

ULTRASCHALL IN DER MEDIZIN

1. DIAGNOSTIK
2. THERAPIE

1

1. DIAGNOSTIK

SONOGRAPHIE - Ultraschalluntersuchung des Patienten

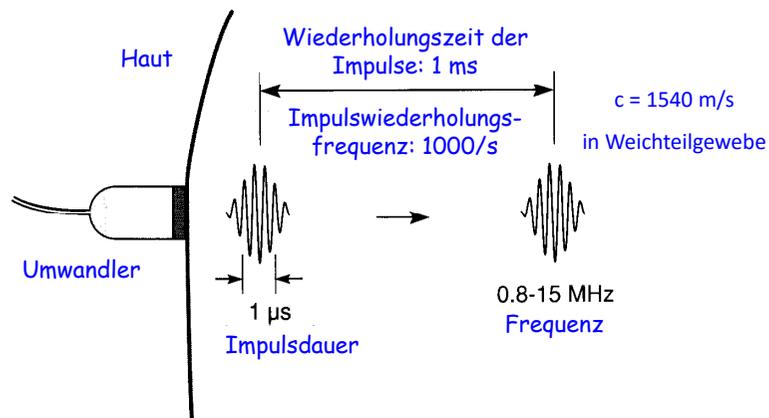
- Vorteile:
1. Nahezu überall und jederzeit verfügbar (auch auf der Trage oder am Krankenbett)
 2. Biologisch unschädlich (keine Ionisation)
 3. beliebige Wiederholbarkeit
 4. ohne Kontrastmittel*

*Die Menge benötigten Kontrastmittels ist um das ca. 100fache kleiner als bei CT und MRT, die bislang bekannten Nebenwirkungen sind wesentlich seltener.

2

Charakteristiken der Ultraschall-Impulse

Transducer/Umwandler: Sender und Empfänger
Zeitliche Trennung → Impulse



3

Auflösungsgrenze, Auflösungsvermögen

Auflösungsgrenze: der kleinste Abstand zweier noch getrennt detektierbaren Punkten

Auflösungsvermögen: Reziprokwert der Auflösungsgrenze

Die axiale Auflösungsgrenze hängt von der Impulslänge.

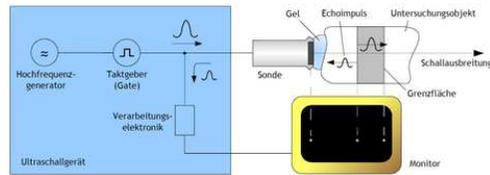
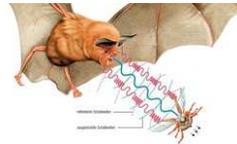
Die Impulslänge ist indirekt proportional zur Frequenz.

Die laterale Auflösungsgrenze hängt von dem Durchmesser des Ultraschallbündels.

4

1.1 SONOGRAPHIE

Prinzip des Echoimpulsverfahrens



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

z - Abstand der Grenzfläche vom Schallkopf

t - Laufzeit

c - Schallgeschwindigkeit

$$A \sim R$$

5

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.
5. Das Verfahren besitzt in tief gelegenen Geweben eine geringere Raumaufklärung als die CT und MRT.

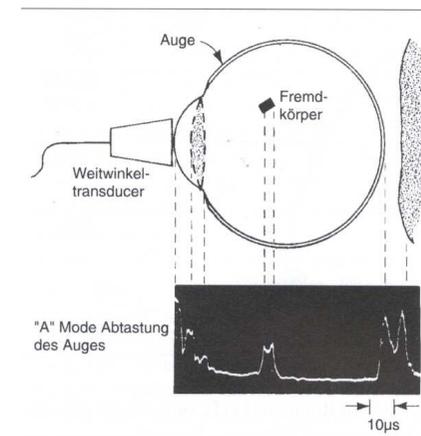
6

Bemerkungen: ad 3 und 4:

Sendefrequenz (MHz)	Wellenlänge (mm)	Eindringtiefe (hin und rück) (cm)	Ortsauflösung (mm)	
			laterale	axiale
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

7

Das A-Mode Verfahren

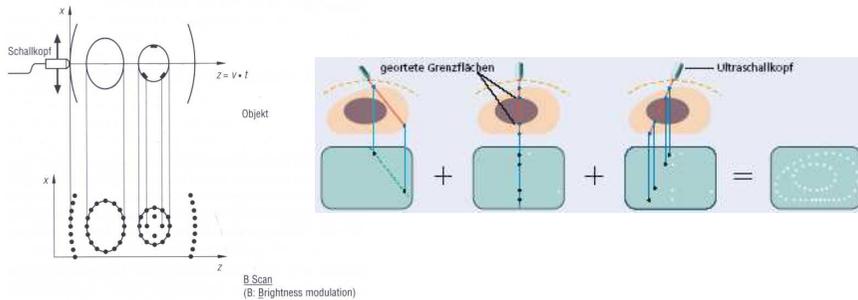


Ultraschallamplitudenmessung zur Bestimmung der Lage eines Fremdkörpers aus der Laufzeit des reflektierten Ultraschallsignals

8

Das B-Bild Verfahren

Man kodiert die Echoamplitude als Intensität oder Grauwert des Kathodenstrahls.



Grundsätzliche Darstellung der B-Bild-Technik

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

9

Das B-Bild Verfahren



2D-Sonogramm eines Menschenfetuses von neun Woche

10

Das B-Bild Verfahren

- Der Schallkopf wurde ursprünglich *manuell* auf der Körperfläche bewegt.
- Wird der Wandler *gezielt* bewegt, entsteht ein 2D Schnittbild.

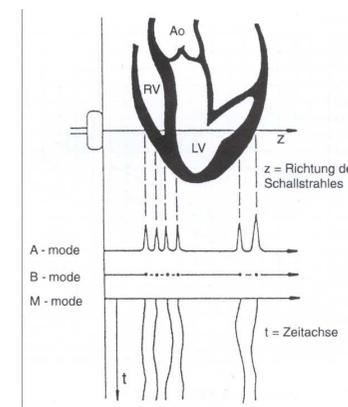
Aufnahme von Schnittbildern (Scan):

Regelmässige *Abtastung* einer Ebene der zu untersuchenden Körperregion mit Ultraschallimpulsen mit einem bestimmten *Scanformat*.

11

Das M-Mode Verfahren

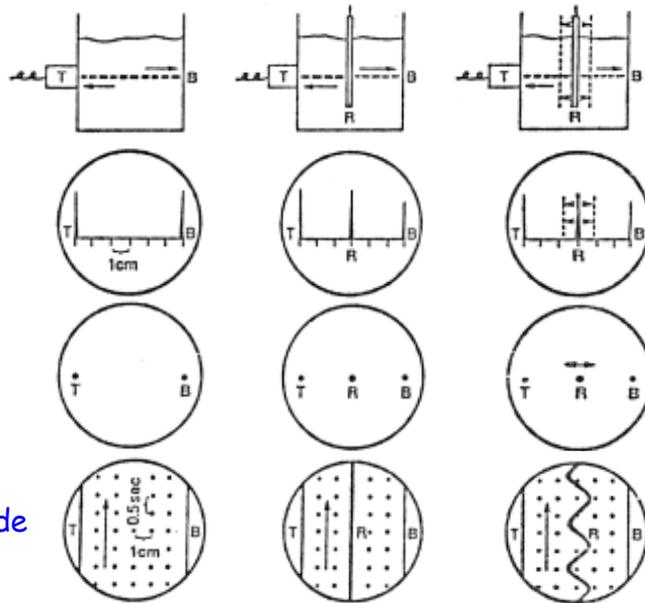
Man schreibt die zeitlich aufeinanderfolgenden Echozeilen nebeneinander.



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

12

A -
Mode

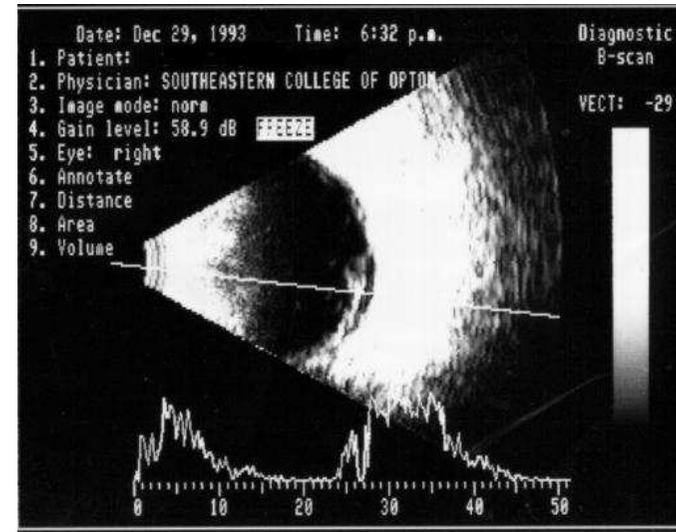


B - Mode

TM - Mode

13

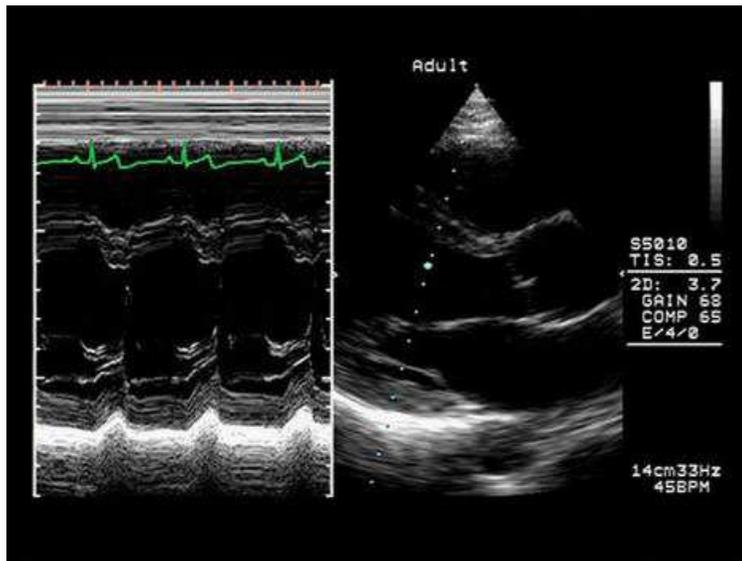
Zweidimensionales B-Bild und A-Bild



14

TM-Bild

B-Bild

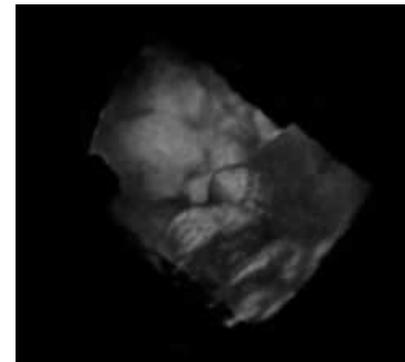


5

Mehrdimensionale Anwendung

3D-Ultraschall: produziert räumliche Standbilder

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



16



http://www.siemens.com/innovation/de/news/2012/inno_1201_2.htm

Das High-End-Ultraschallsystem Acuson S3000 von Siemens

29. November 2011
 Das Acuson S3000* ist Siemens' neues Ultraschallsystem der Premiumklasse. In dem System ist erstmals die Bildgebungstechnologie eSie Fusion** integriert. Sie ermöglicht eine automatische Überlagerung von Echtzeit-Ultraschallaufnahmen mit bereits aufgenommenen dreidimensionalen Computertomografie (CT)-Aufnahmen per Mausclick direkt am Gerät. Dieses Bild zeigt die Überlagerung einer CT- und Ultraschallaufnahme, um den Verdacht einer Aorten-Endoleak zu bewerten.

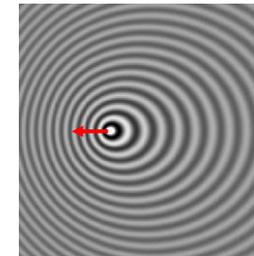
17

1.1 SONOGRAPHIE

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

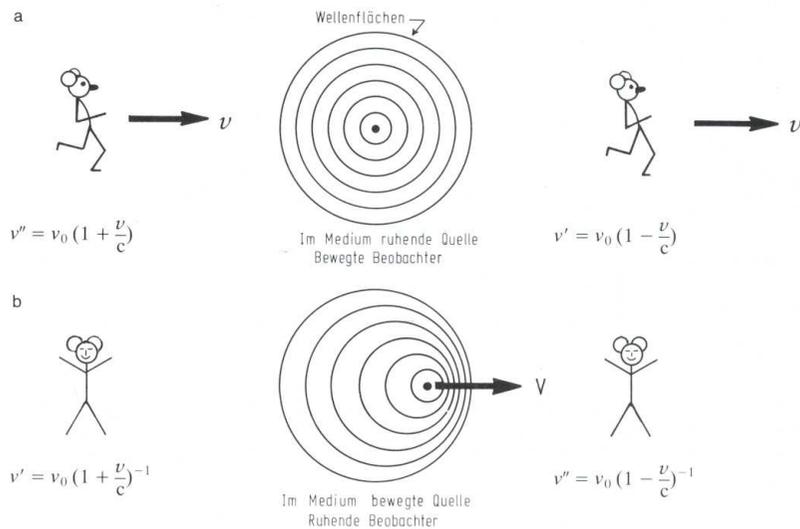
Das Phänomen, dass der sich bewegende Beobachter eine andere Frequenz registriert als der ruhende Beobachter, bezeichnen wir als Doppler-Effekt.

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



18

Der Doppler-Effekt



19

Der Doppler-Effekt

1. Bewegter Empfänger, ruhender Sender:

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

- f wahrgenommene Frequenz
- f_0 Frequenz des Sendesignals
- v_E Geschwindigkeit der Bewegung des Empfängers
- c Schallgeschwindigkeit
- $+$ beim Annähern
- $-$ beim Entfernen

20

Der Doppler-Effekt

2. Bewegter Sender, ruhender Empfänger:

$$f = \frac{c}{\lambda_B} = \frac{\lambda \cdot f_0}{\lambda \mp \frac{v_s}{f_0}} = \frac{\lambda \cdot f_0}{\lambda \mp \lambda \frac{v_s}{c}} = \frac{f_0}{\left(1 \mp \frac{v_s}{c}\right)}$$

- f wahrgenommene Frequenz
- f_0 Frequenz des Sendesignals
- v_s Geschwindigkeit der Bewegung des Senders
- c Schallgeschwindigkeit
- beim Annähern
- + beim Entfernen

21

Der Doppler-Effekt

wenn: $v \ll c$

v Geschwindigkeit der Bewegung
 c Schallgeschwindigkeit

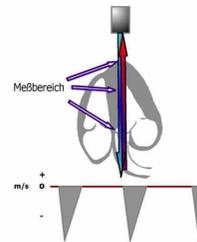
$$f = f_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

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

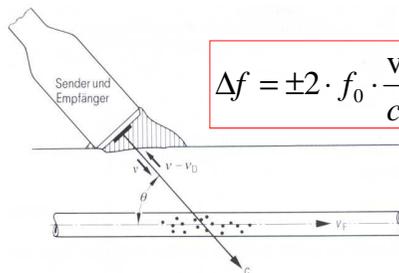
$$\Delta f = f_D = \pm f_0 \cdot \frac{v}{c}$$

22

Doppler-Sonographie (CW - Continuous Wave)



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



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

- zB. $f = 8 \text{ MHz}$
- $v = 12 \text{ cm/s}$
- $c = 1600 \text{ m/s}$
- $\Theta = 34^\circ < 40^\circ$
- $\Rightarrow f_D = 1 \text{ kHz}$
- (Schwebung)

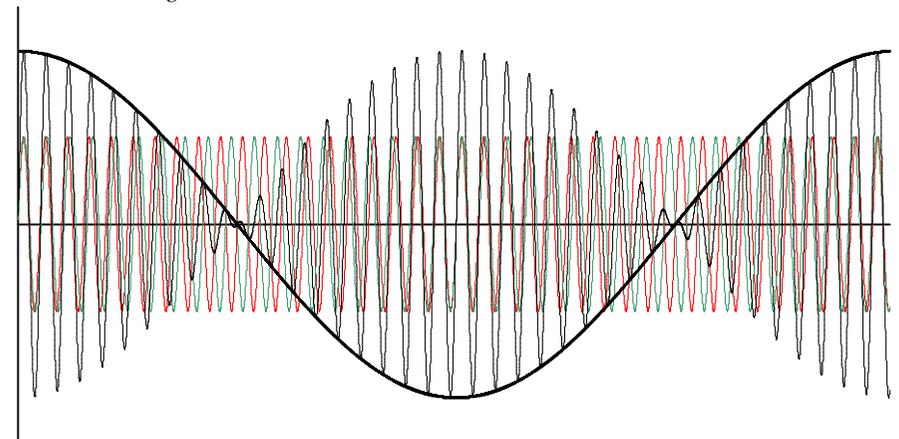
Ultraschall-Doppler-Effekt zur Messung von Strömungsgeschwindigkeiten

23

Schwebung

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

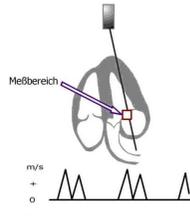
Die Frequenz der Schwebung ist gleich der Differenz der Frequenzen von interferierenden Wellen



<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/akustische-wellen>

24

Doppler-Sonographie (PW - Puls Wave)



• Information nur aus einem *kleinen vorgebbaren Bereich*
(Puls-Doppler-Verfahren)

• Entdeckung und Beurteilung angeborener und pathologischer Herz- und Herzklappenfehler

• Beurteilung von Gefäßverengungen (Stenosen) und deren Schweregrad

• Direkte Bestimmung des Volumenflusses im Gefäß

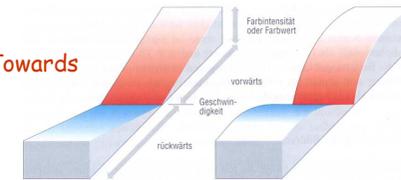
25

Farb-Doppler Verfahren

Information wird aus einem *grossen Ausschnitt* erhalten.

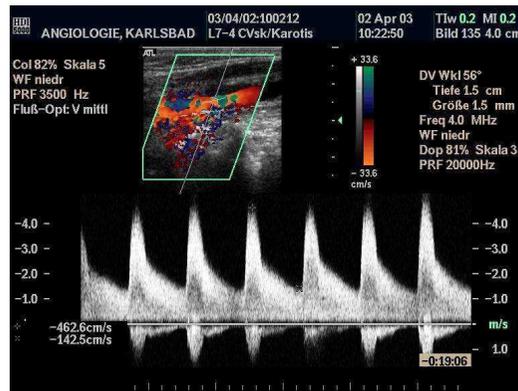
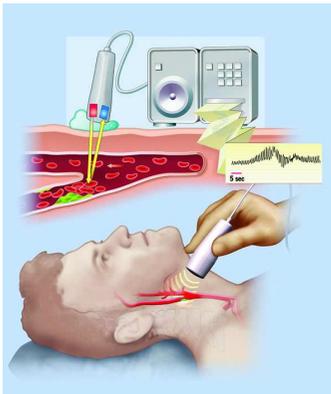
Die *Flussgeschwindigkeiten* werden als **Farbton** dem **gesamten B-Bild** überlagert.

BART: Blue Away Red Towards

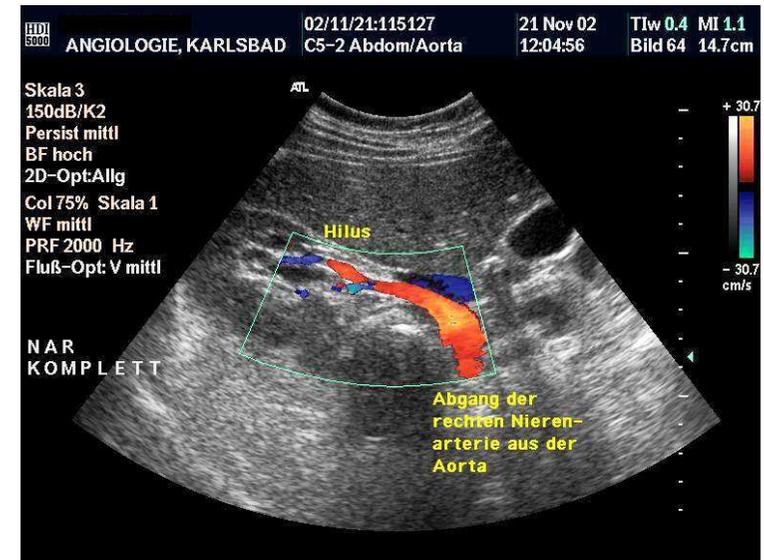


Ergebnis: die räumliche Verteilung der mittleren Geschwindigkeit und seiner Richtung im durchströmten Gefäß.

26



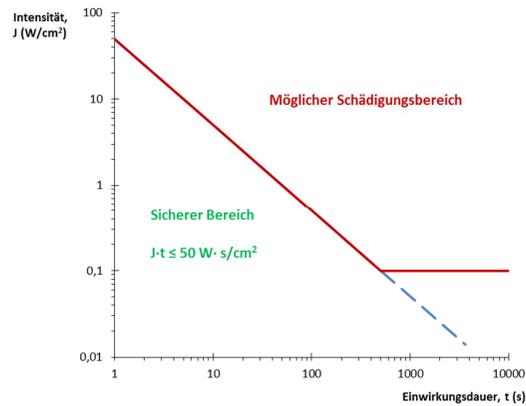
27



Komplette duplexsonographische Darstellung einer rechten Nierenarterie

28

SICHERHEITASPEKTE



Schädigungsgrenze für diagnostisch angewendeten Ultraschall nach Nyborg, W.L. (1965): Acoustic Streaming, Vol. 2B, Academic Press, New York

29

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)

30

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

31