

ULTRASCHALL IN DER MEDIZIN

Notwendige Kenntnisse

*Biophysik für Mediziner:
VIII/4.2.2 - VIII/4.2.9*

*Rechenaufgabe:
8. Unterrichtswoche: 89*

ULTRASCHALL IN DER MEDIZIN

1. DIAGNOSTIK
2. THERAPIE

1. DIAGNOSTIK

SONOGRAPHIE

- Ultraschalluntersuchung des Patienten

Vorteile:

1. Nahezu überall und jederzeit verfügbar (auch auf der Trage oder am Krankenbett)
2. Biologisch unschädlich (keine Ionisation)
3. beliebige Wiederholbarkeit
4. ohne Kontrastmittel

Aufbau des Ultraschall-Wandlers

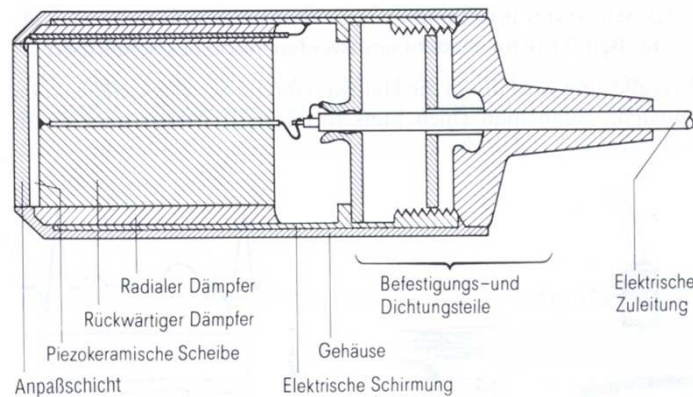
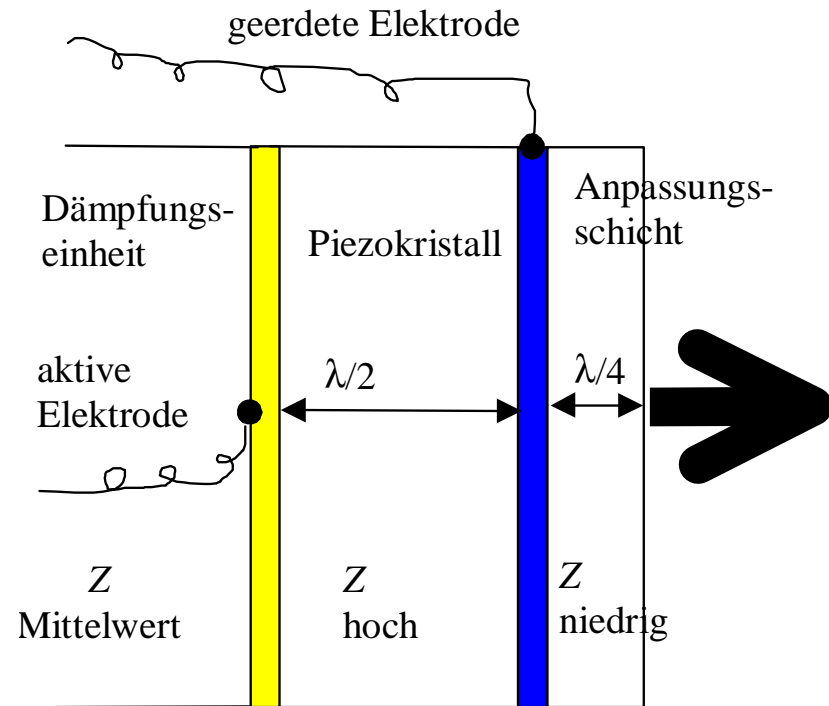


Bild 7.11 Aufbau eines Ultraschallwandlers



$2 \text{ MHz} < f < 10 \text{ MHz}$, typischer Wert 2,5 MHz

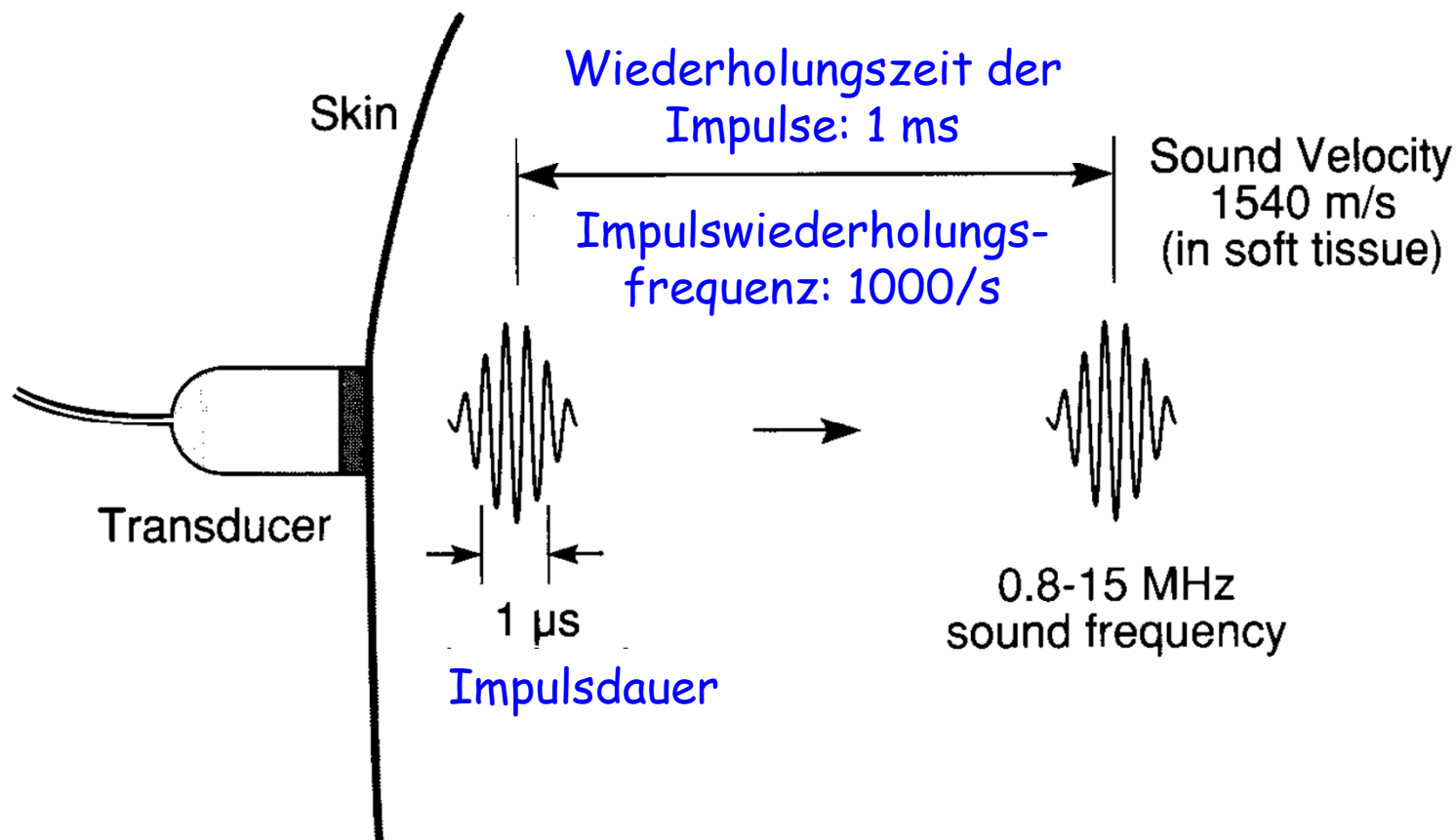
Impulsbetrieb: $\tau \approx 1 \mu\text{s}$, $\Delta t \approx 1 \text{ ms}$

Intensität: $\approx 10 \text{ mW/cm}^2$

Charakteristiken der Ultraschall-Impulse

Transducer/Umwandler: Sender und Empfänger

Zeitliche Trennung → Impulse



Auflösungsgrenze, Auflösungsvermögen

Auflösungsgrenze: der kleinste Abstand zweier noch getrennt detektierbaren Punkten

Auflösungsvermögen: Reziprokwert der Auflösungsgrenze

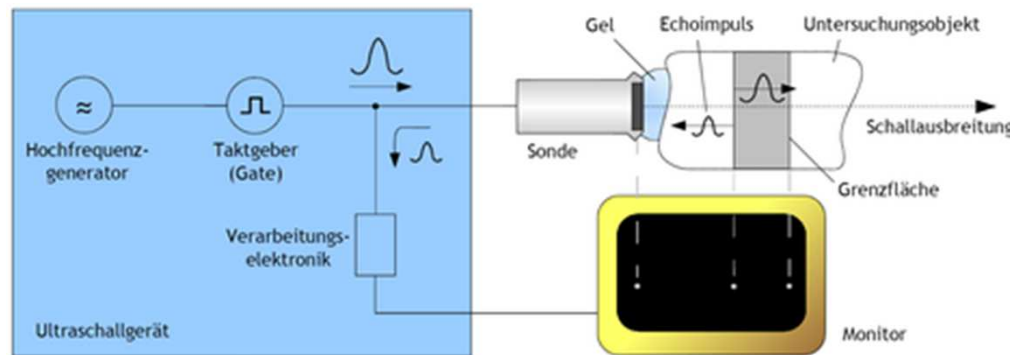
Die axiale Auflösungsgrenze hängt von der Impulslänge.

Die Impulslänge ist indirekt proportional zur Frequenz.

Die laterale Auflösungsgrenze hängt von dem Durchmesser des Ultraschallbündels.

1.1 SONOGRAPHIE

Prinzips des Echoimpulsverfahrens



$$z = c \cdot t / 2$$

z - Abstand der Grenzfläche vom Schallkopf

t - Laufzeit

c - Schallgeschwindigkeit

$$A \sim R$$

1.1 SONOGRAPHIE

Bemerkungen:

1. Die Reflexion tritt nur an Grenzübergängen auf, die grösser als die Wellenlänge sind.
2. Sind Strukturen ähnlich gross oder kleiner als die Wellenlänge, so wird ein Teil der Intensität gestreut.
3. Je höher die Ultraschallfrequenz, desto stärker ist die Absorption im Gewebe und desto besser ist die Ortsauflösung.
4. Die *Eindringtiefe* und *Auflösungsvermögen* hängt von der Ultraschallfrequenz ab.

1.1 SONOGRAPHIE

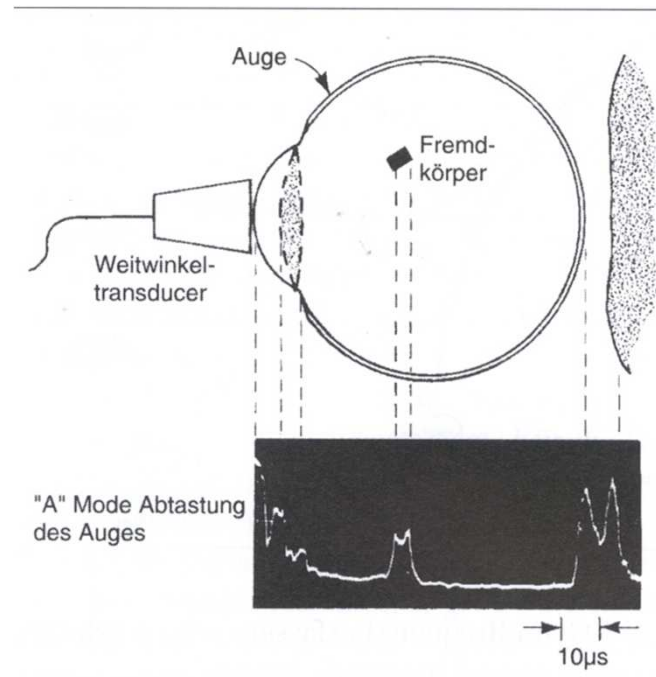
Bemerkungen:

Tabelle 7.4 Anhaltspunkte für typische Kennwerte beim diagnostischen Ultraschall

Sende- frequenz MHz	Wellenlänge mm	Eindringtiefe (hin und rück) cm	laterale Ortsauflösung mm	axiale mm
2	0,78	25	3	0,8
3,5	0,44	14	1,7	0,5
5	0,31	10	1,2	0,35
7,5	0,21	6,7	0,8	0,25
10	0,16	5	0,6	0,2
15	0,1	3,3	0,4	0,15

1.1 SONOGRAPHIE

Das A-Mode Verfahren



Ultraschallamplitudenmessung zur Bestimmung der Lage eines Fremdkörpers
aus der Laufzeit des reflektierten Ultraschallsignals

1.1 SONOGRAPHIE

Das B-Bild Verfahren

Man kodiert die Echoamplitude als Intensität oder Grauwert des Kathodenstrahls.

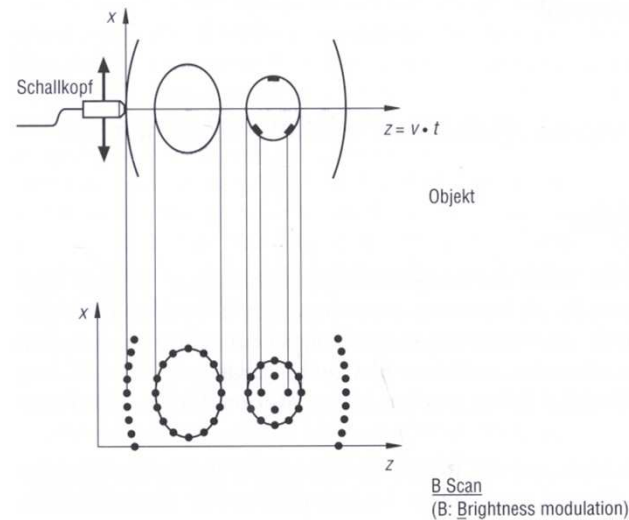
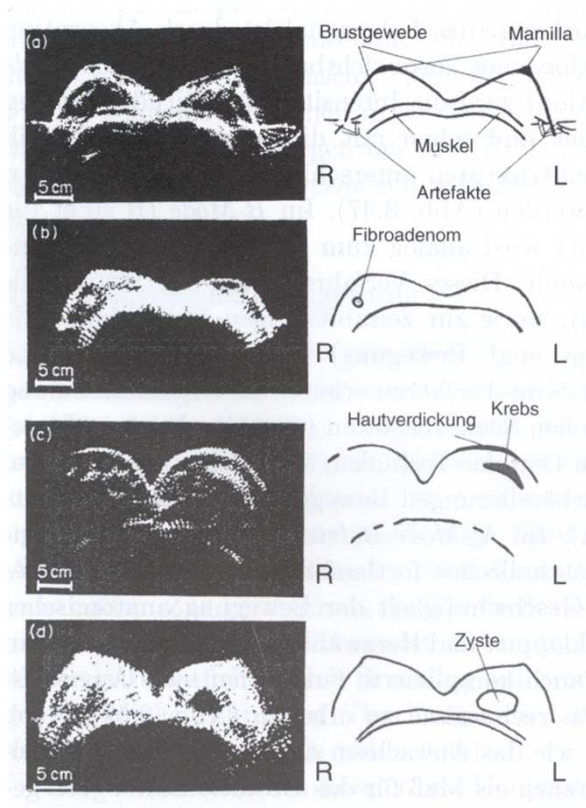


Bild 7.13 Grundsätzliche Darstellung der B-Bild-Technik

Der Schallstrahl wird nach jedem Sendeimpuls in der darzustellenden Ebene Senkrecht zur Körperoberfläche verschoben.

1.1 SONOGRAPHIE

Das B-Bild Verfahren



- 2D Darstellung

- rasch und relativ genau
(real time scan) - Echtzeitmodus

-Ermöglicht den Nachweis
wesentlicher Veränderungen der
Gewebe-eigenschaften

1.1 SONOGRAPHIE

Das B-Bild Verfahren

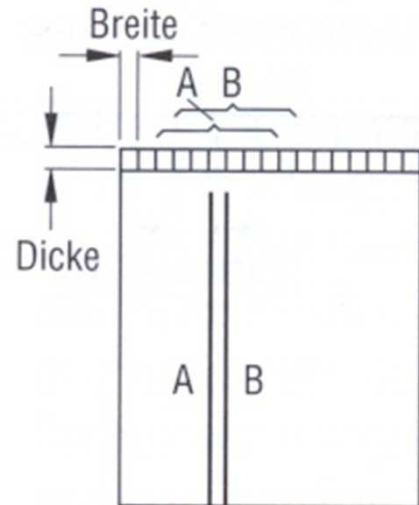


2D-Sonogramm eines Menschenfetus von neun Woche

Das B-Bild Verfahren

Abtastverfahren (Scanverfahren)

Linearscan (Parallelsan)

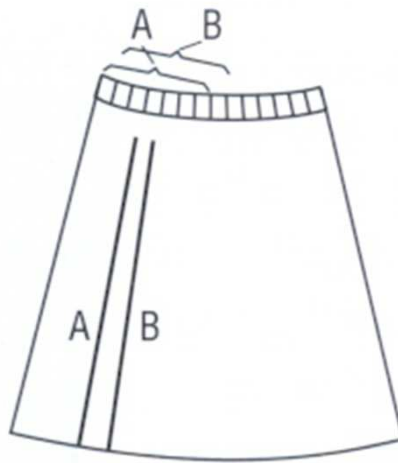


- Schallwandler wird linear verschoben
- 2D, rechtwinklige Abtastung

Das B-Bild Verfahren

Abtastverfahren (Scanverfahren)

Convexscan



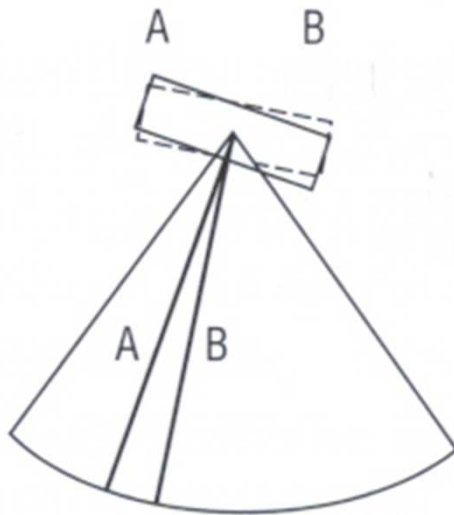
- Schallwandler wird längs einer konvex gebogenen Linie verschoben

- 2D Abtastung

Das B-Bild Verfahren

Abtastverfahren (Scanverfahren)

Sektorscan



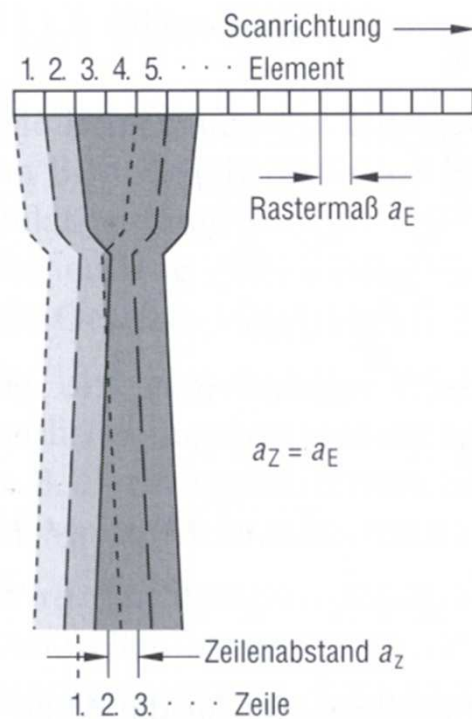
- Schallwandler wird um einen Drehpunkt geschwenkt

- 2D Abtastung

Das B-Bild Verfahren

Elektronische Scanner

Linear-Array - reihenförmige Anordnung von Einzelwandlern

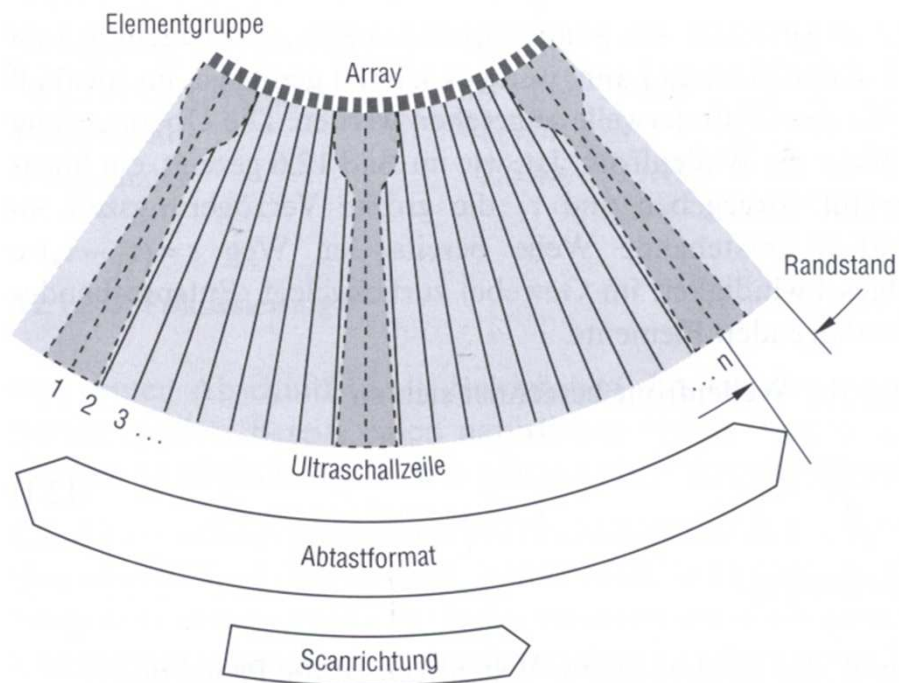


- Vorteile:
- grosse Körpereintrittsfläche
 - gute Darstellbarkeit
 - keine Mechanik

Das B-Bild Verfahren

Elektronische Scanner

Convex-Array - reihenförmige, *gebogene* Anordnung von Einzelwandlern



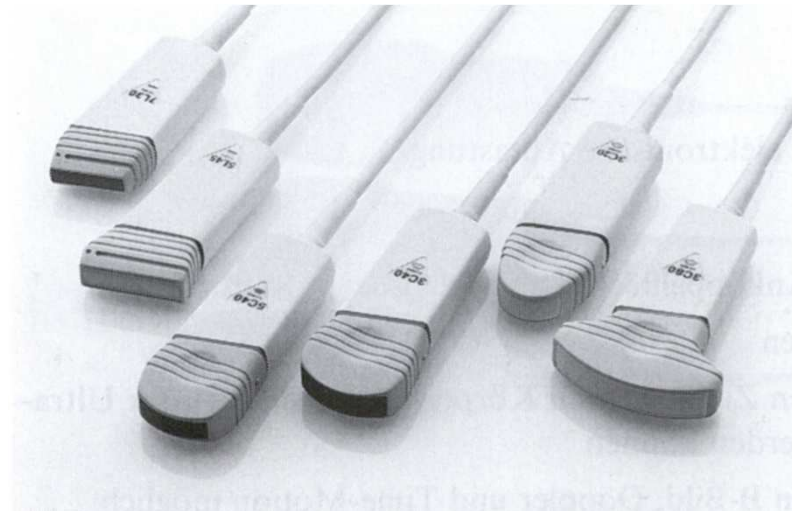
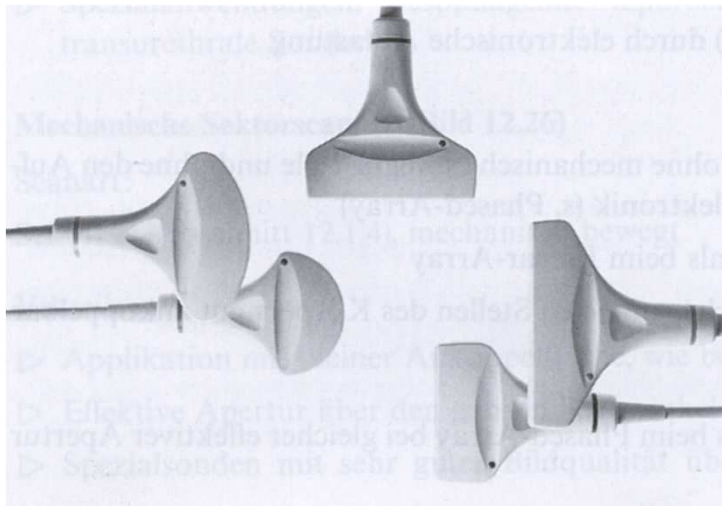
Vorteile:

- Sektorförmige Abtastung
- Gekrümmte Ankoppelfläche
- keine Mechanik

Das B-Bild Verfahren

Elektronische Scanner

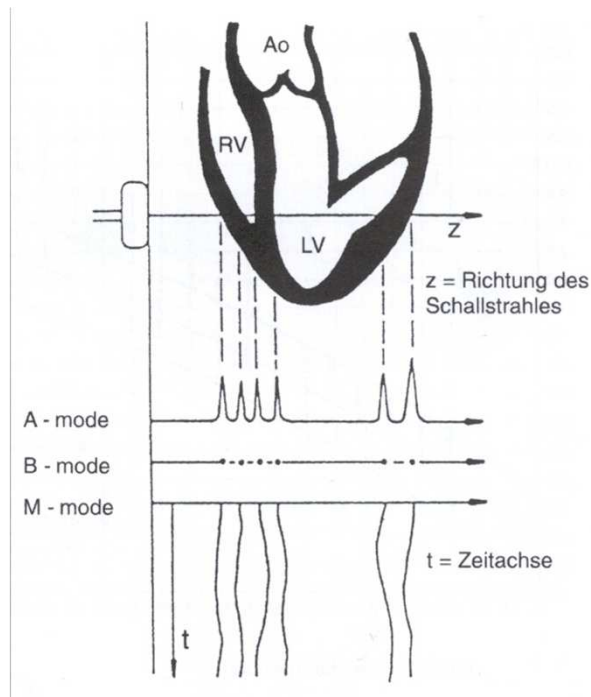
Linear- und Convex-Array



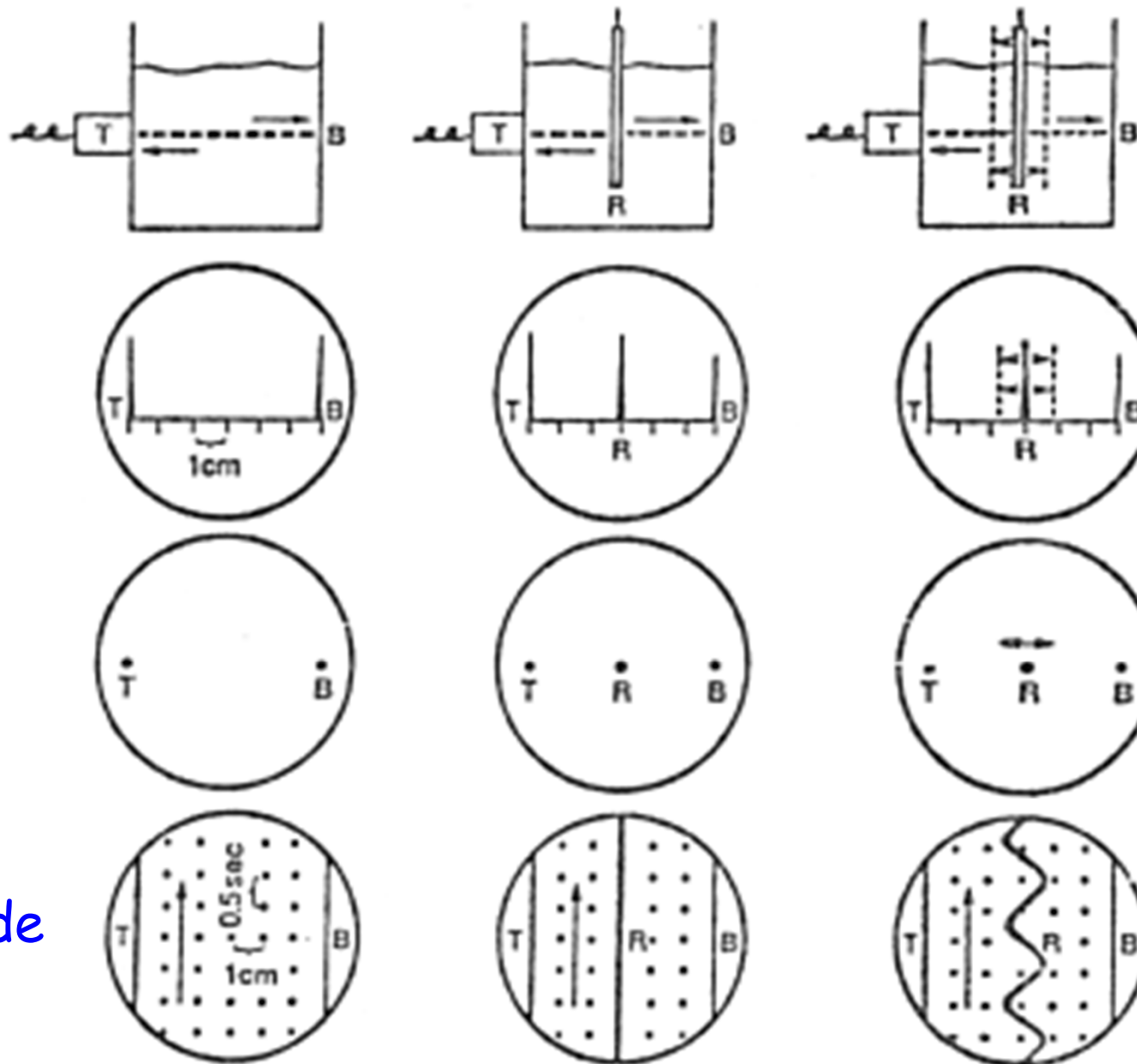
1.1 SONOGRAPHIE

Das M-Mode Verfahren

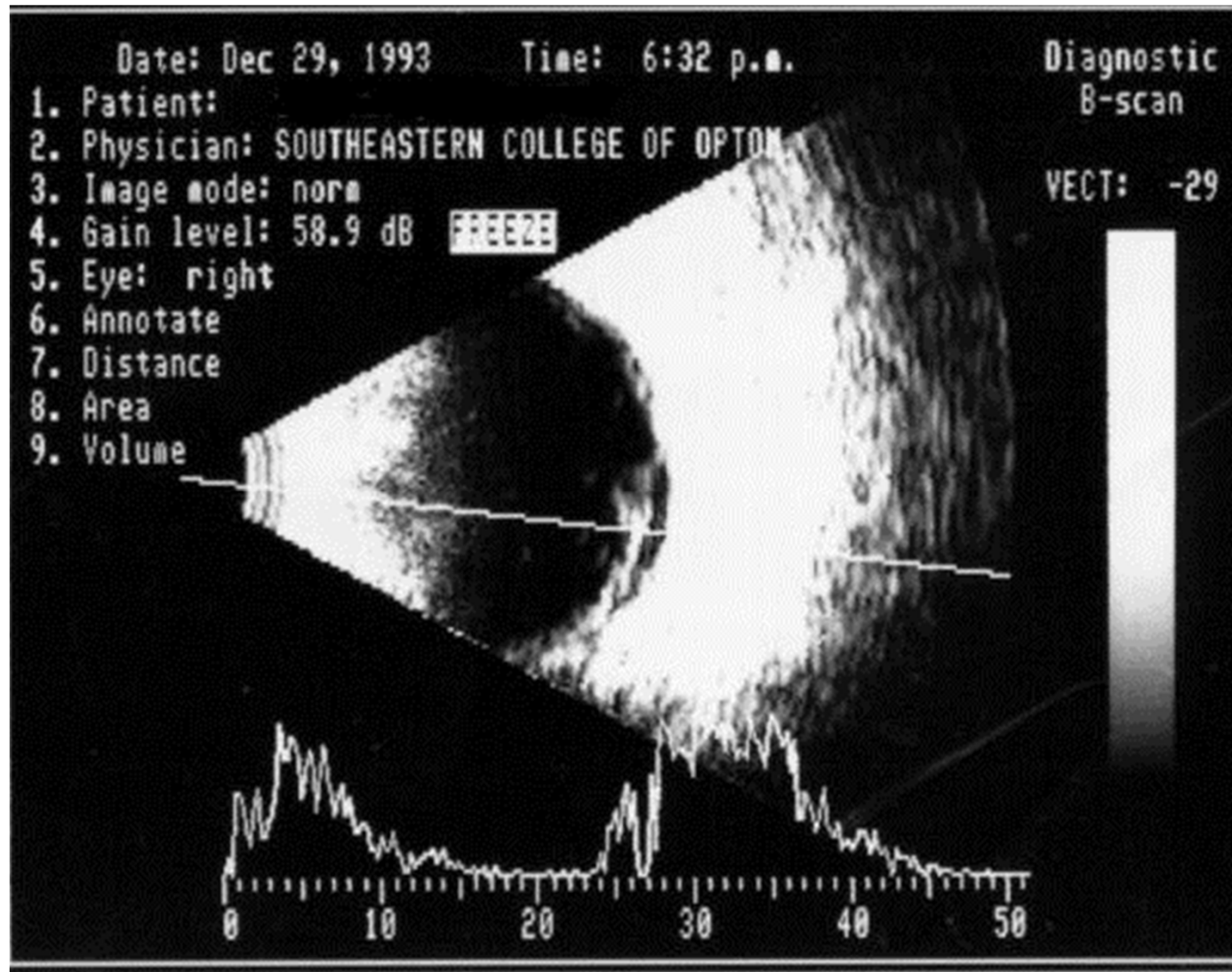
Man schreibt die zeitlich aufeinanderfolgenden Echozeilen nebeneinander.



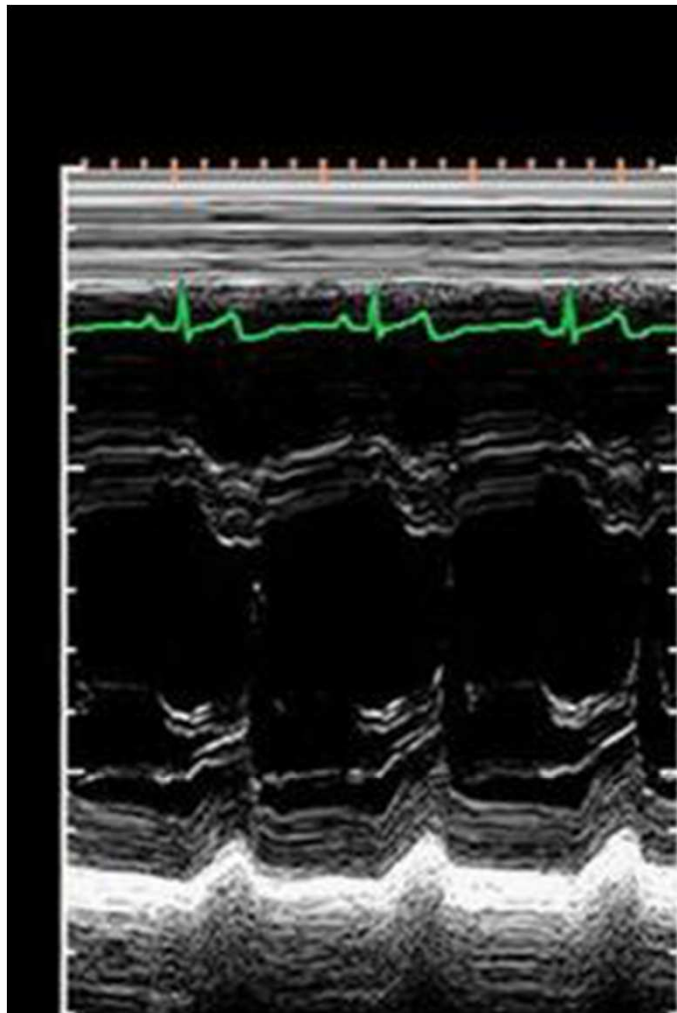
Bewegungsablauf, Amplitude, Geschwindigkeit der Bewegung anatomischer Strukturen lassen sich genau verfolgen.



Zweidimensionales B-Bild und A-Bild



TM-Bild



B-Bild

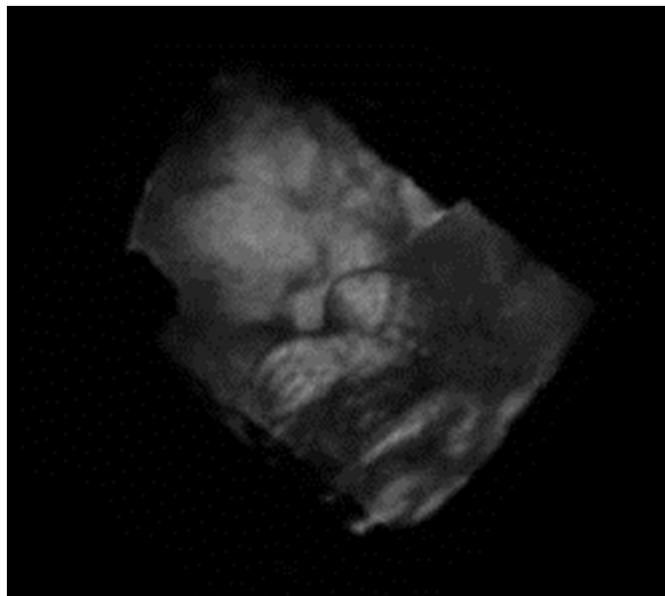


1.1 SONOGRAPHIE

Mehrdimensionale Anwendung

3D-Ultraschall: produziert räumliche Standbilder

4D-Ultraschall (Live-3D): 3D plus zeitliche Dimension

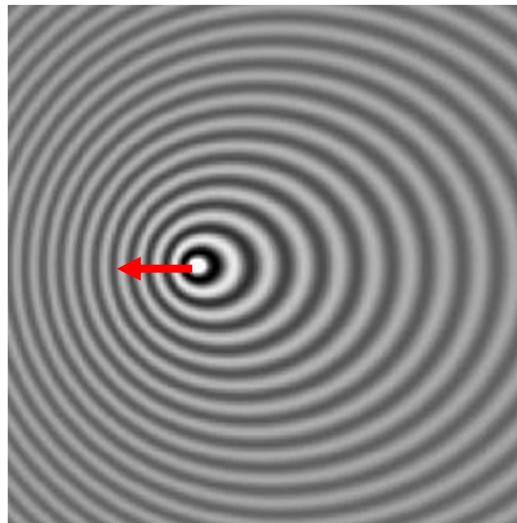


1.1 SONOGRAPHIE

Der Doppler-Effekt (Ch. DOPPLER 1803 - 1853)

Das Phänomen, dass der sich bewegende Beobachter eine andere Frequenz registriert als der ruhende Beobachter, bezeichnen wir als Doppler-Effekt.

Änderungen treten ebenso auf, wenn der Beobachter ruht und die Quelle sich bewegt.



1.1 SONOGRAPHIE

Der Doppler-Effekt

wenn: $v \ll c$

v
 c

Geschwindigkeit der Bewegung
Schallgeschwindigkeit

$$f = f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

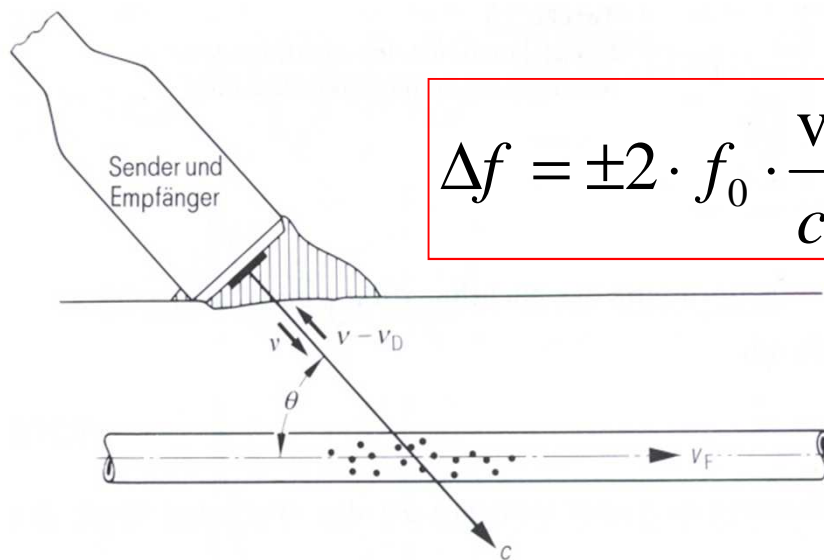
$$f - f_0 = \pm f_0 \cdot \frac{v}{c}$$

$$\Delta f = f_D = \pm f_0 \cdot \frac{v}{c}$$

1.1 SONOGRAPHIE

Doppler-Sonographie (CW - Continuous Wave)

- Blutströmungsgeschwindigkeit in Arterien, in Venen
- fetale Herzschläge und fetaler Blutfluss



$$\Delta f = \pm 2 \cdot f_0 \cdot \frac{v}{c} \cdot \cos \Theta$$

z.B. $f = 8 \text{ MHz}$

$v = 12 \text{ cm/s}$

$c = 1600 \text{ m/s}$

$\Theta = 34^\circ < 40^\circ$

$\Rightarrow f_D = 1 \text{ kHz}$

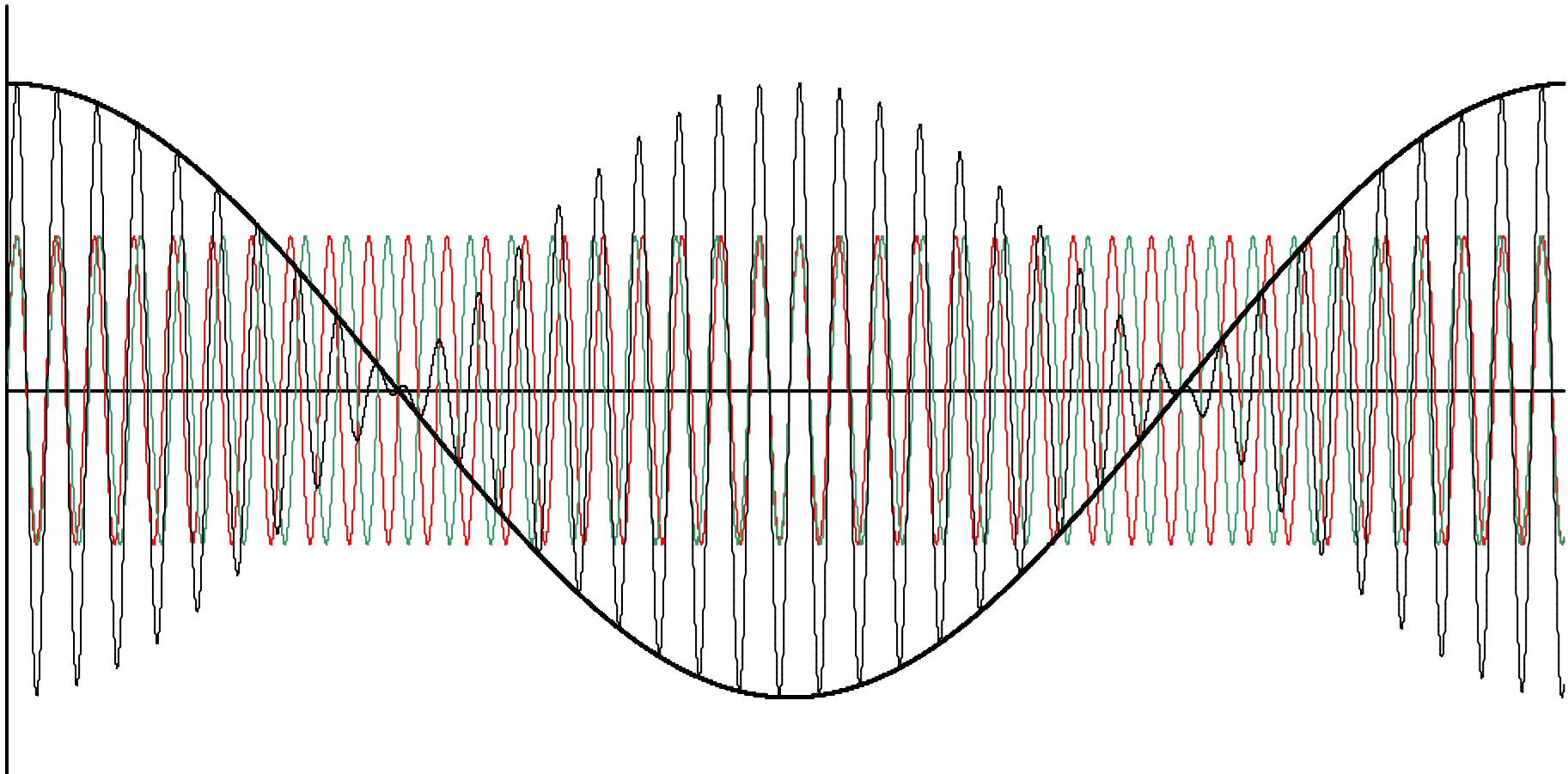
(Schwebung)

Bild 7.7 Ultraschall-Doppler-Effekt zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten

Schwebung

$$f_{\text{rot}} \geq f_{\text{grün}}$$

Die Frequenz der Schwebung ist gleich der Differenz der Frequenzen von interferierenden Wellen



<http://www.walter-fendt.de/ph14d/schwebung.htm>

1.1 SONOGRAPHIE

Doppler-Sonographie

- Information nur aus einem *kleinen vorgebbaren Bereich*
- Entdeckung und Beurteilung angeborener und pathologischer Herz- und Herzklappenfehler
- Beurteilung von Gefäßverengungen (Stenosen) und deren Schweregrad
- Direkte Bestimmung des Volumenflusses im Gefäß

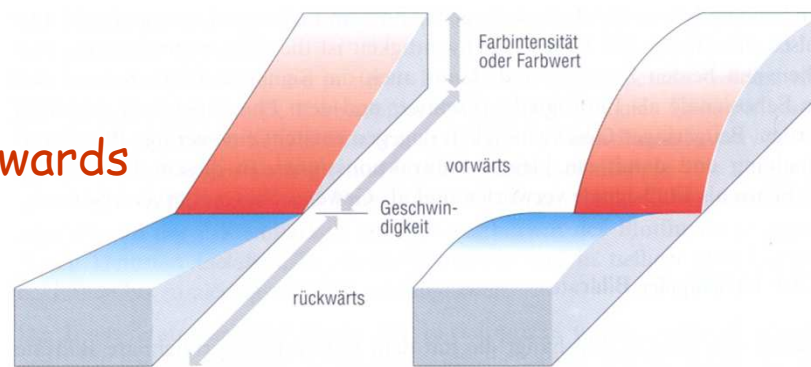
1.1 SONOGRAPHIE

Farb-Doppler Verfahren

Information wird aus einem *grossen Ausschnitt* erhalten.

Die *Flussgeschwindigkeiten* werden als **Farbton** dem gesamten **B-Bild** überlagert.

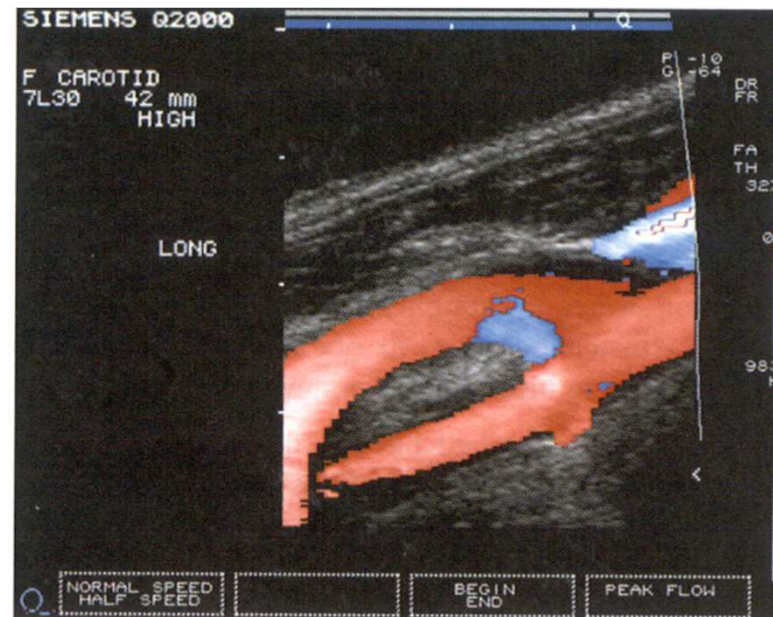
BART: Blue Away Red Towards



Ergebnis: die *räumliche Verteilung* der mittleren Geschwindigkeit und seiner Richtung im durchströmten Gefäss.

1.1 SONOGRAPHIE

Farb-Doppler Verfahren



Bifurkation der Arteria carotis (rot) mit Flussumkehr (blau) im Bulbusbereich

1.1 SONOGRAPHIE

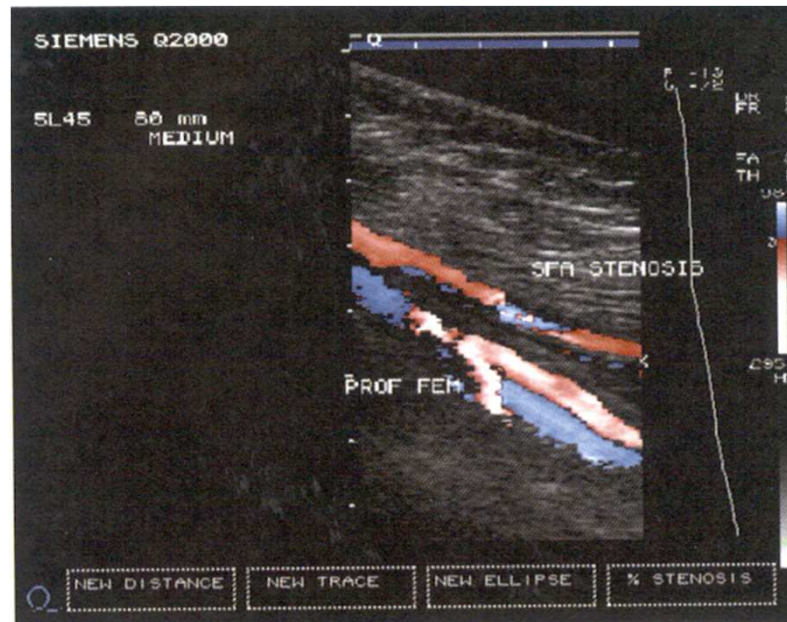
Farb-Doppler Verfahren



Normale Nierenarterien (rot) und Nierenvenen (blau)

1.1 SONOGRAPHIE

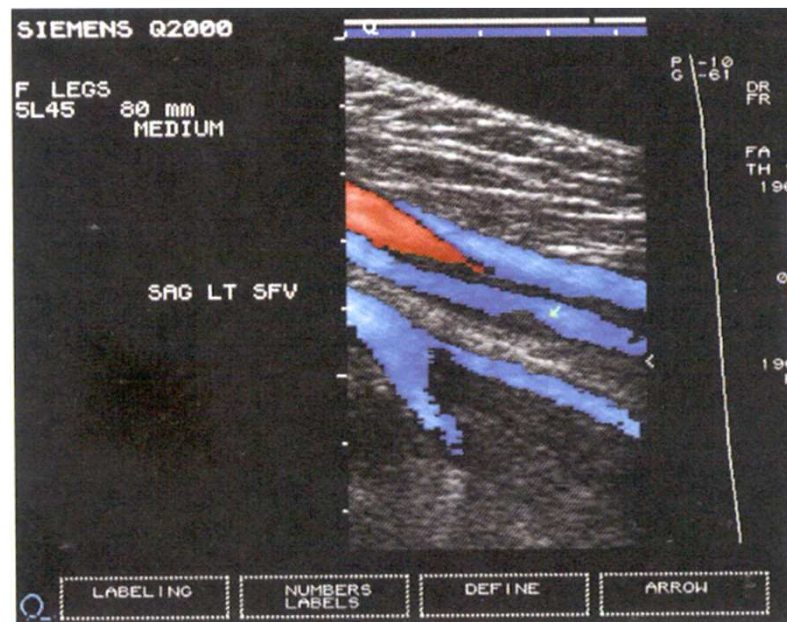
Farb-Doppler Verfahren



Stenose der A. femoralis superficialis und Wandveränderung der A. femoralis profunda vor der Bifurkation

1.1 SONOGRAPHIE

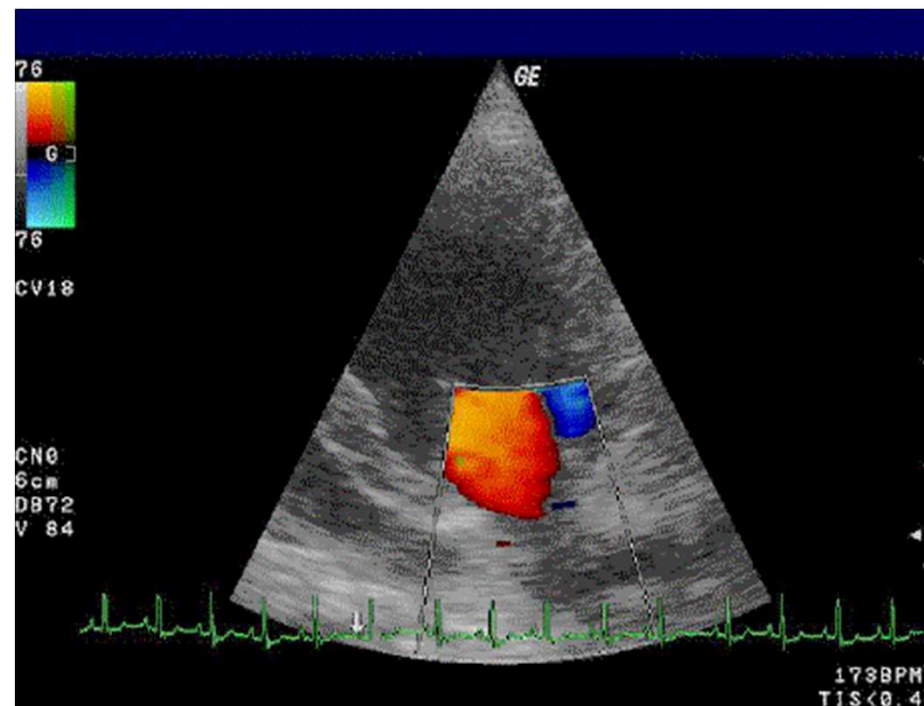
Farb-Doppler Verfahren



Stenose der V. femoralis superficialis (blau) mit Abschnitt der A. femoralis superficialis (rot) und der V. superficialis profundae 34

1.1 SONOGRAPHIE

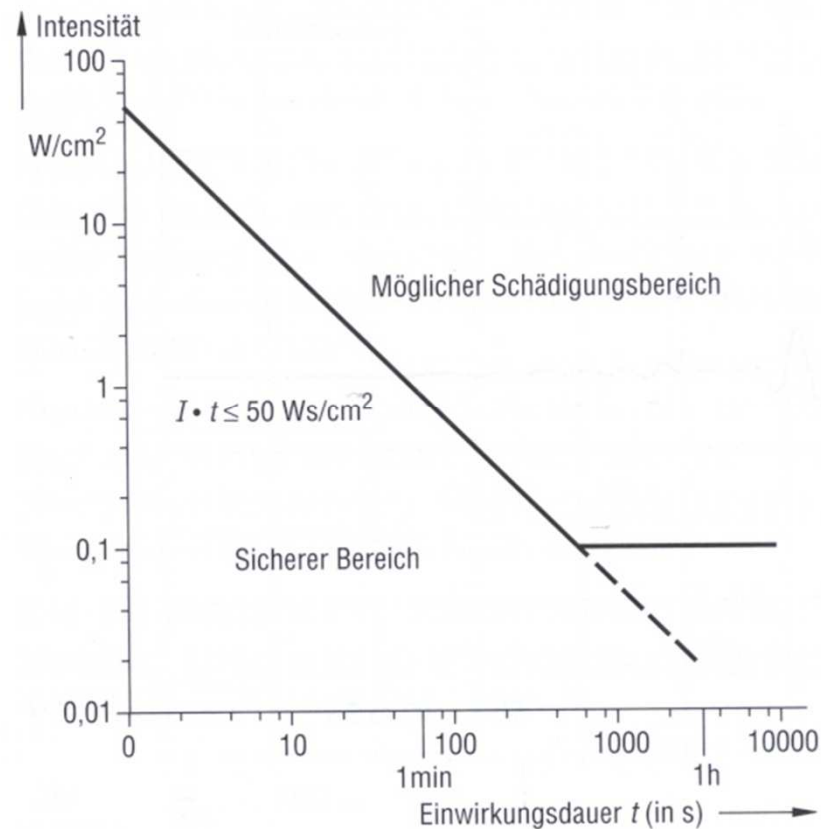
Farb-Doppler Verfahren



Herzuntersuchung: Mitralinsuffizienz

SICHERHEITASPEKTE

Schädigungsgrenze für diagnostisch angewendeten Ultraschall nach W.L. Nyborg



2. THERAPIE

Die **Ultraschalltherapie** beruht auf der Wärme- und mechanischen (Mikromassage-) Wirkung des Ultraschalls.

- ✓ Kleinere Intensität: Mikromassage
- ✓ Größere Intensität: Zerstört Gewebe, Moleküle; (entstehen freie Radikale, DNA-Brechungen)
 - ✓ Kavitation (Entstehung von Hohlräumen bzw. Gasbläschen)

2. THERAPIE

Ultraschalltherapie: Tumorthherapie (Hyperthermie)
physikalischen Therapie (z.B. Tennis-Ellbogen)
Zahnsteinentfernung

Übliche Werte:

Betriebsfrequenz: 800 kHz,

Maximalintensität: einige W/cm².

Ultraphonophorese-Therapie - eine Behandlung, wobei **Medikamente** mit Hilfe der Ultraschallenergie (dem Schalldruck) in den Körper gebracht werden