

Bildgebende Verfahren in der Medizin II

29. September 2010

Ultraschall

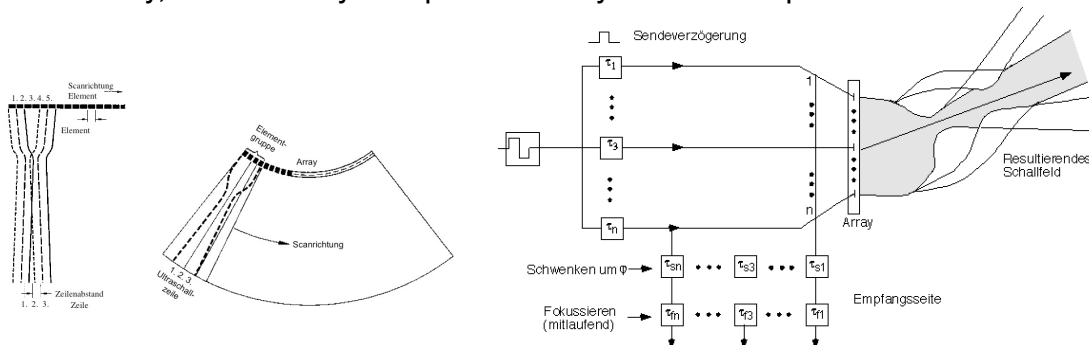
Aufgabe 1: Ultraschallsysteme

Was versteht man unter (jeweils in Stichworten):

- a) A-Mode? (1 Punkt)
- b) B-Mode? (1 Punkt)
- c) M-Mode? (1 Punkt)
- d) Welche elektronischen Systeme für den B-Mode gibt es (3 Varianten) ? Lösungen jeweils mit Skizze und kurzer Erklärung (6 Punkte)

Lösung:

- a) A-Mode (**A**mplitudenmodulation) bezeichnet 1D-Ultraschall-Messungen: Abbildung der reflektierten US-Intensität entlang eines einzelnen Strahls in den Körper hinein.
- b) B-Mode (**B**rightness-modulation) kennzeichnet 2D-US-Systeme. Signalintensitäten werden in Grauwerte umgewandelt.
- c) M-Mode (**M**otion-modulation) steht für zeitabhängige 1D-Messungen. Darstellung bewegter Organe durch Auftragen der Signale über der Zeit.
- d) Linear array, curved array und phased array US-Messköpfe



Bei den Linear- und Curved-Arrays sind sehr viele sehr kleine US-Wandler in einem Array angeordnet. Zur gleichen Zeit werden Gruppen von Wandlern aktiviert. Zum „Scannen“ wird dann die ganze Gruppe Element für Element weitergeschoben. Mit einer gekrümmten Anordnung von US-Wandlern (curved Arrays) kann ein Bildausschnitt in Form eines Kreissegmentes dargestellt werden.

Beim Phased-Array kann jedes Wandler-Element eines Arrays sowohl beim Senden als auch beim Empfangen mit einer individuellen Verzögerung angesteuert werden. Dadurch haben die von jedem Wandler abgestrahlten Kugelwellen eine genau definierte Phasenverschiebung (elektronisches Schwenken der Schallkeule).

Aufgabe 2: Auflösung bei der Ultraschall-Bildgebung

- a) Wovon hängt die axiale Auflösung bei der Ultraschalldiagnostik ab (Begründung)? Welche axiale Auflösung in Muskelgewebe kann mit einer US-Frequenz von 2 MHz theoretisch erreicht werden (Schallgeschwindigkeit in Muskel 1568 m/s)? (Erklärung)? Warum wird diese nicht erreicht und wo liegt die erreichte Auflösung typischerweise? (4 Punkte)
- b) In welchem Bereich ist die laterale Auflösung am größten? Wie groß ist dieser Bereich für den Fall aus (a), wenn der Durchmesser des US-Wandlers 5 mm beträgt? (3 Punkte)

Lösung:

- a) Die axiale Auflösung ist in erster Näherung proportional zur US-Wellenlänge (1 Punkt). Es erscheinen zwei unterschiedliche Echos, wenn sie an zwei Grenzflächen reflektiert worden sind, deren Abstand größer ist als die halbe Wellenlänge (1 Punkt). Mit

$$\lambda = c_{\text{Muskel}} / f$$

und

$$d = \lambda / 2$$

ergibt sich eine theoretische Grenze von 0.39 mm (1 Punkt). Allerdings werden die Wellenpakete durch die endliche Bandbreite des Senders und Dispersion verschmiert. Typische erreichbare Auflösungen liegen in Muskelgewebe etwa bei 0,8 mm axial (1 Punkt).

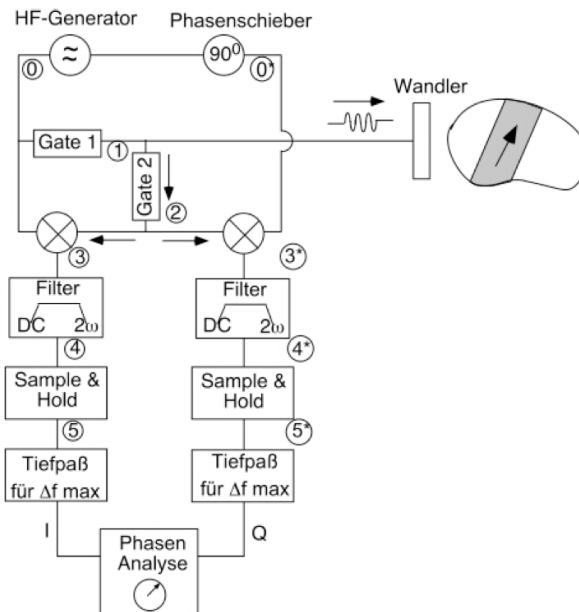
- b) Die laterale Auflösung ist im Fokus-Bereich am größten und nimmt im Nahbereich und Fernbereich ab (1 Punkt). Der Fokus-Bereich liegt zwischen $x/N = 1$ und $x/N = 2$, mit $N = D^2 / 4\lambda$ (1 Punkt). Für die angegebenen Werte ergibt sich ein Fokusbereich von 8 mm bis 16 mm (1 Punkt).

Aufgabe 3: Messung der Fließgeschwindigkeit des Blutes

- a) Skizzieren Sie ein PW-Doppler-US-System mit Erkennung der Flussrichtung. Erklären Sie den Signalfuss (10 Punkte).
- b) Wie ermittelt man beim Farb-Doppler-Ultraschall die mittlere Fließgeschwindigkeit aus den Messungen? (Skizze von der Datenauswertung, Erklärung) (3 Punkte)
- c) Wann treten Aliasing-Artefakte auf (1 Punkt)?

Lösung:

- a) Skizze: (5 Punkte)



Gesendet werden Pulszüge eines kontinuierlichen Signals (1) (1 Punkt). Aus dem empfangenen Echo wird zunächst mit einem zweiten Gate ein kurzer Abschnitt ausgeschnitten, so dass nur noch Informationen aus einer bestimmten Tiefe weiterverarbeitet werden (2) (1 Punkt). Das Echo wird dann in zwei Kanäle aufgeteilt. Der eine Kanal wird mit dem Original-HF-Signal gemischt. Der zweite Kanal mit einem um 90° phasenverschobenen HF-Signal (3) (1 Punkt). Beim Mischen entstehen Summen- und Differenzfrequenz zwischen Sende- und Empfangssignal. Beide Kanäle laufen über einen Filter (Eliminierung der Summenfrequenz und DC) (4) und einen „Sample&Hold“ (5) (1 Punkt), so dass die Endsignale nur noch Informationen der Dopplerfrequenz enthalten. Aus den beiden Signalen lässt sich die Geschwindigkeit und die Richtung des Blutflusses ermitteln (1 Punkt).

- b) Da die Fließgeschwindigkeit des Blutes sich ständig ändert, bleibt keine Zeit, mit dem PW-Doppler-Verfahren sukzessive das ganze Bild abzutasten. Beim Farb-Doppler US wird für einen Bereich eines konventionellen US-Bildes die zeitlich gemittelte Dopplerfrequenz und die Schwankungsbreite, d.h. die mittlere Fließgeschwindigkeit und die Turbulenz bestimmt. Das Ergebnis wird in Falschfarben dem konventionellen US-Bild überlagert (1 Punkt).

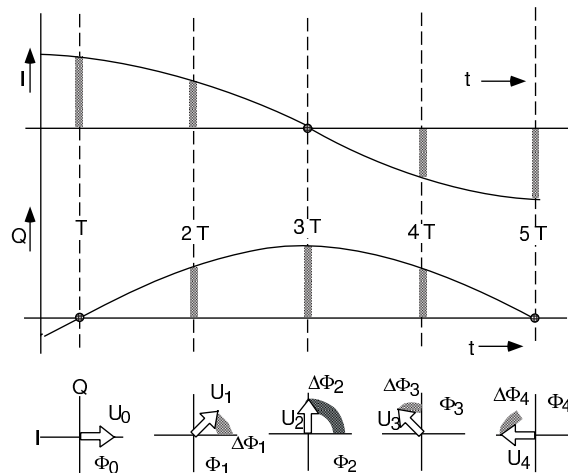
Die beiden Signale werden als Realteil und Imaginärteil eines komplexen Zeigers in eine komplexe Ebene eingetragen. Die Winkelgeschwindigkeit dieses Zeigers, die sich im Prinzip schon nach zwei Echos bestimmen lässt, ist ein Maß für die mittlere Dopplerverschiebung und damit für die mittlere Fließgeschwindigkeit (1 Punkt):

$$\frac{\Delta\Phi}{T} = 2\pi\overline{\Delta f}$$

$\Delta\Phi$: Drehwinkel des Zeigers zwischen zwei Echos,

T : Zeit zwischen zwei Echos

Θ : Winkel zwischen Sender und Blutgefäß



(1 Punkt)

- c) Es kommt zu Aliasing-Artefakten, wenn die tatsächliche Blutflussgeschwindigkeit $v_{\max}$ überschreitet. $v_{\max}$ ergibt sich aus dem Kompromiss: $T_{\min}$ (kürzestmöglicher Wiederholabstand zur Vermeidung der Überlagerung von Echos, $T_{\max}$ (längstmöglicher Wiederholabstand zur Einhaltung des Abtasttheorems) (1 Punkt)

Impedanztomographie:

Aufgabe 4: Dynamic Imaging

- a) Was ist „Dynamic Imaging“? (2 Punkte)
- b) Wo wird das Verfahren angewendet? (2 Anwendungen) (2 Punkte)

Lösung:

- a) Im Gegensatz zur Ursprungsidee der Impedanztomographie, Bilder der Impedanzverteilung im Körper aufzunehmen, werden beim Dynamic Imaging Bilder der Impedanz-Änderung aufgenommen. Dadurch werden die Nachteile der gefilterten Rückprojektion umgangen.
- b) Ein wichtiges Anwendungsbeispiel ist die Untersuchung, ob alle Bereiche der Lunge beim Atmen belüftet werden. Dazu wird jeweils ein vollständiger Datensatz im ausgeatmeten Zustand und im eingeatmeten Zustand aufgenommen. Es wird nicht mehr der homogene Zylinder als Referenz für die relative Spannungsänderung gewählt, sondern die relative Spannungsänderung folgendermaßen definiert:

$$V_r = \frac{V_{ein} - V_{aus}}{V_{aus}} \quad \text{mit:}$$

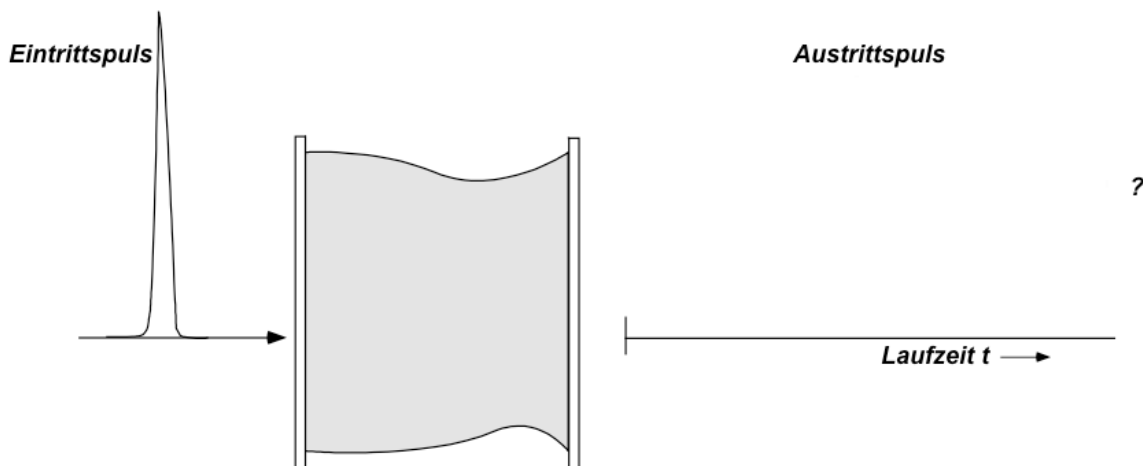
- V_{aus} : gemessene Spannung im ausgeatmeten Zustand
- V_{ein} : gemessene Spannung im eingeatmeten Zustand

Ein weiteres Beispiel ist die Aufnahme von Datensätzen im systolischen bzw. diastolischen Zustand des Herzens, um Aussagen über die Herzfunktion zu treffen.

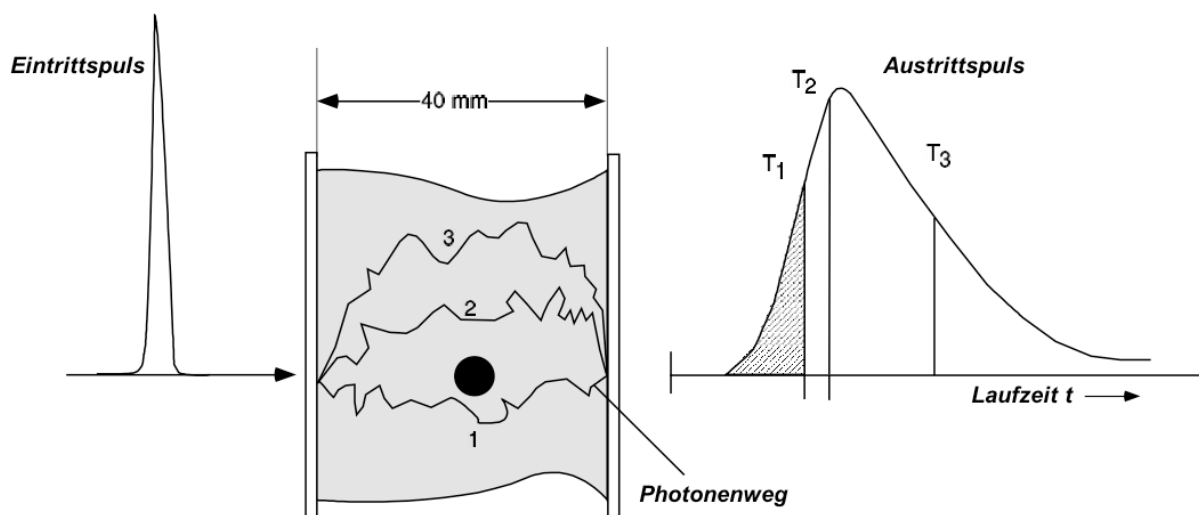
Optische Tomographie

Aufgabe 5:

Ein "Lichtblitz" (δ -Puls) wird auf eine Scheibe aus Körpergewebe gegeben. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Lichtintensität des transmittierenden Lichtes. Wie hängt der Verlauf vom Streu- bzw. Absorptionskoeffizienten ab (Begründung)? Wie kann man das Bild "schärfer" machen? In welcher Größenordnung liegen die Zeitfenster? (6 Punkte)



Lösung: (Skizze: 2 Punkte)



Weniger Streuung: Die Kurve wird schmaler. Begründung: Das Licht legt eine kürzere Strecke zurück.

Weniger Absorption: Die Kurve wird breiter. Es kommt über die Zeit mehr Licht im Detektor an. (2 Punkte)

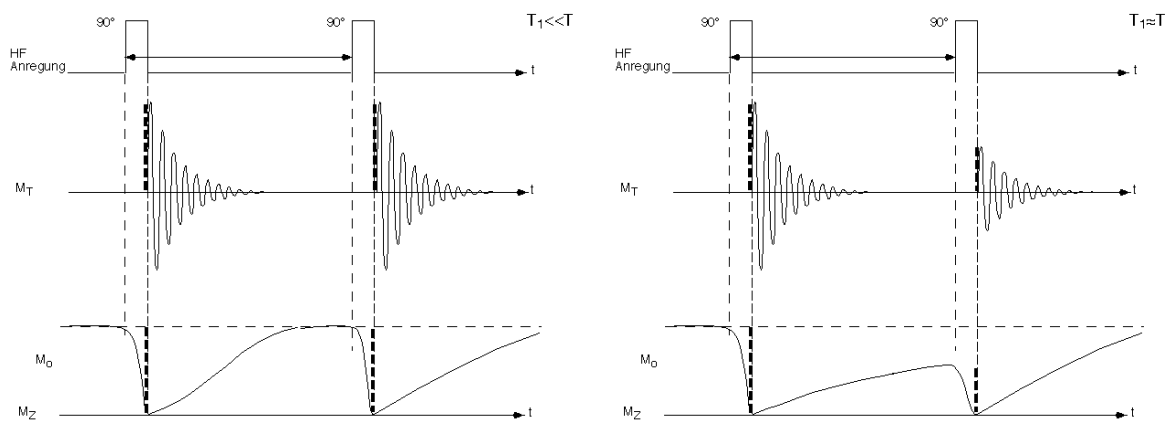
Die Abbildung kann schärfer gemacht werden, wenn nur die ersten ankommenden Photonen zur Auswertung benutzt werden ("Zeitfenster" Größenordnung 100 psec) (2 Punkte).

MR-Tomographie

Aufgabe 6:

Skizzieren Sie die Magnetisierung M_z und M_T und das "Free Induction Decay" (FID) Signal nach zwei 90° -Pulsen für den Fall $T_1 \ll T_R$ und für $T_1 \gg T_R$. (4 Punkte)

Lösung:



Aufgabe 7: Bildqualität bei der MR mit kartesischer Abtastung

- Von welchen Größen hängt die Auflösung in x, y und z-Richtung bei der MR-Tomographie ab? (4 Punkte)
- Wie kann man die Auflösung vergrößern? (2 Punkte)
- Bestimmen Sie den Wert des größten Gradientenfeldes, das für die Phasenkodierung im folgenden Fall benötigt wird: Auflösung $\Delta y = 0,33$ mm, Gradienteneinschaltzeit = 1 ms ($\gamma/2\pi = 42,6$ MHz/T) (3 Punkte)

Lösung:

- Die Auflösung in x-Richtung hängt vom Gradienten G_x und von der Messzeit T_s ab (2 Punkte).

$$\Delta x = \frac{\pi}{\gamma G_x T_s}$$

Die Auflösung in y-Richtung hängt vom Gradienten G_y und von der Einschaltzeit T_y ab (1 Punkt).

$$\Delta y = \frac{\pi}{\gamma G_y T_y}$$

Die Auflösung in z-Richtung hängt vom Gradienten G_z und von der Bandbreite des anregenden HF-Signals ab (1 Punkt).

$$\Delta z = \frac{\Delta \omega_s}{\gamma G_z}$$

b) Die Auflösung kann durch stärkere Gradienten G_x und G_y vergrößert werden (1 Punkt). Gleichzeitig muss die Bandbreite sowohl beim Anregen als auch beim Auslesen vergrößert werden (1 Punkt).

c) Der größte Gradient bewirkt eine Phasendrehung von 180° zwischen benachbarten Pixeln (1 Punkt). Damit gilt (jeweils 1 Punkt für Formel und Ergebnis):

$$\pi = \gamma \cdot G_{max} \cdot T \cdot \Delta y \quad \gamma^* = \frac{\gamma}{2\pi}$$

$$G_{max} = \frac{\pi}{\gamma^* \cdot 2\pi \cdot T \cdot \Delta y} = \frac{1}{2 \cdot 42,6 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,33 \cdot 10^{-3}} = 35,6 \frac{mT}{m}$$

Aufgabe 8:

Mit der MR-Angiographie kann man auch ohne Kontrastmittel die fließenden Substanzen im Bild von den ruhenden unterscheiden. Beschreiben Sie kurz die dafür benutzten Verfahren (2 Typen) (4 Punkte).

Lösung:

1) "Time-of-Flight"-Angiographie: Die Quermagnetisierung nach einem 90° -Puls wird immer kleiner, wenn die Repetitionszeit $T_R \leq T_1$ gewählt wird. Wird mit der selektiven Schichtanregung nur eine einzige Schicht angeregt, so wirkt dieser Signalverlust nur auf ruhende Spins. Wenn "frisches" Blut in die Schicht fließt, kann in dem Blut durch einen 90° -Puls wieder die maximale Quermagnetisierung erreicht werden. So werden die Signale in den ruhenden Teilen des Bildes immer kleiner und die Signale der bewegten bleiben groß. Bei einer klassischen Spin-Echo-Sequenz geht man wie folgt vor:

– Man wählt $T_R \leq T_1$,

– Man wählt einen Flipwinkel nahe 90° , – Man verwirft die ersten 10 Pulse, um sicher im "steady-state"-Zustand zu sein.

Aber: die Blutflussgeschwindigkeit ist mit dieser Methode nur schwer zu messen.

2) Phasensensitive MR-Angiographie: Dieses Verfahren nutzt die Tatsache, dass präzidierende Spins, die sich in einem Gradientenfeld in Richtung des Gradienten bewegen, eine zusätzliche Phasenverschiebung erhalten. Daher bekommen nach einem antisymmetrischen bipolaren Gradientenpuls die ruhenden Teilchen eine Phasenverschiebung $\phi = 0$, die bewegten Teilchen aber eine Phasenverschiebung $\phi \neq 0$.

Aufgabe 9: Abtastung im k-Raum

Durch Phasen- und Frequenzkodierung tastet man den k-Raum kartesisch ab, üblicherweise auf Linien entlang der x-Achse. Man stelle sich beispielsweise vor, dass das Ablaufen des k-Raums, wie in Abb. 9.1 dargestellt, zu einem optimalen Bild führt.

- a) Wie sieht der zu Abb. 9.1 gehörende Ortsraum aus (Skizze mit Maß an den Achsen) (3 Punkte)?
- b) Um Zeit zu sparen, werden im folgenden Linien aus dem k-Raum entsprechend den Abb. 9.2 und 9.3 weggelassen. Wie wirkt sich das jeweils auf den Ortsraum aus? (Hinweis: zu 9.2 Skizze und Erklärung, zu 9.3 genügt eine kurze Beschreibung). Begründen Sie jeweils Ihre Antwort. (4 Punkte)

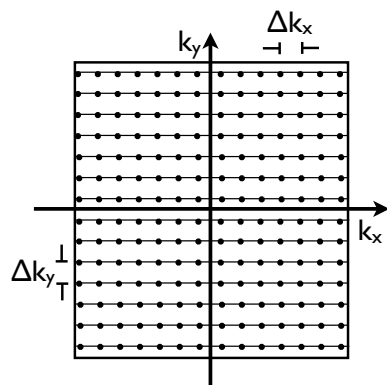


Abb. 9.1

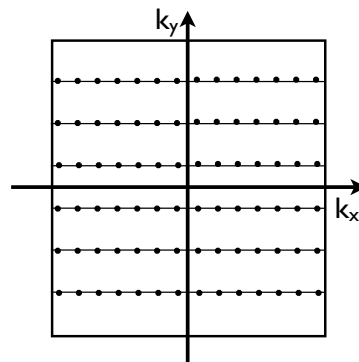


Abb. 9.2

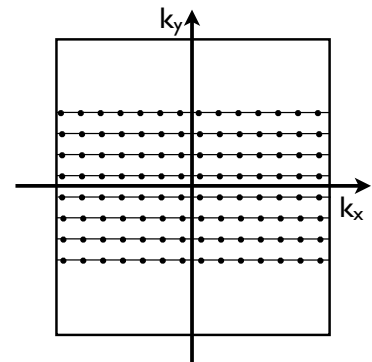
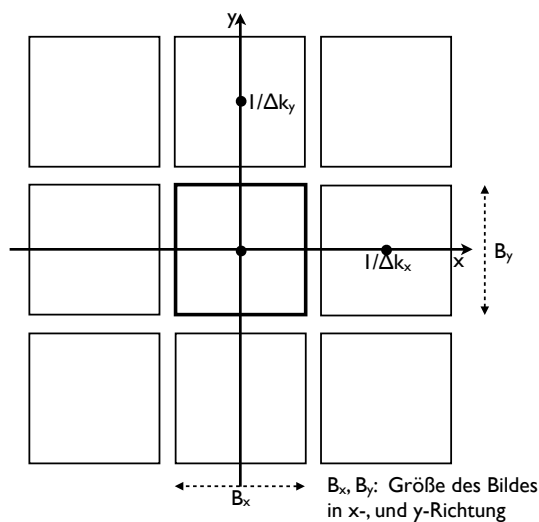


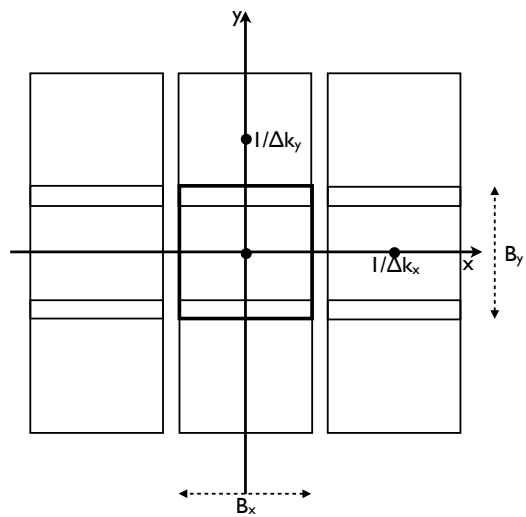
Abb. 9.3

Lösung:

a) Bild im Ortsraum:



- b) zu 9.2: Durch Unterabtastung in y-Richtung überlappen sich die Bilder - es kommt zu Aliasing (1 Punkt).



(1 Punkt)

zu 9.3: Hohe k_y stehen für hohe Ortsfrequenzen (1 Punkt). Werden diese weggelassen, wird das Bild unschärfer (1 Punkt).

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Punkte	9	7	14	4	6	4	9	4	7	64