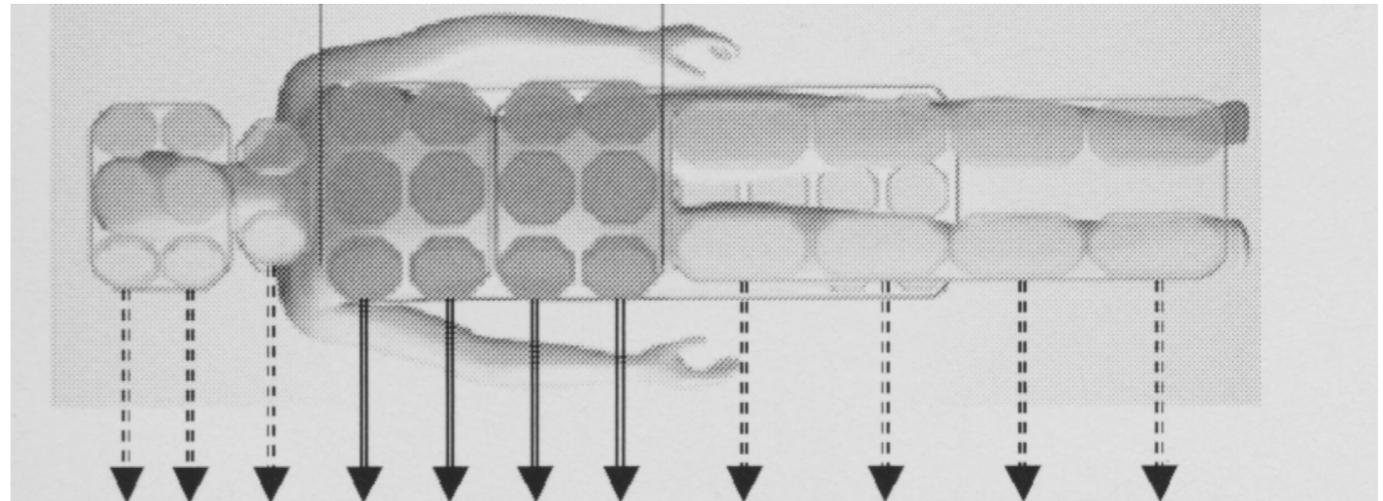
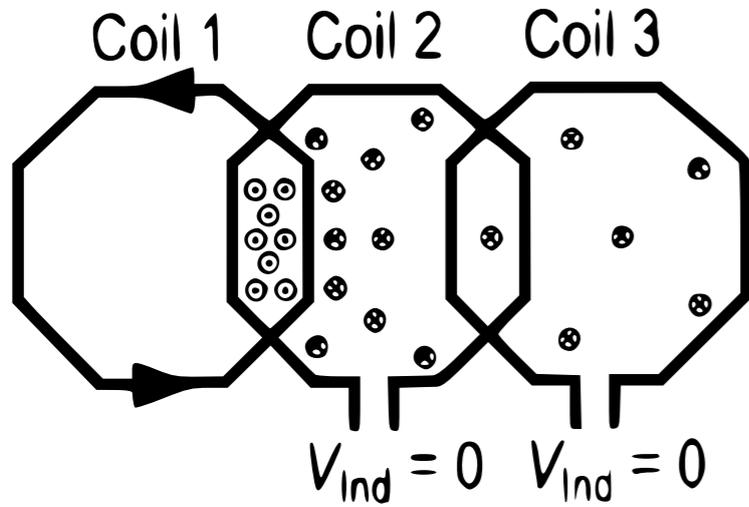
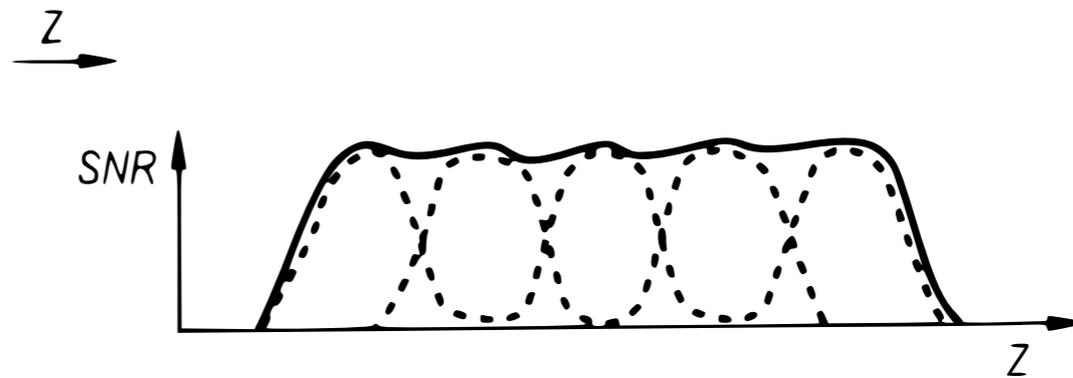
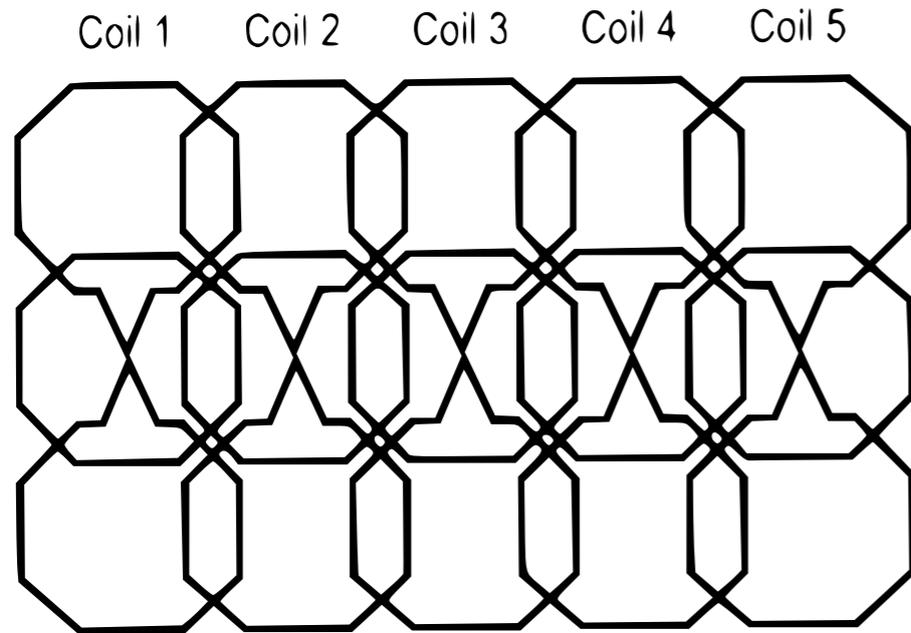
Birdcage Spule



Das Reziprozitätsprinzip



Oberflächenspulen

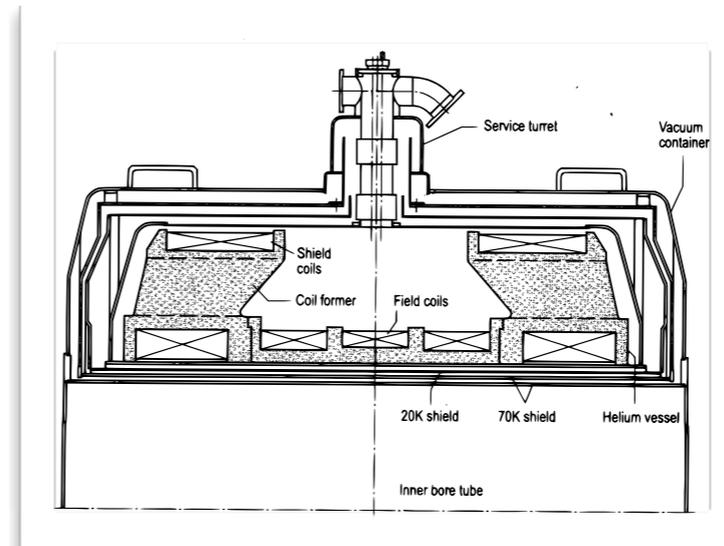


Oberflächenspulen



Zusammenfassung

- Erzeugung Grundmagnetfeld



- Selektive Anregung (z- Ebene)

- Ortskodierung (x-y-Ebene)

- HF-Anregung (Flip)

- Auslesen (Empfang)

