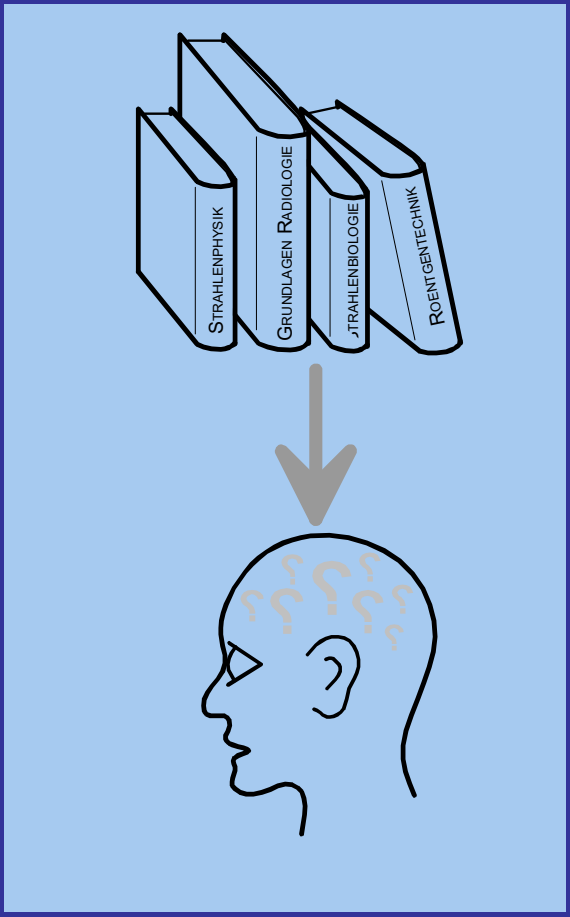
Sonographie / US

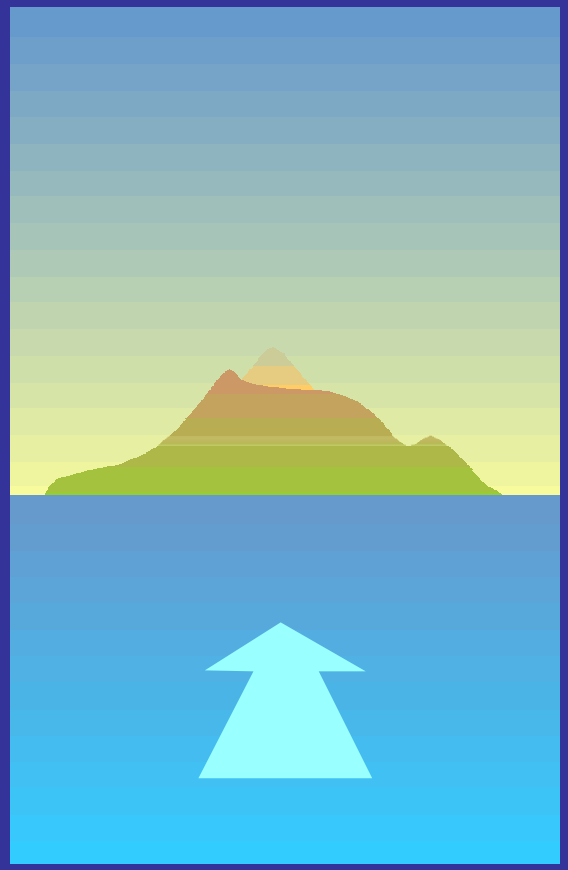
Stephan Scheidegger
2019
scst@zhaw.ch

Inhalt



- Überblick
- physikalische Grundlagen
- technische Grundlagen
- Bildentstehung
- Artefakte
- Literatur

Ziele

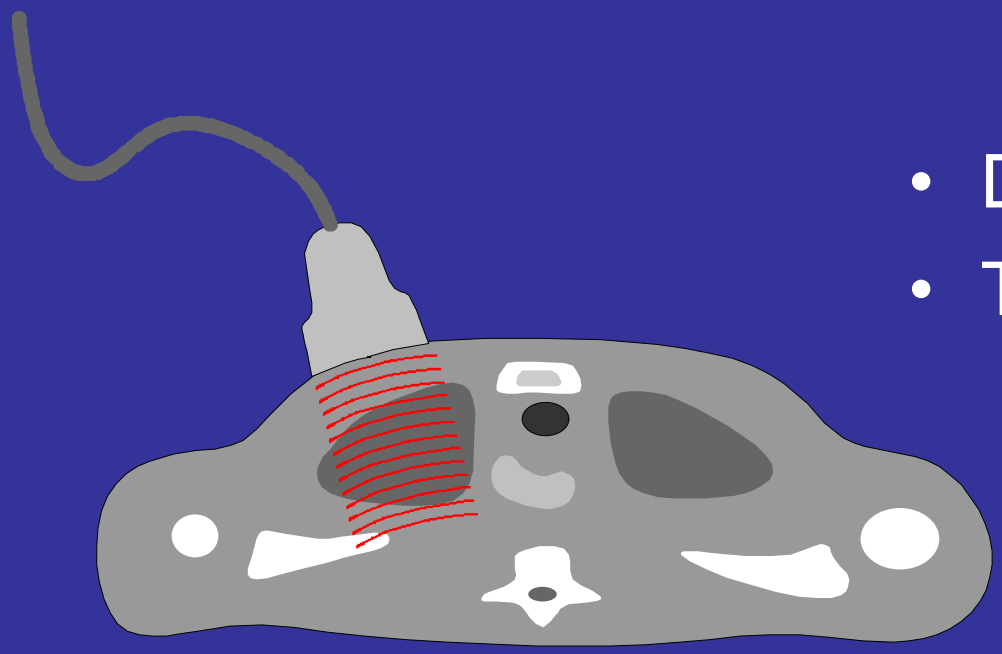


- grundlegende physikalische und technische Prinzipien beschreiben können
- die wichtigsten Eigenschaften und Artefakte von US-Bildern kennen

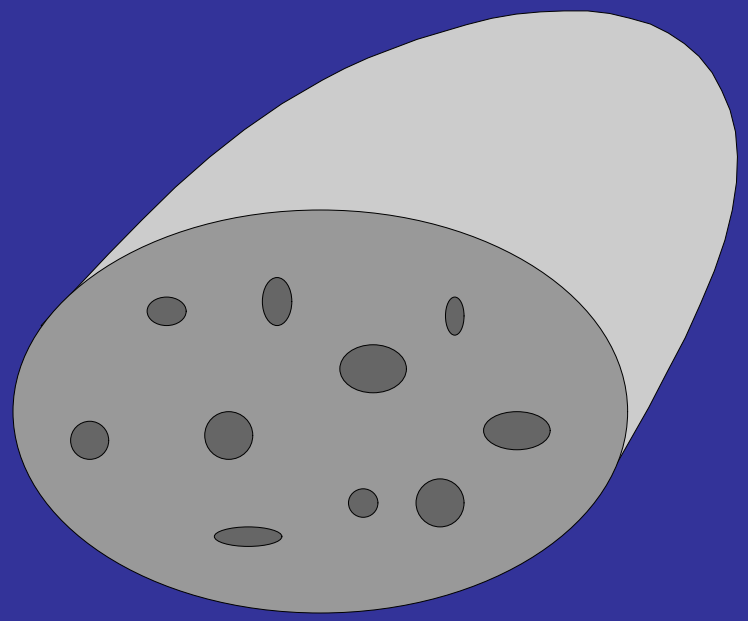
Überblick

Medizinische Anwendungen von US

- Diagnostik
- Therapie



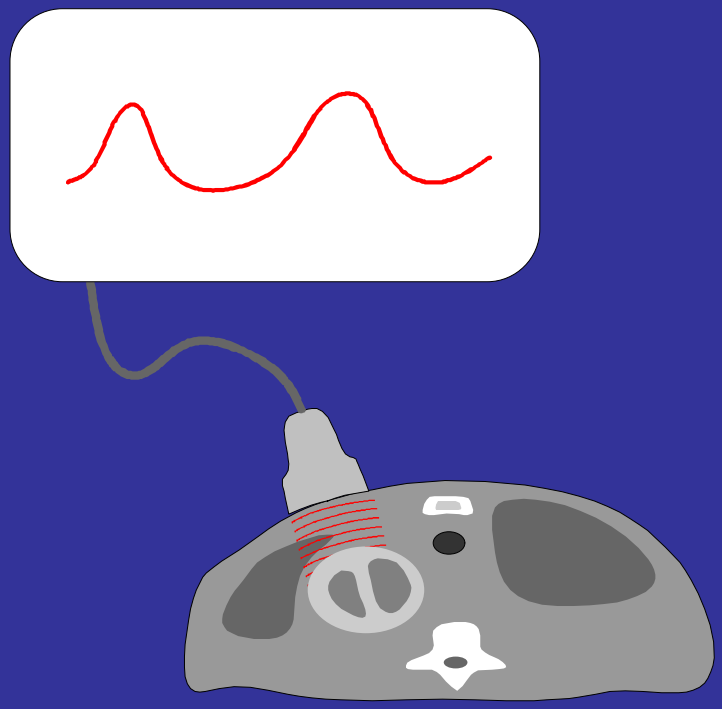
Überblick



Schnittbildverfahren

- CT
- MRI
- PET / SPECT
- US

Überblick

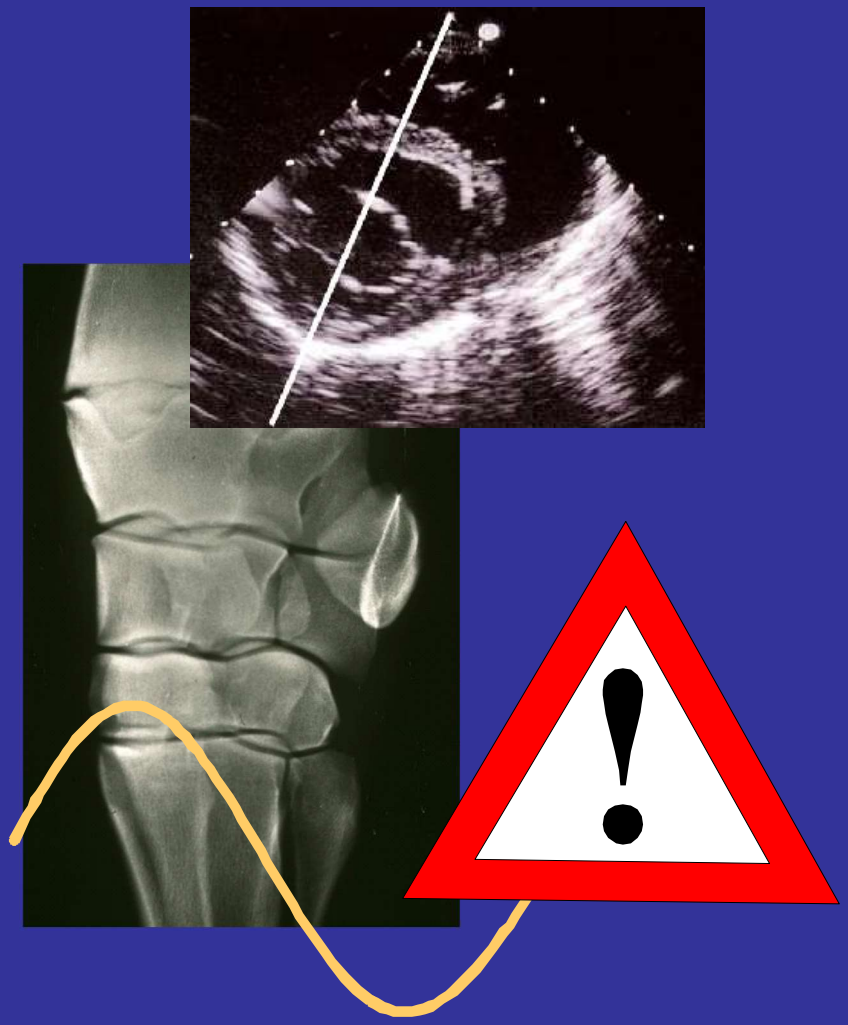


Anwendungen in der Diagnostik

- Sonographie (klassisch, Endosonographie…)
- Echokardiographie
- Doppler-US

Frequenzbereich 1 – 20 MHz

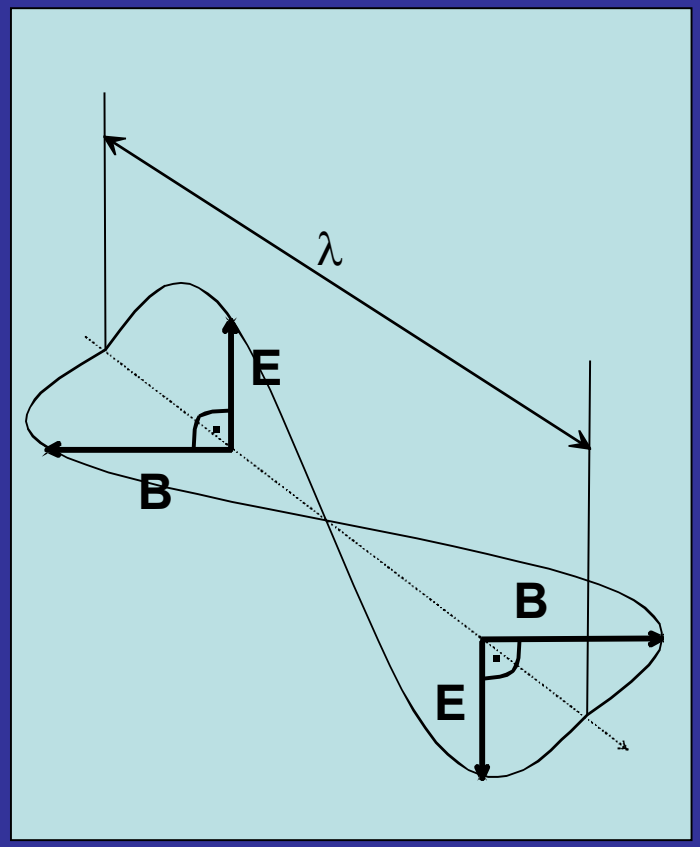
Überblick



Indikationen

- Weichteildiagnostik
- nicht-ionisierende Strahlung (Rechfertigung! Bei Diagnostik Schallleistungen von 10-100 mW / cm^2 in Wasser)

Physikalische Grundlagen



Schallwellen im elastischen Kontinuum

- Transversalwellen / Scherwellen
- Longitudinalwellen / Kompressionswellen

Physikalische Grundlagen

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Longitudinalwellen / Kompressionswellen

Skript 614 / 625 / 626

- Hooksches Gesetz
- Wellengleichung
- Lösung: Wellenfunktion
- Wellengeschwindigkeit

Physikalische Grundlagen

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho\kappa}}$$

Geschwindigkeiten in Geweben

- Fett 1475 m/s
- Blut 1570 m/s
- Gehirn 1560 m/s
- Leber 1570 m/s
- Muskel 1580 m/s
- Knorpel 1620 m/s
- Kompakta 3600 m/s

Physikalische Grundlagen

$$u(\vec{r},t) \approx \sum_i \frac{\hat{u}_i}{r_i} \cdot \cos(\vec{k}_i \bullet \vec{r} - \omega t + \varphi_i)$$

Prozesse im Körper

- Attenuation
- Reflexion
- Beugung

Physikalische Grundlagen

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$\mu[dB/cm] = -\frac{10}{x} \cdot \log_{10}\left(\frac{I(x)}{I_0}\right) = 4.3 \cdot \mu[cm^{-1}]$$

Attenuation
(Abschwächung)

- Exponentialgesetz
- Attenuations-koeffizient μ

Physikalische Grundlagen

$$Dämpfung[dB] \approx x[cm] \cdot \nu[MHz]$$

Frequenzabhängigkeit der Attenuation

- Faustregel

Physikalische Grundlagen

$$Z = \rho \cdot c$$

Reflexion

- Ursache von Echos: akustische Impedanz Z (Schallwellen-Widerstand)

Material	Dichte kg/m³	Schallgeschwindigkeit m/s	Impedanz Ns/m³
Luft	1,29	331	429
Wasser	998	1483	1.48×10^6
Fettgewebe	920	1410–1479	1.33×10^6
Knochen	1380-1810	2700-4100	$4.3\text{-}6.6 \times 10^6$

Quelle: Kramme (Hrsg.), Medizintechnik, Kapitel 27

Physikalische Grundlagen

$$R = \sqrt{\frac{I_{ref}}{I_{inc}}}$$

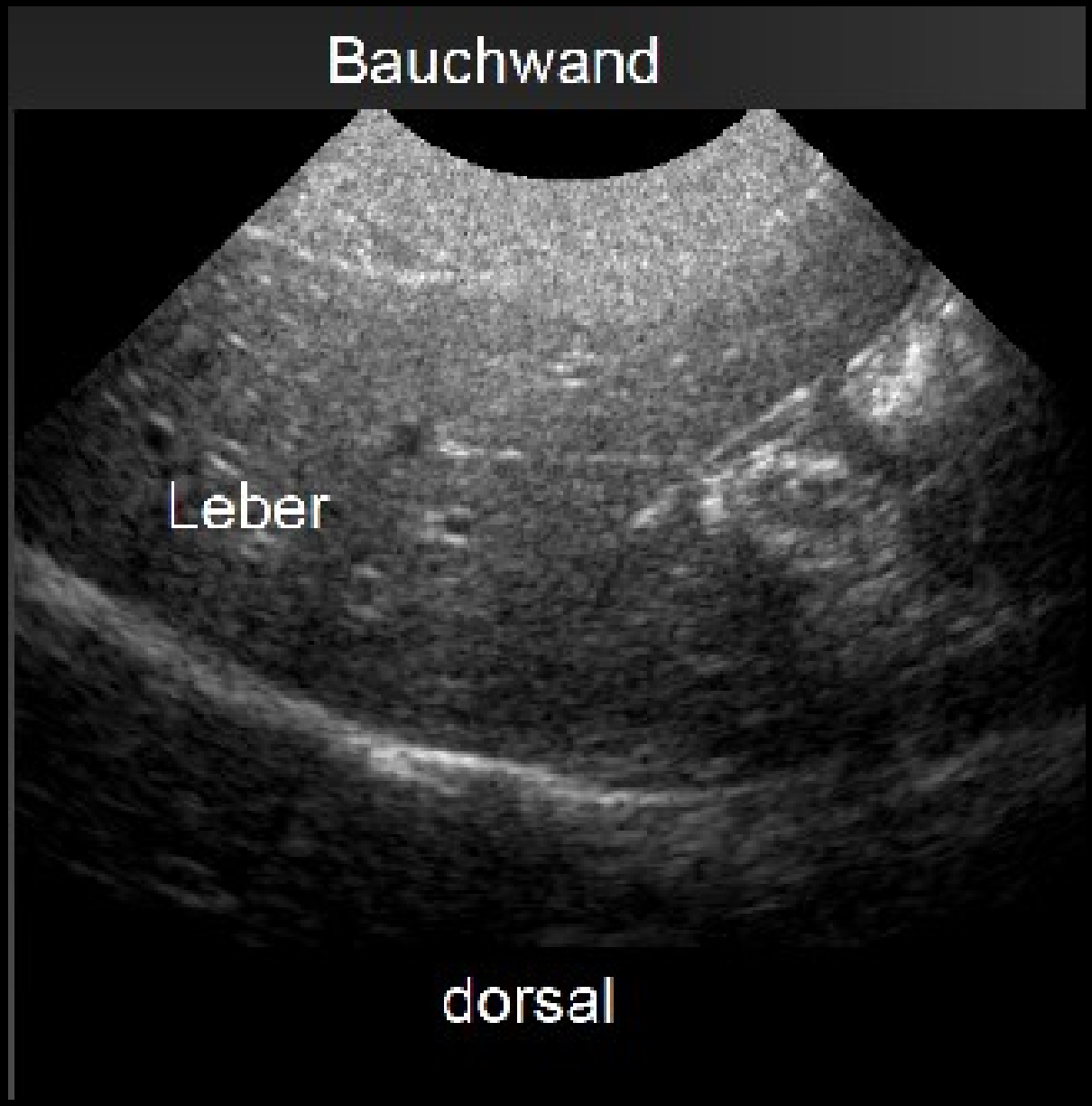
$$= \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Reflexionsgesetz

- Reflexionsfraktion R
- R gross, wenn Δc gross
- R gross → starkes Echo, aber auch starke Attenuation
- Kontrastmittel zur Verstärkung der Echos…

Grenzfläche	Reflektierter Druck	Reflektierte Schallenergie	Transmittierte Schallenergie
Wasser – Fettgewebe	–5%	0,3%	99,7%
Fettgewebe – Muskelgewebe	11%	1,3%	98,7%
Muskelgewebe – Fettgewebe	-11%	1,3%	98,7%
Muskelgewebe – Knochen	44–60%	19–36%	81–64%
Muskelgewebe – Modellstein	18–38%	3–14%	97–86%
Modellstein – Muskelgewebe	–18– –38%	3–14%	97–86%
Muskelgewebe – Luft	–99,95%	99,9%	0,1%

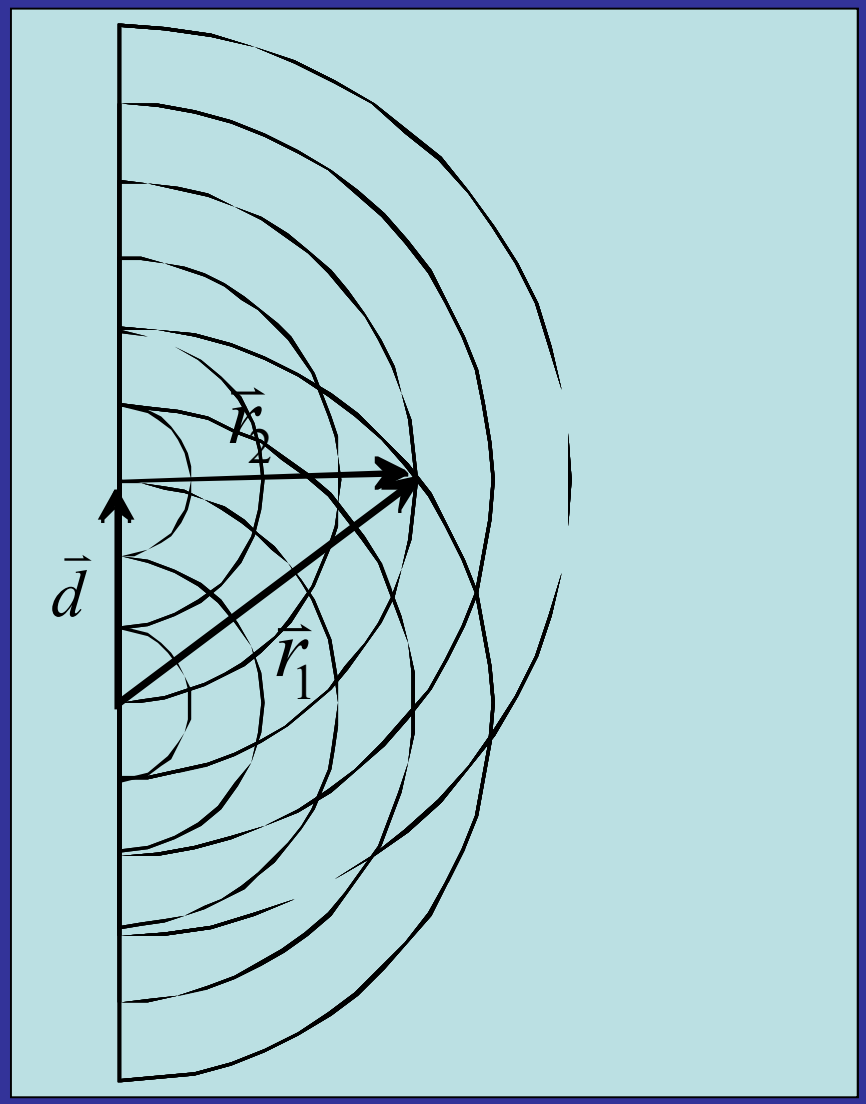
Quelle: Kramme (Hrsg.), Medizintechnik, Kapitel 27



(Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich)

(Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich)

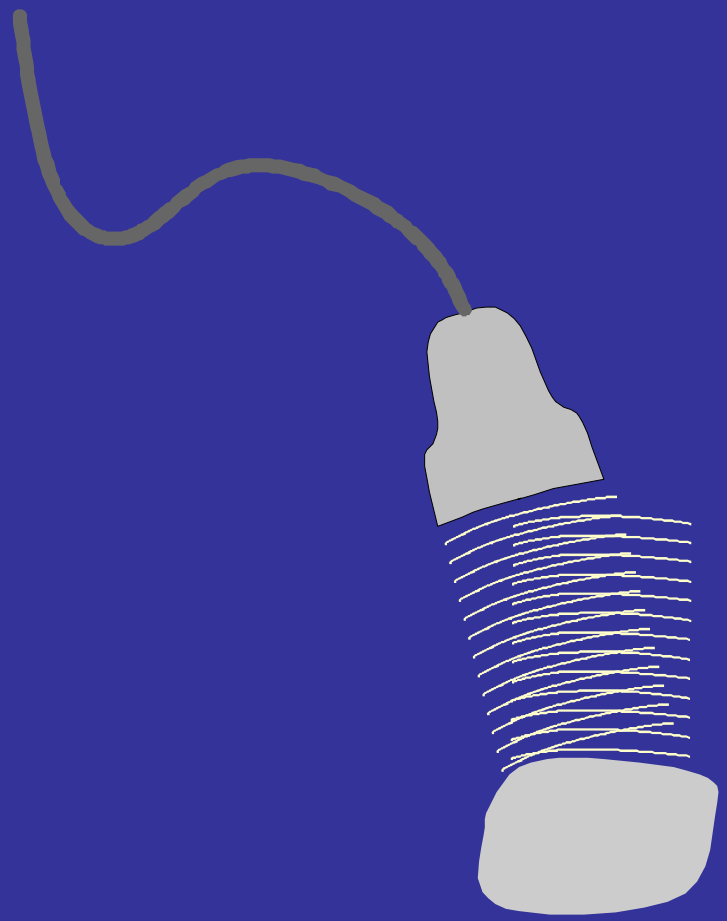
Physikalische Grundlagen



Interferenz und Beugung (Skript 921)

- Interferenz durch Superposition von Wellenfelder
- Beugungsbild

Technische Grundlagen

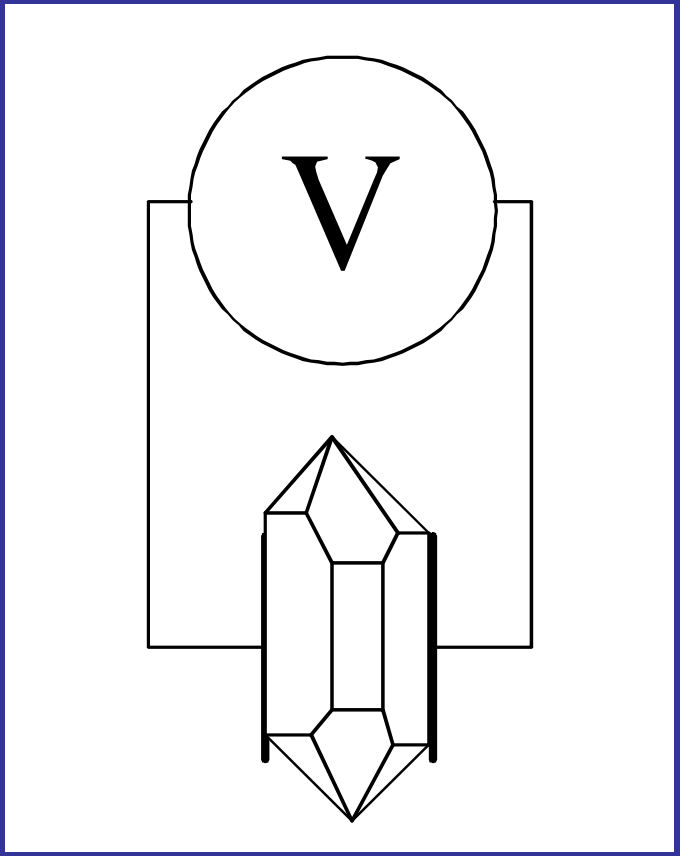


Transducer

- Schallerzeugung (2.4 – 10 MHz)
- Schalldetektion

erfolgen mittels Piezokristall

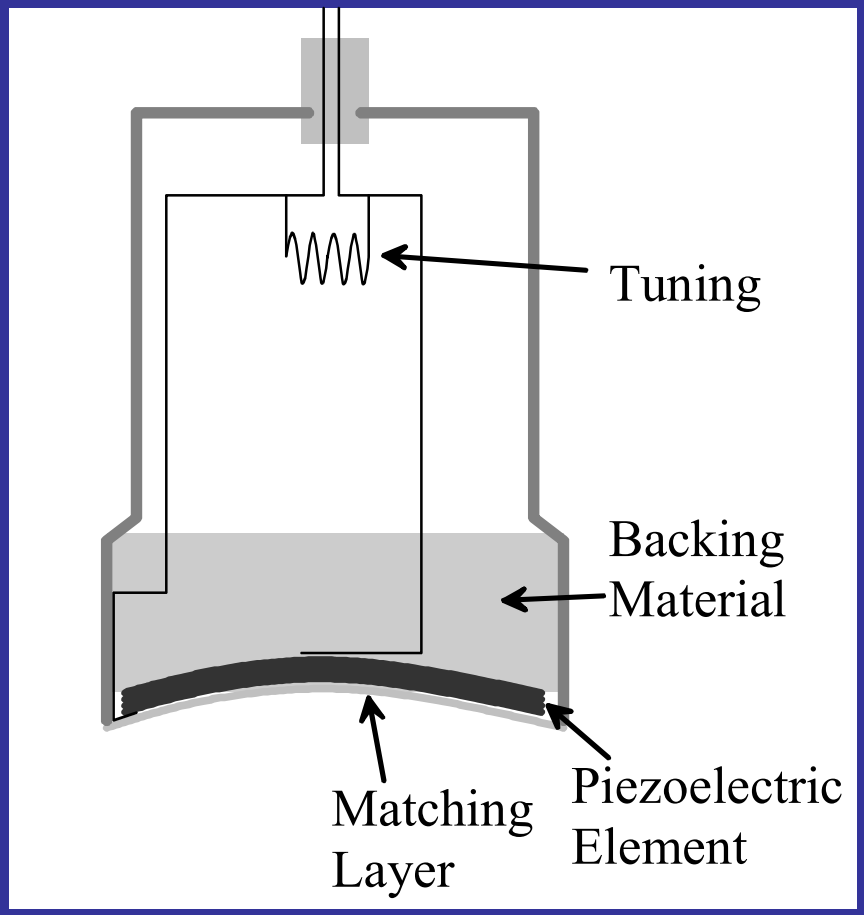
Technische Grundlagen



Piezoelektrischer Effekt

- Quarz
- Keramiken (Zirkonate, Titanate)

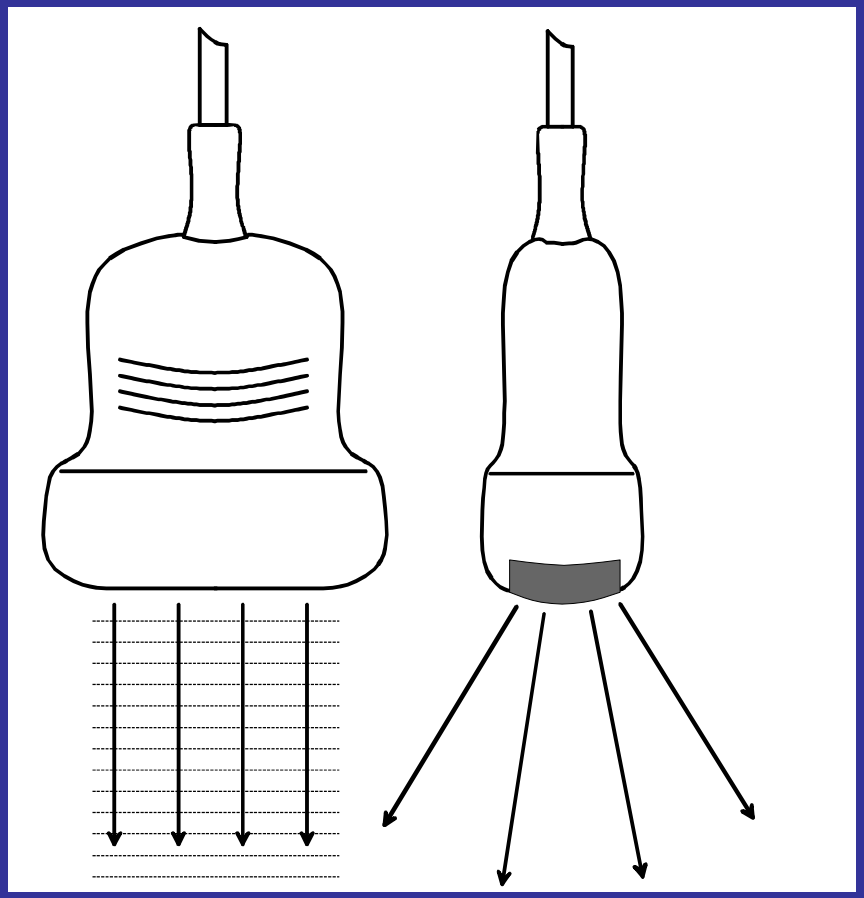
Technische Grundlagen



Aufbau von Schallwandlern

- Ankopplung (Gel)
- Matching Layer
- Piezokristall
- Backing Material
- Gehäuse
- …

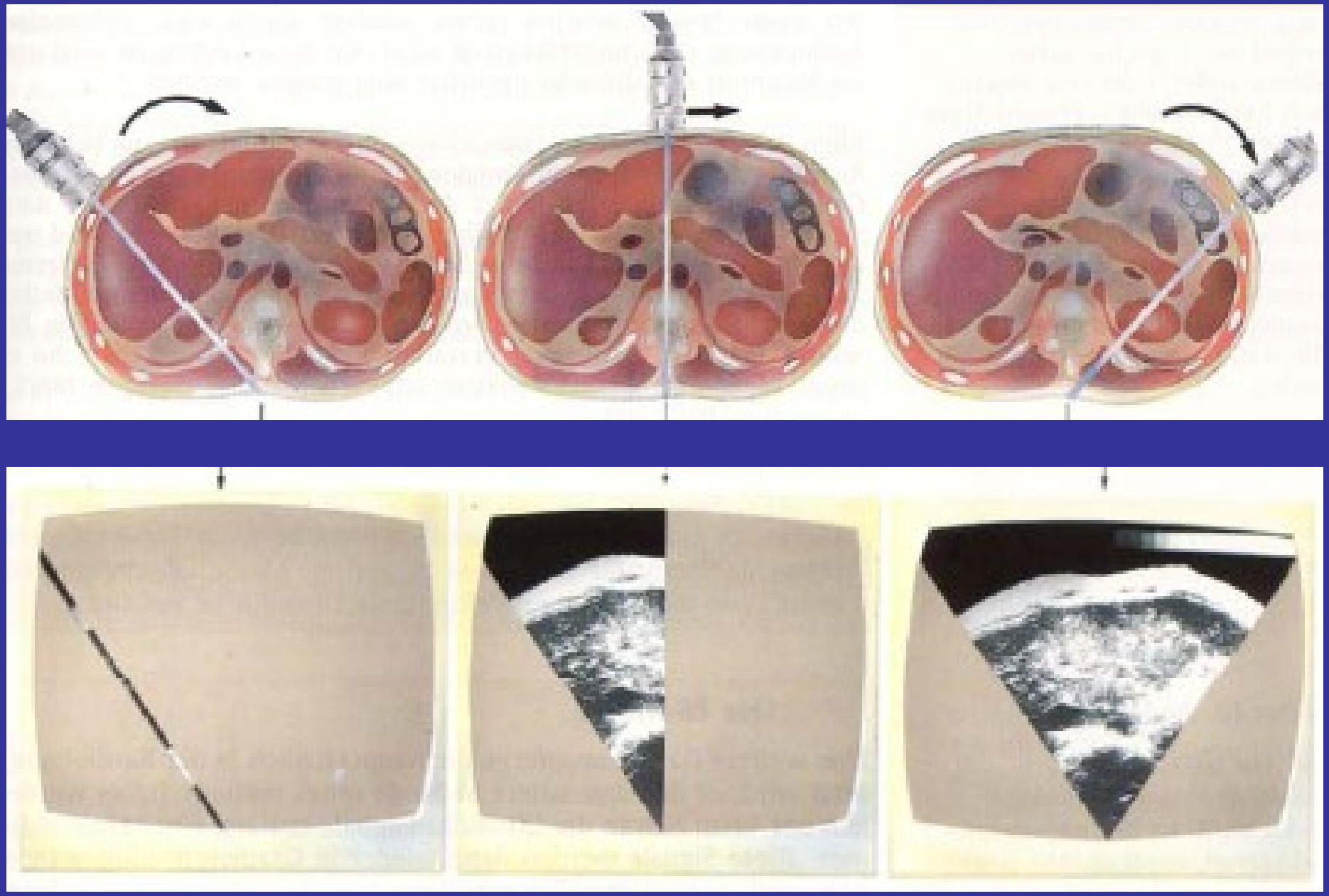
Technische Grundlagen



Formen von Schallwandlern

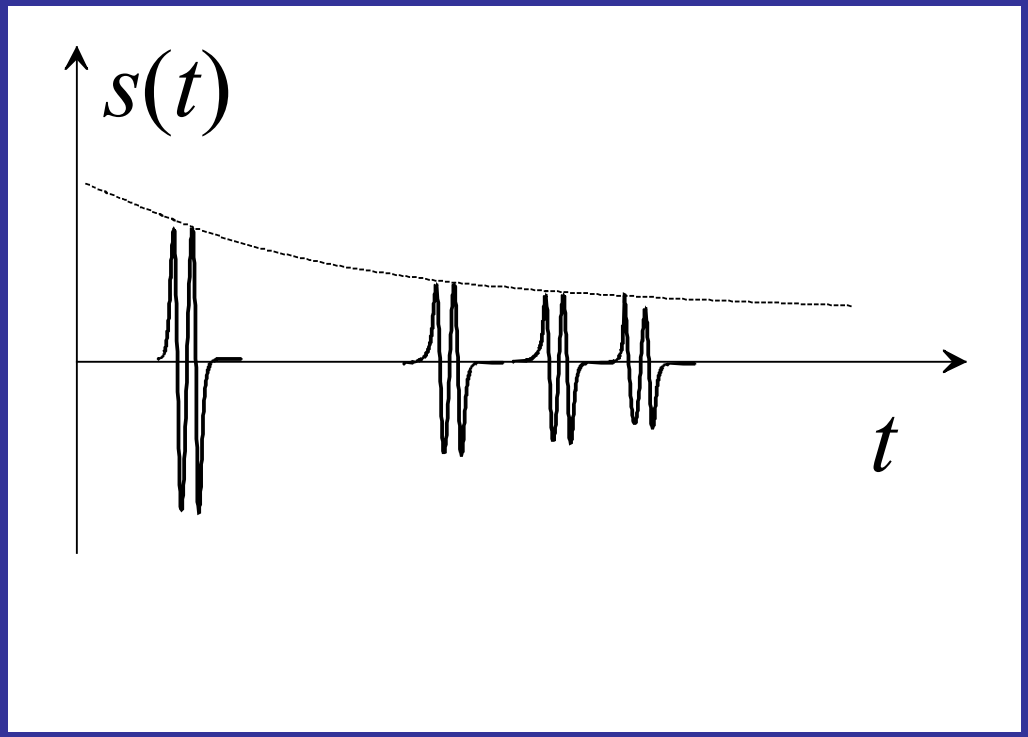
- Linearsonden
- Sektorsonden
- Konvexsonden

Ein oderer mehrere Piezokristalle einsetzbar



Endosonographie

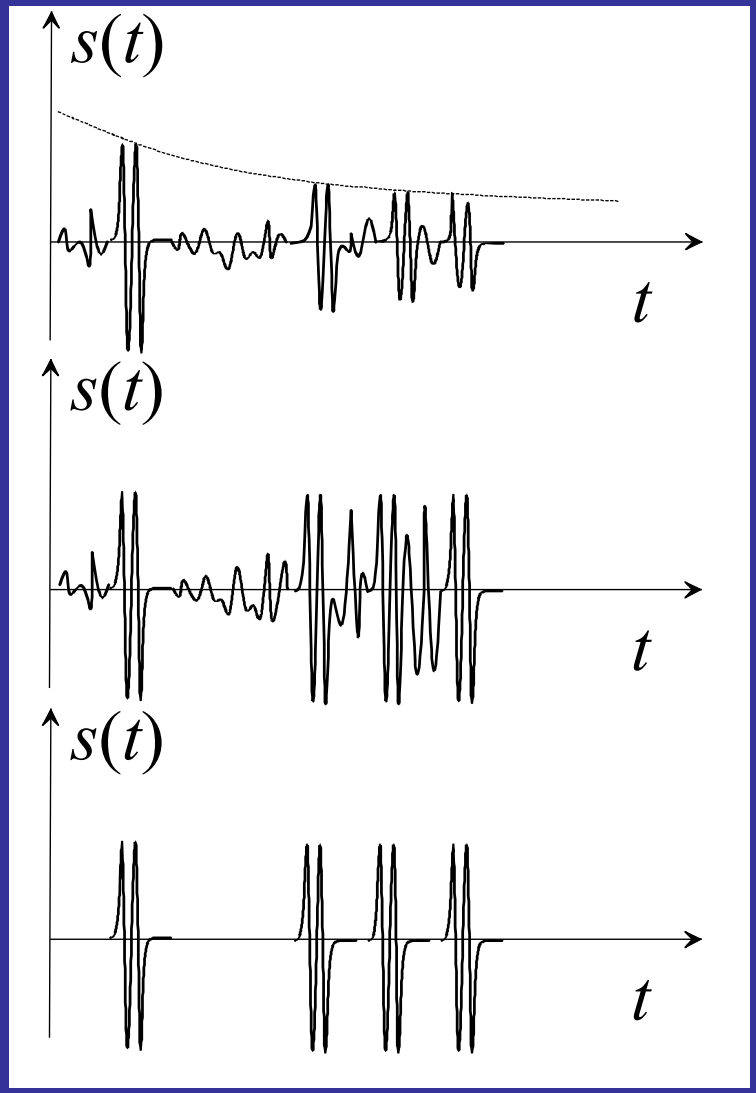
Technische Grundlagen



US-Pulse

- Puls von 2-3 Einzel-schwingungen, Dauer ca. 1 μs
- Kompensation der Dämpfung durch gezielte Verstärkung (TGC: Time Gain Compensation)

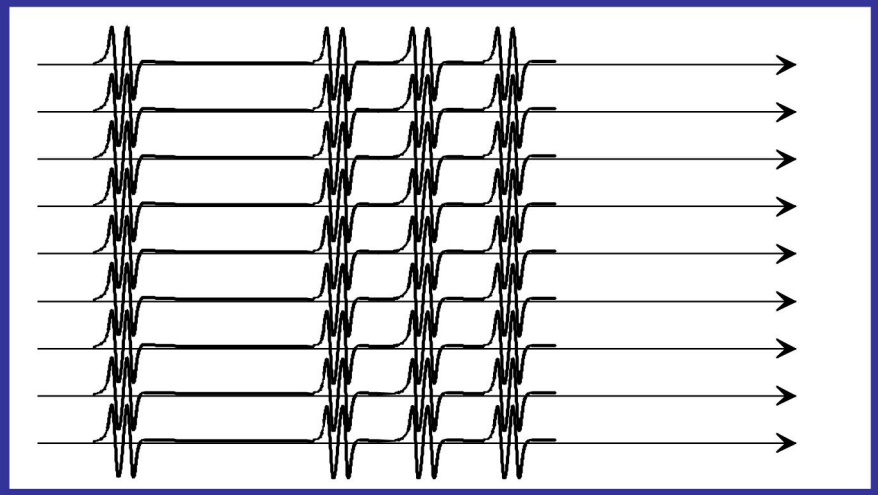
Technische Grundlagen

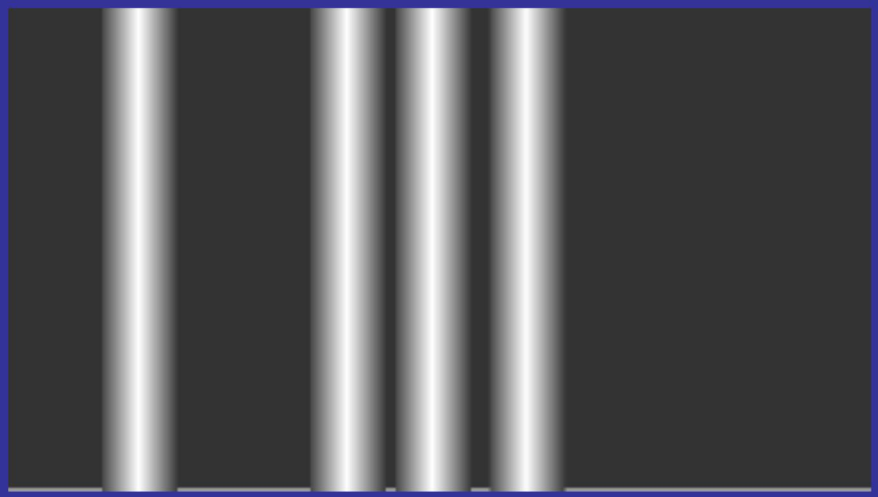


Aufgaben der Elektronik

- Pulserzeugung
- Echodetektion
- Signalverstärkung
- Filterung (Rauschen!)
- Bilderzeugung…

Bildentstehung





Bildarten

- A-Bild (Amplituden-Darsellung)
- B-Bild (B-Mode, Darstellung von Intensitäten)
- M-Mode / TM –Mode (Time-Motion-Mode)
- Doppler-Mode

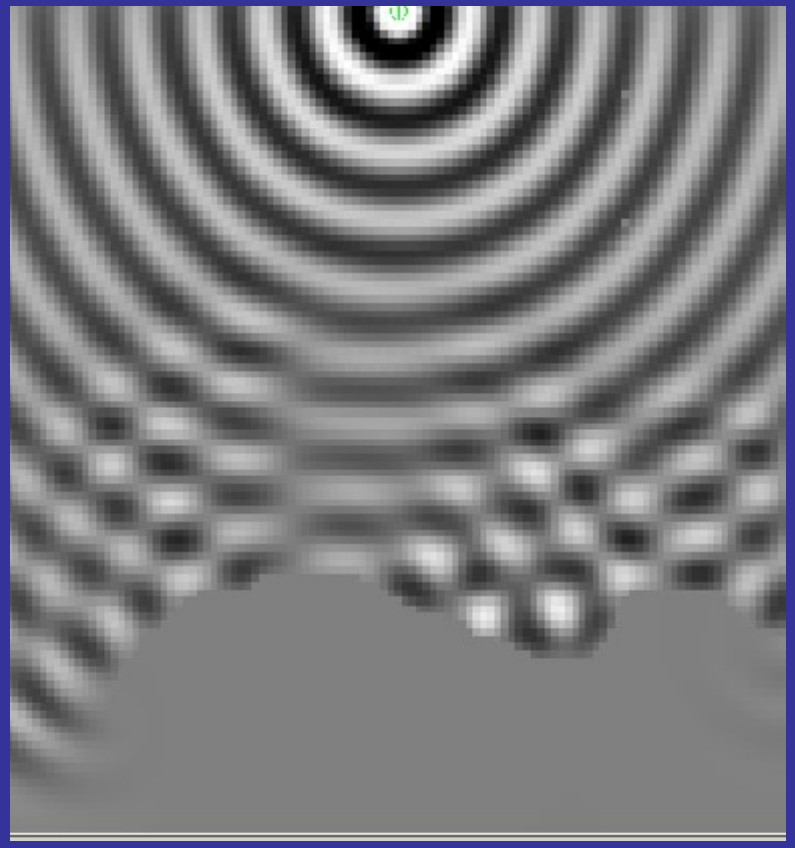
Bildentstehung

$$x = \frac{1}{2} c \cdot \Delta t$$

Ortszuordnung von Echos

- Bei ebene Wellen einfach
- Messung der Laufzeit *t*
- Berechnung von *x*

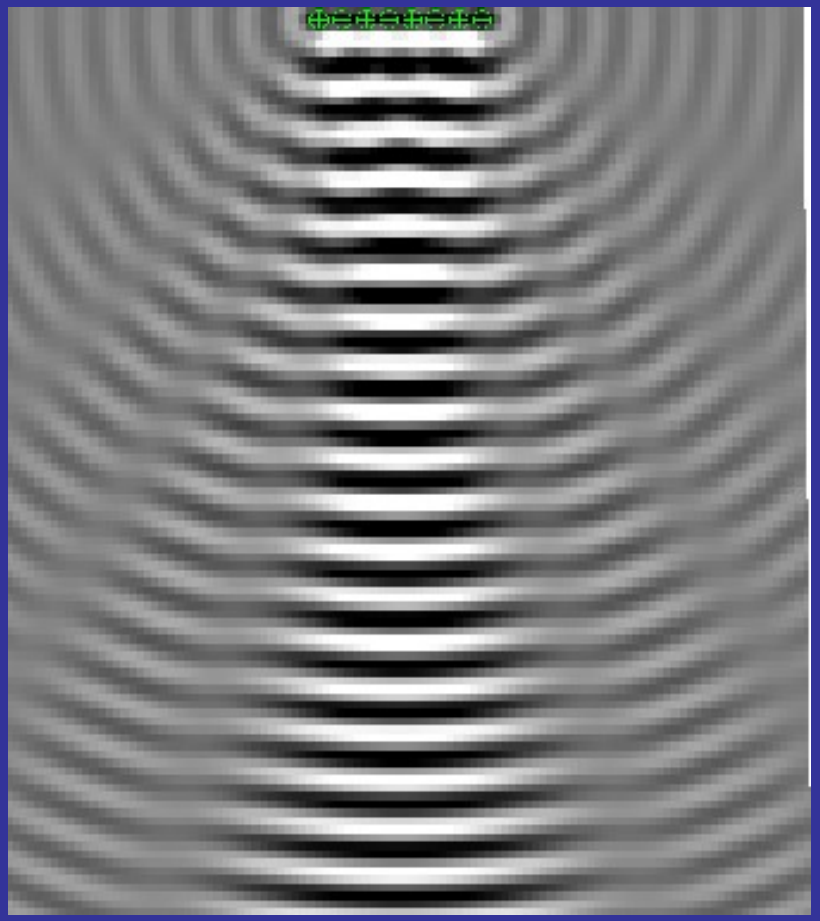
Bildentstehung



Schallfeld beeinflusst Bild

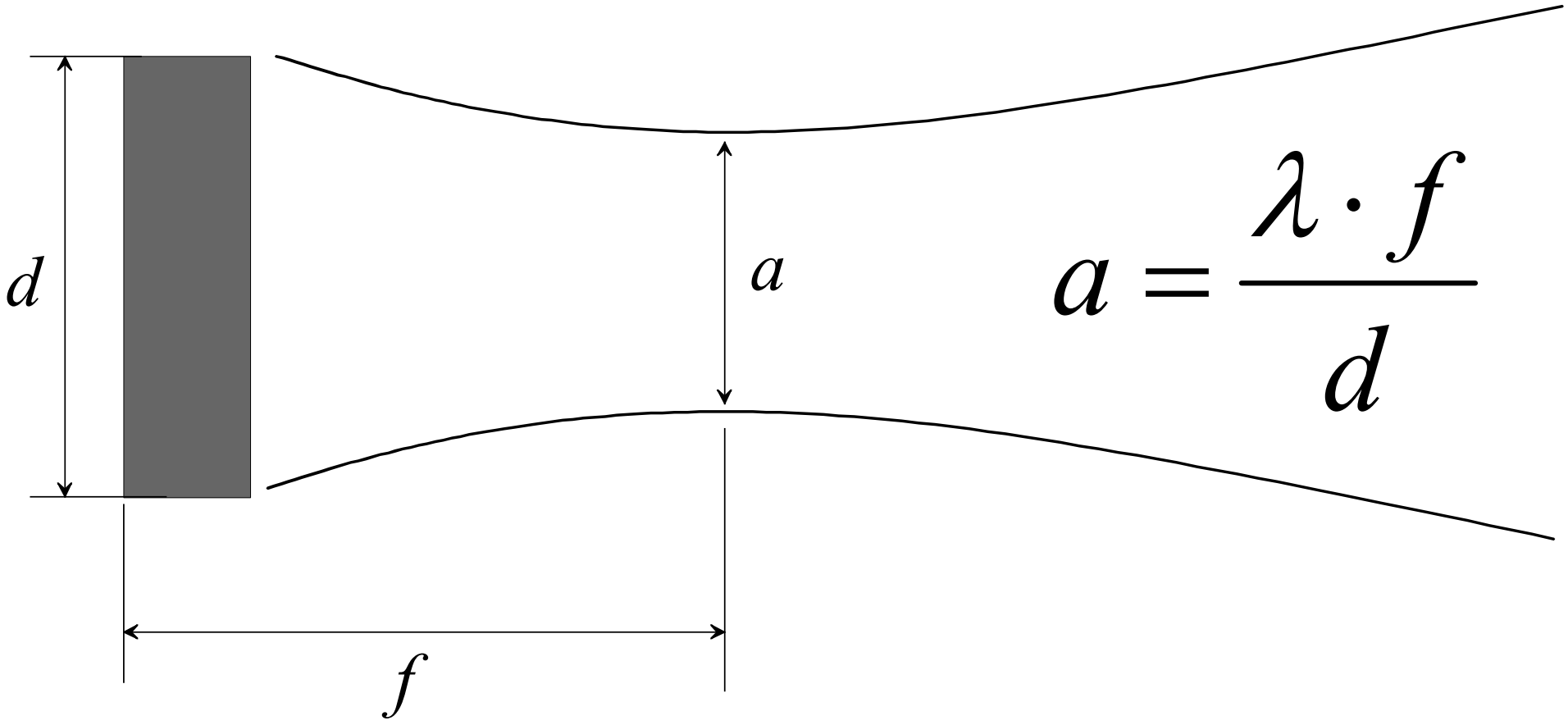
- Abhängig von Sondenform
- elektronische Laufzeitkorrektur

Bildentstehung



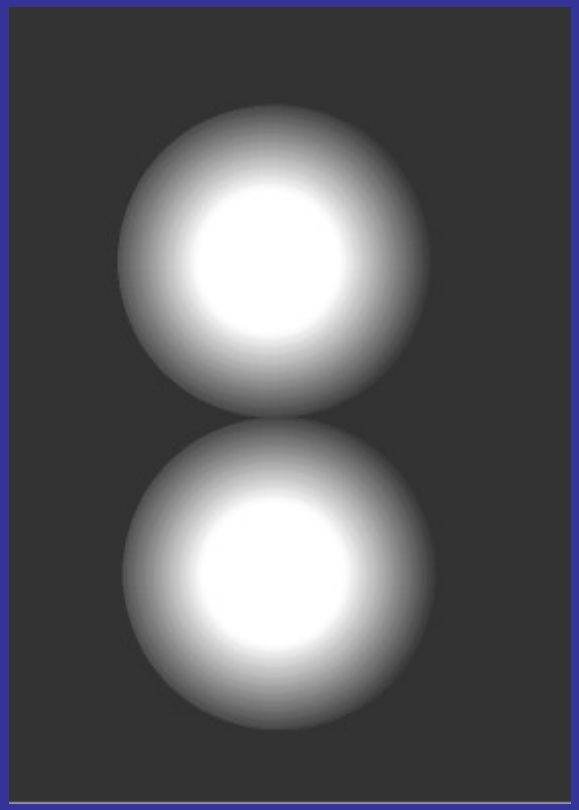
Bereiche des Schallfeldes

- Nahfeld
- Fokuszone
- Fernfeld



$$a = \frac{\lambda \cdot f}{d}$$

Bildentstehung



Auflösung

- axial (abhängig von Pulsdauer)
- lateral (abhängig von Schallfeldbreite, Wellenlänge und Tiefe)

Bildentstehung

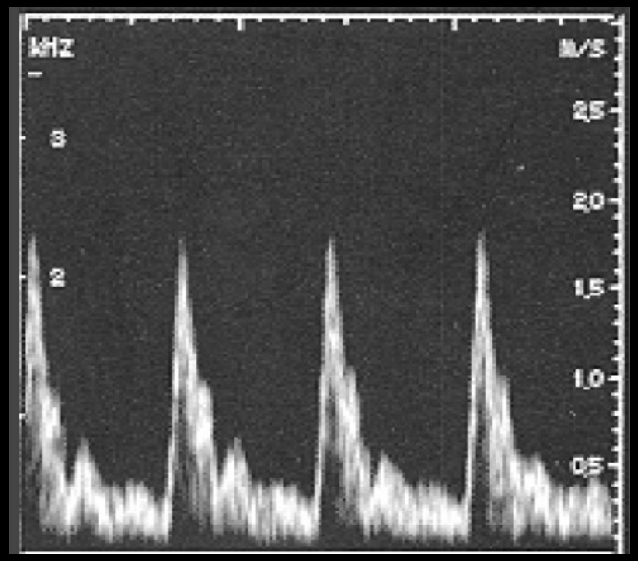
$$\Delta \nu = \frac{2\nu_0}{c} \cdot v \cdot \cos\theta = \frac{2v}{\lambda} \cdot \cos\theta$$

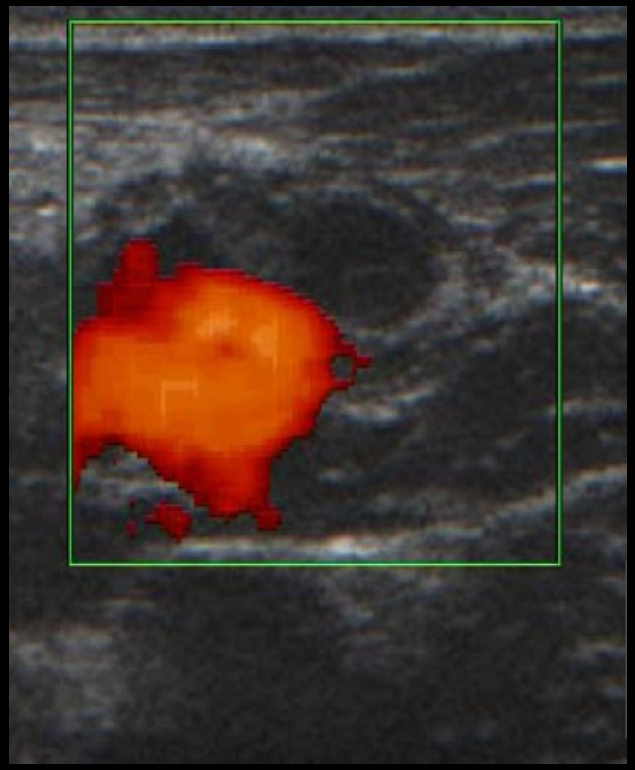
Doppler-US

- Physikalische Grundlage: Doppler-Effekt (Skript 625)
- Fliessgeschwindigkeit *v* des Blutes → Frequenzverschiebung
- Frequenzverschiebung wird farbcodiert

Doppler US

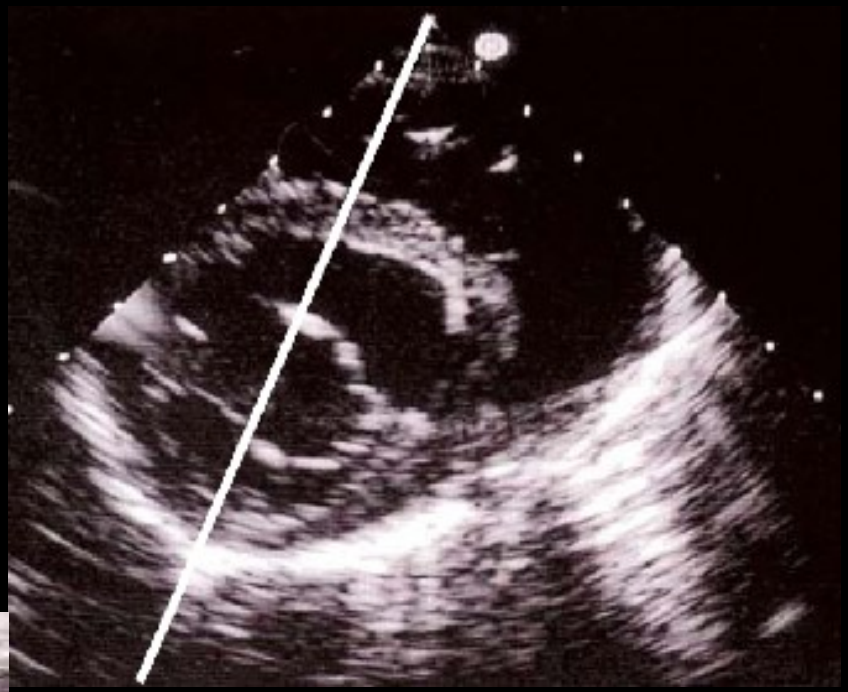
(Bilder: S. Ohlerth, Tierspital Zürich)





Echokardiographie

(Bilder: S. Ohlerth, Tierspital Zürich)



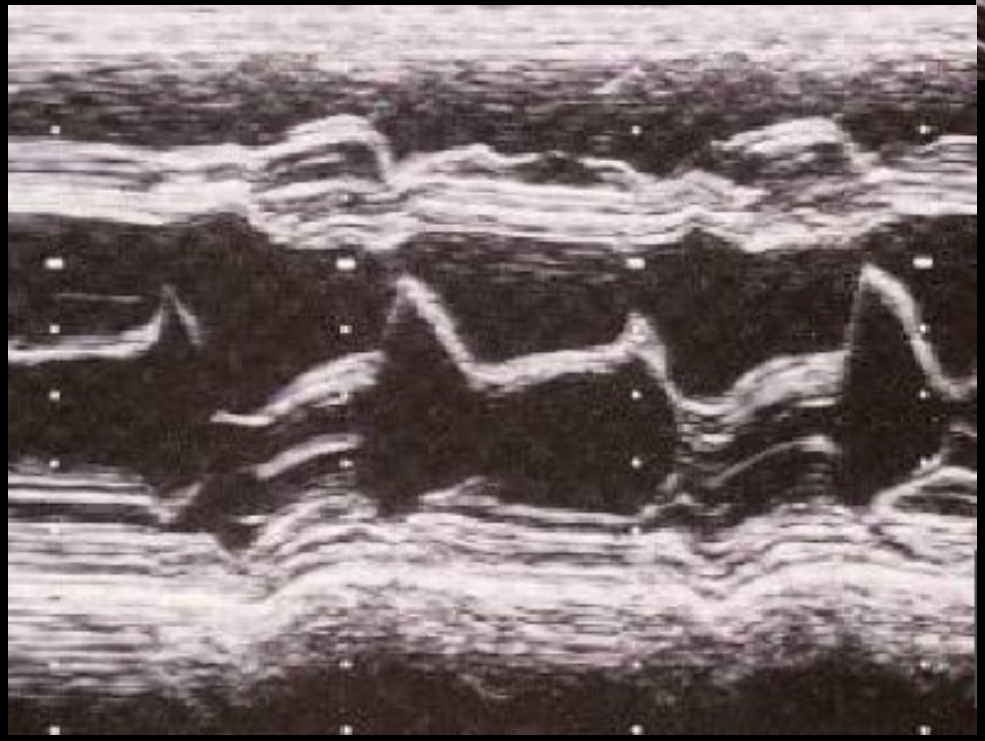
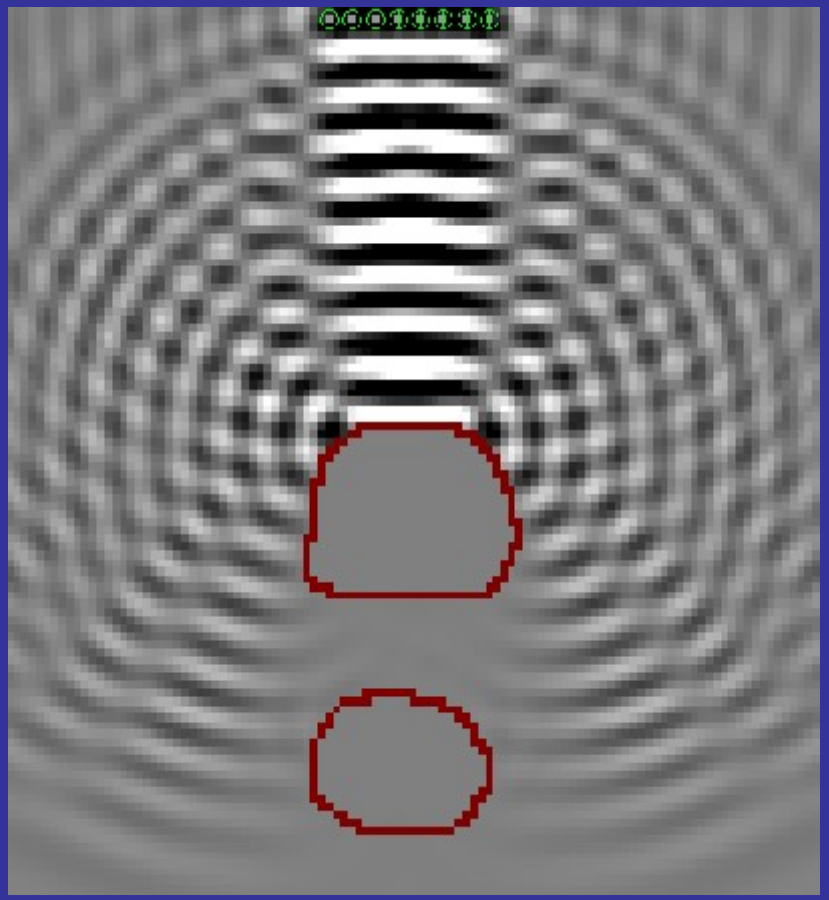


Bild-Artefakte



Entstehung

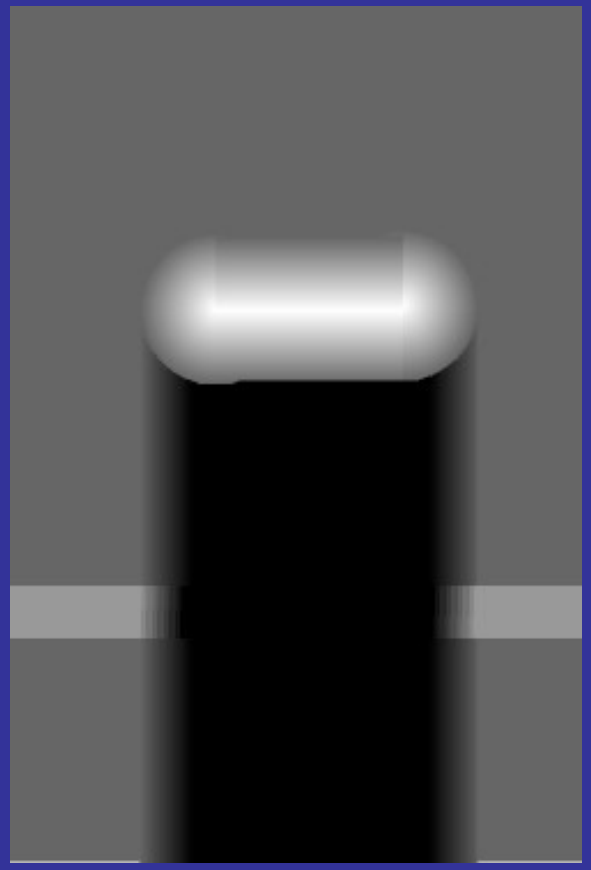
- Wellenphänomene
- Messung
- Bildrekonstruktion

Bild-Artefakte

Arten von Artefakten

- Schallschatten
- distale Schallverstärkung
- Zystenartefakte
- Spiegelbilder
- Mehrfachreflexionen
- Bogenartefakte

Bild-Artefakte



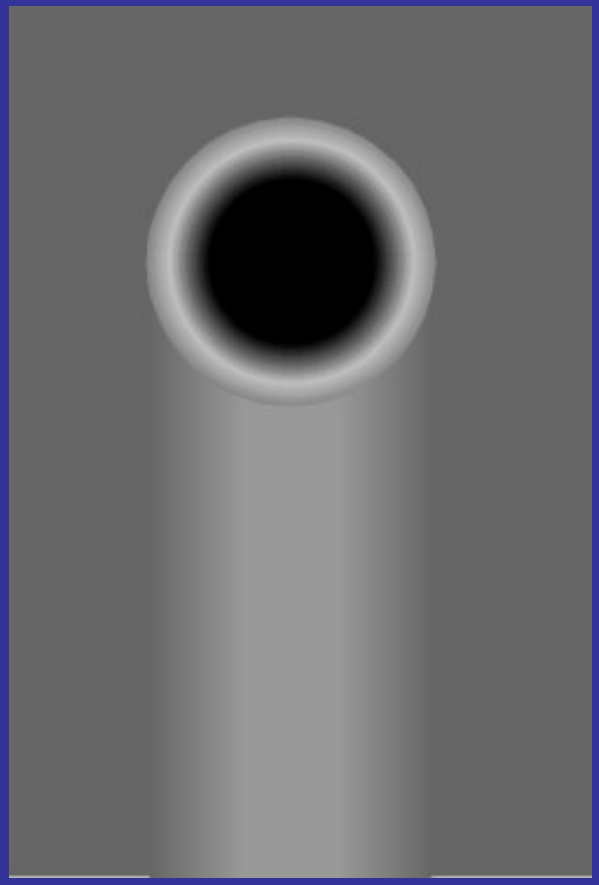
Schallschatten-Artefakte

- hinter stark absorbierenden Strukturen
- Keine Echos von dahinter liegenden Strukturen
- Hilfreich bei Fremdkörpersuche

Schallschatten bei Leber eines Hundes (Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich)

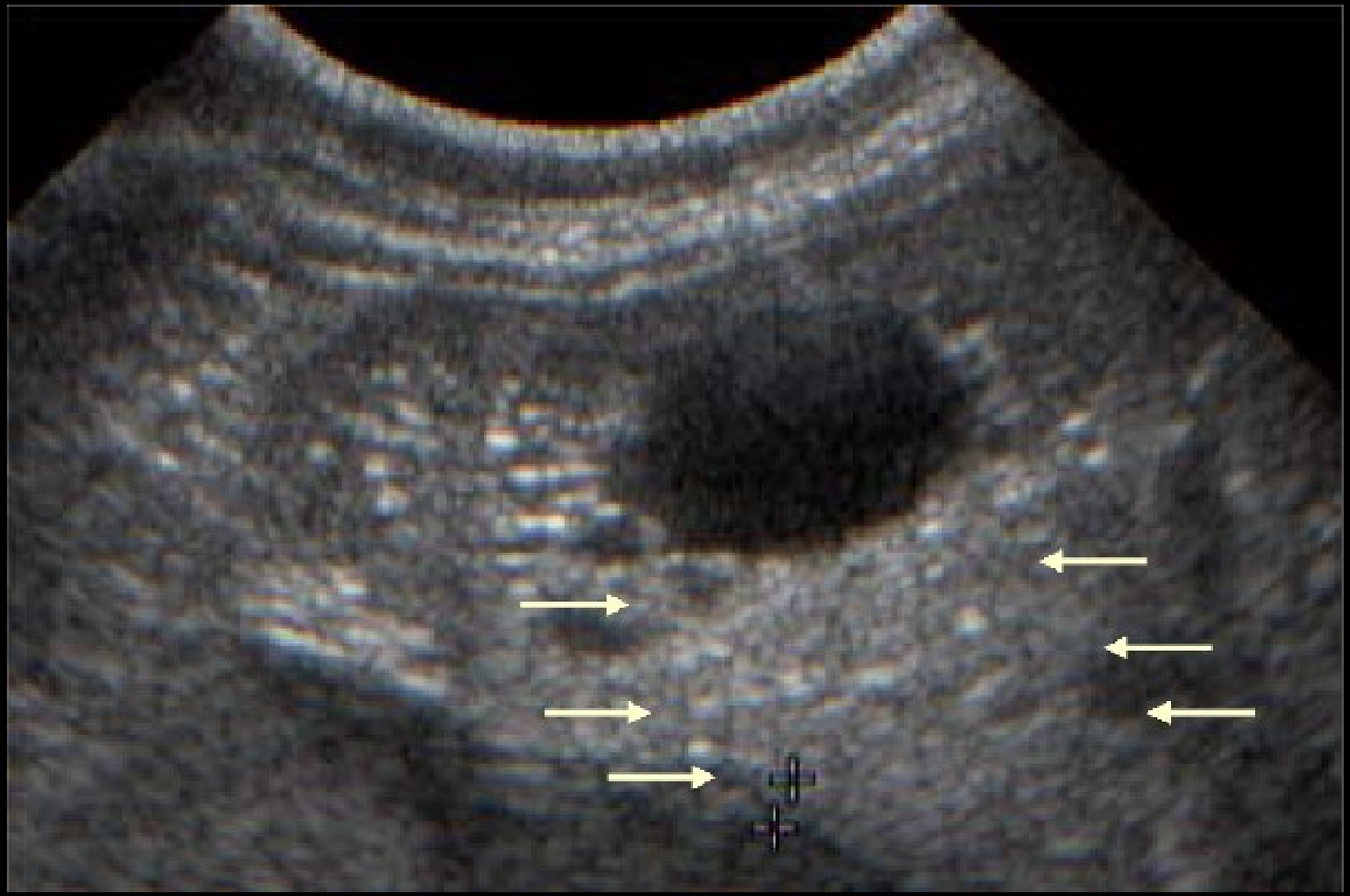
Voluson e
RAB 4-8-RS/OB
MI 1.2
Dr. B. Wuethrich, Zollikon
8.3cm / 22Hz
TIs 0.1
20.10.2008
08:50:27
1. Trim.
Har-hoch
Pwr 100
Gn -15
C5 / M4
P4 / E3
SRI II High
GE

Bild-Artefakte



distale
Schallverstärkung

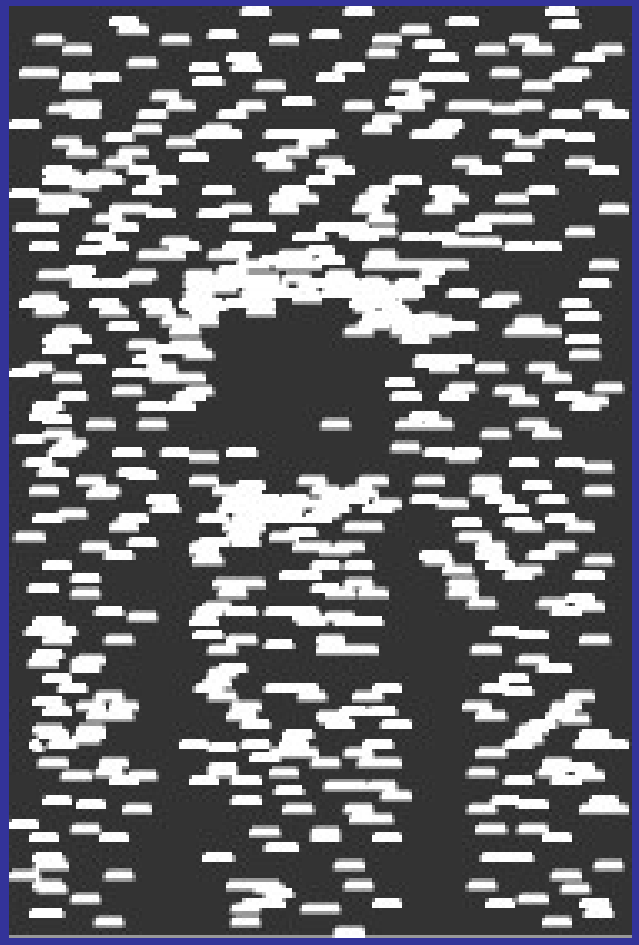
- Hinter wenig absorbierenden Strukturen
- Aufhellung wegen quasi zu starkem Signal



distale Schallverstärkung; Hundeleber (Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich)

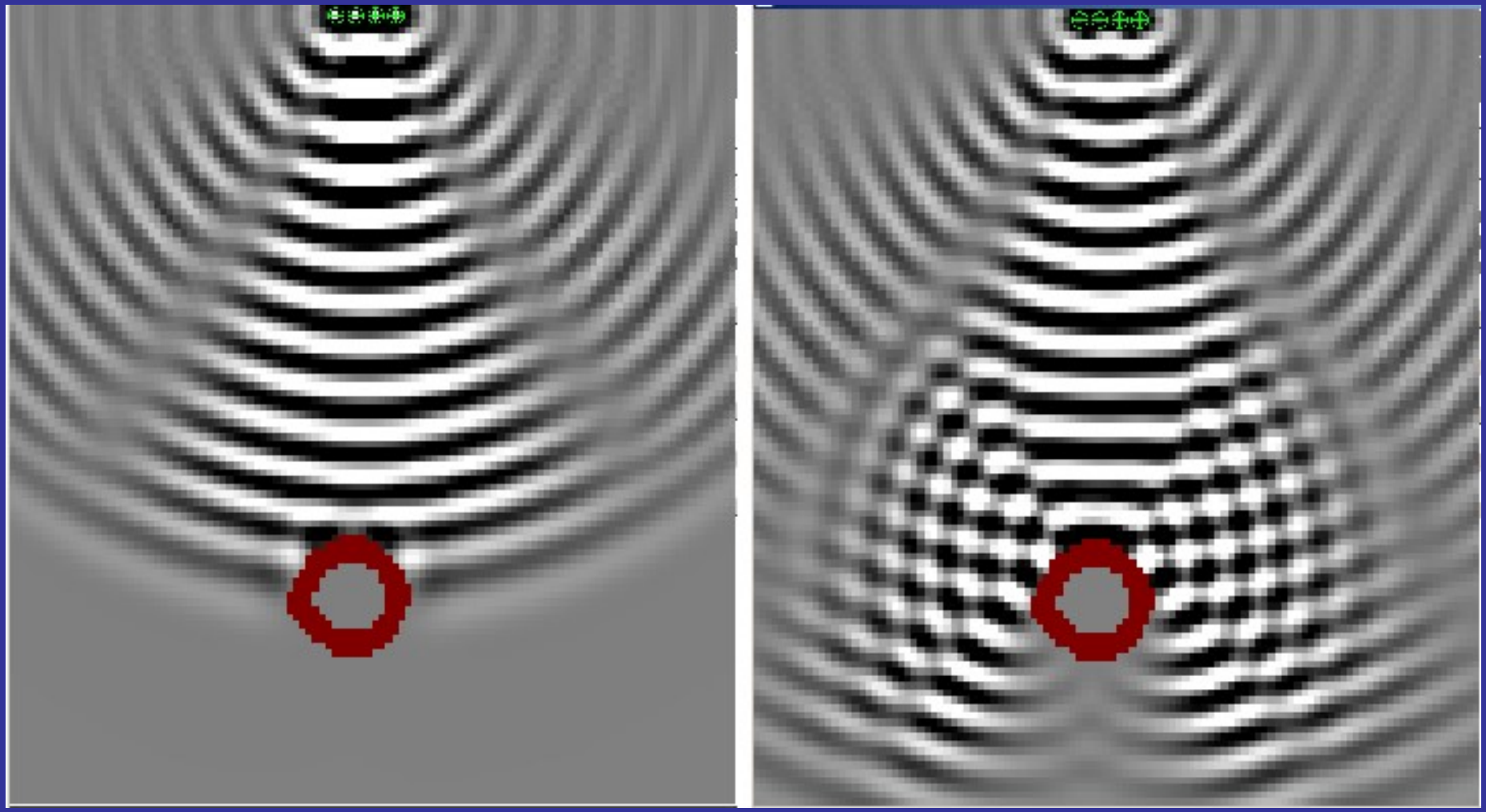
Voluson e
E8C-RS/OB
MI 0.9
Dr. B. Wuethrich, Zollikon
5.3cm / 29Hz
TIs 0.1
22.09.2008
14:59:22
1.Trim.Rout.
Har-niedr.
Pwr 100
Gn -2
C5 / M7
P8 / E5
SRI II High
GE
1 D 15.70mm

Bild-Artefakte



Zystenartefakte

- Streuung von Wellen an gebogenen Grenzflächen
- Schlechte Darstellung von seitlichen Teilen der Grenzfläche
- distaler Schallschatten



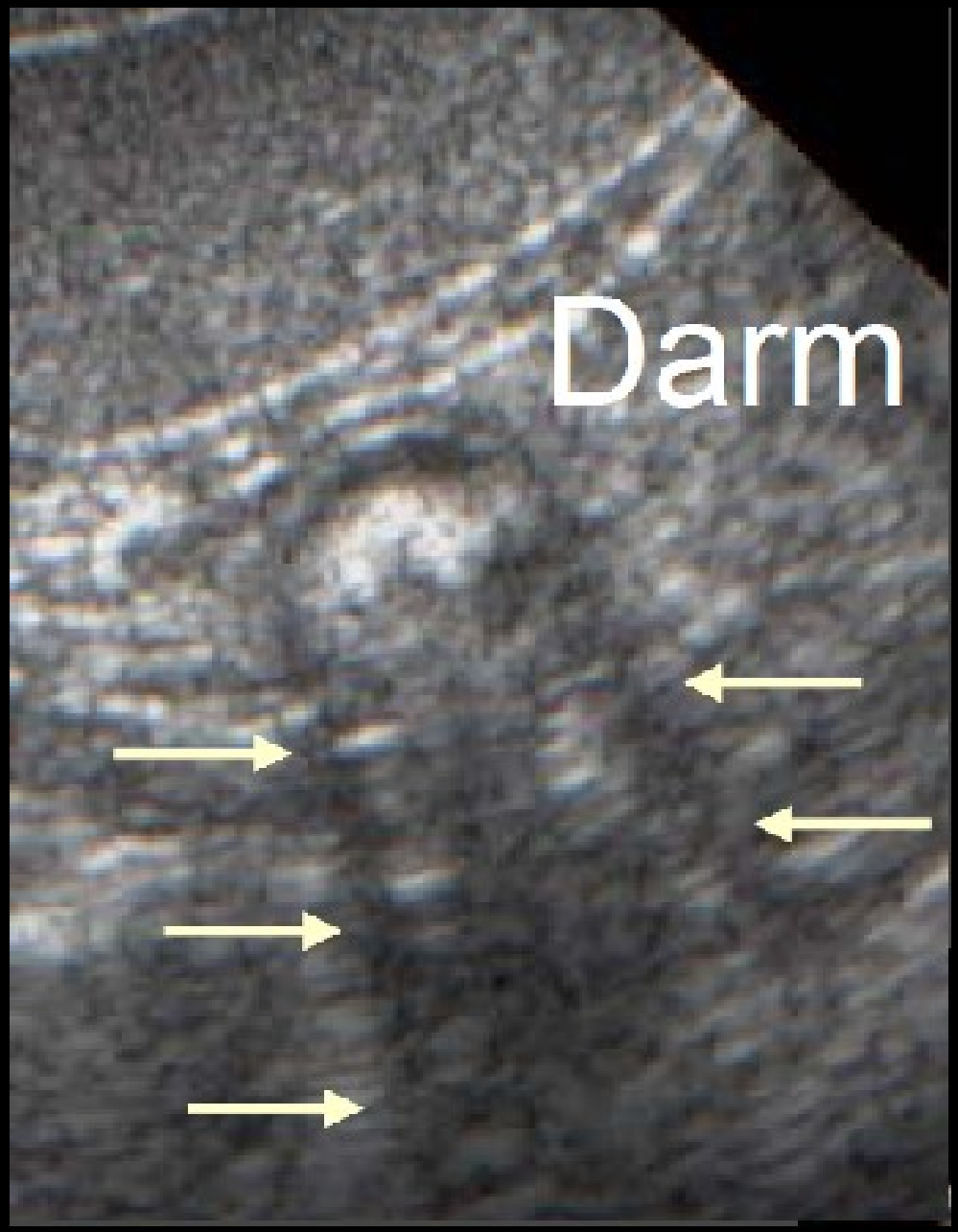


Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich

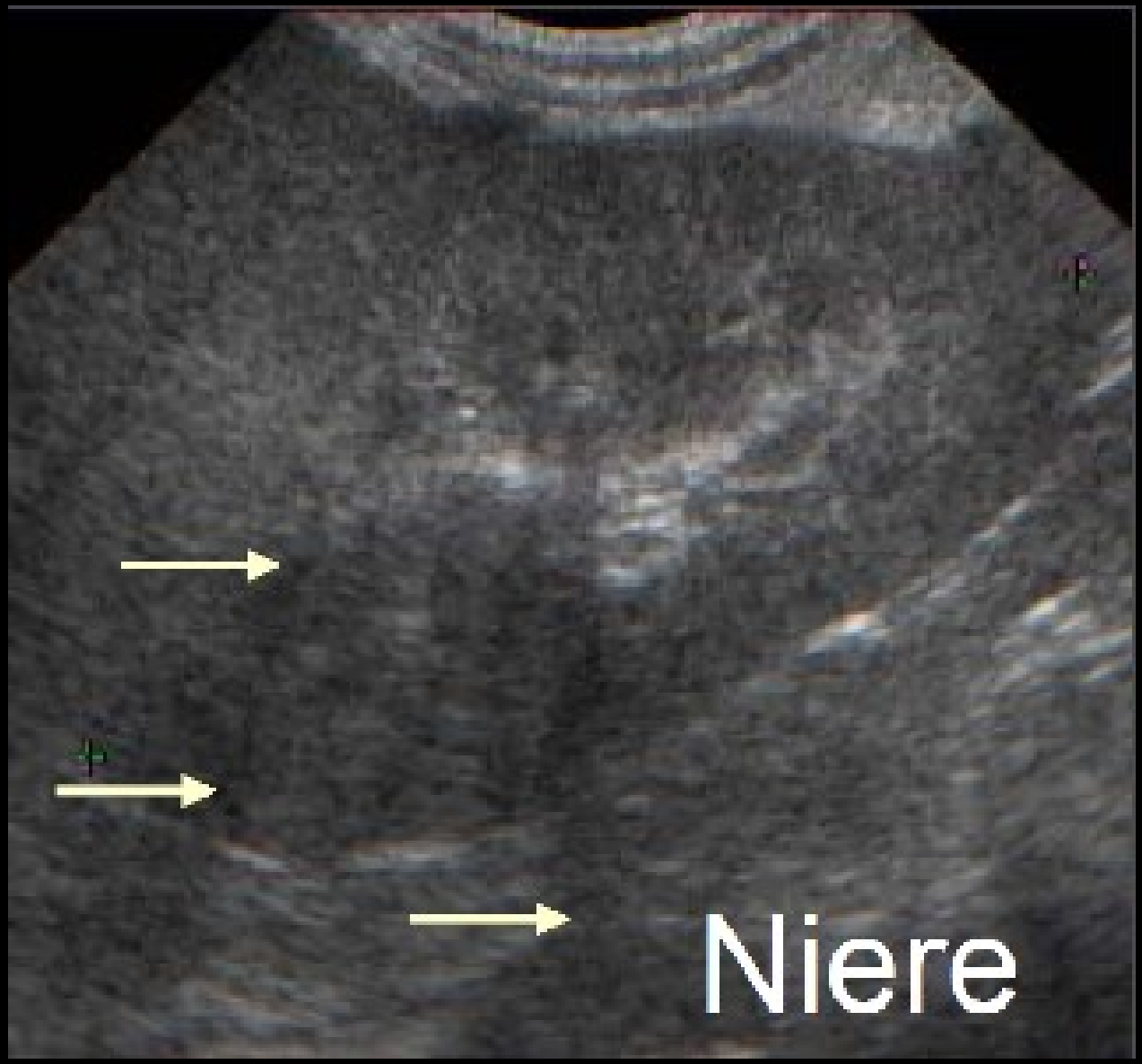
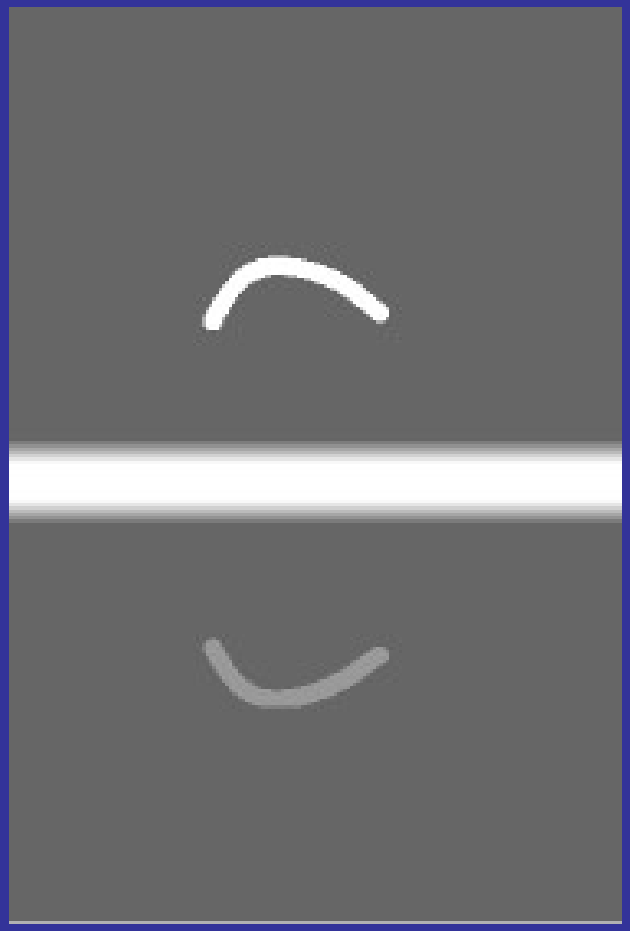


Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich

Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich

Bild-Artefakte



Spiegelbild-Artefakte

- Vor stark reflektierender Grenzfläche liegendes Objekt
- Schall wird von Objekt zurück geworfen
- Längere Laufzeit des Signals → falsche Ortszuordnung

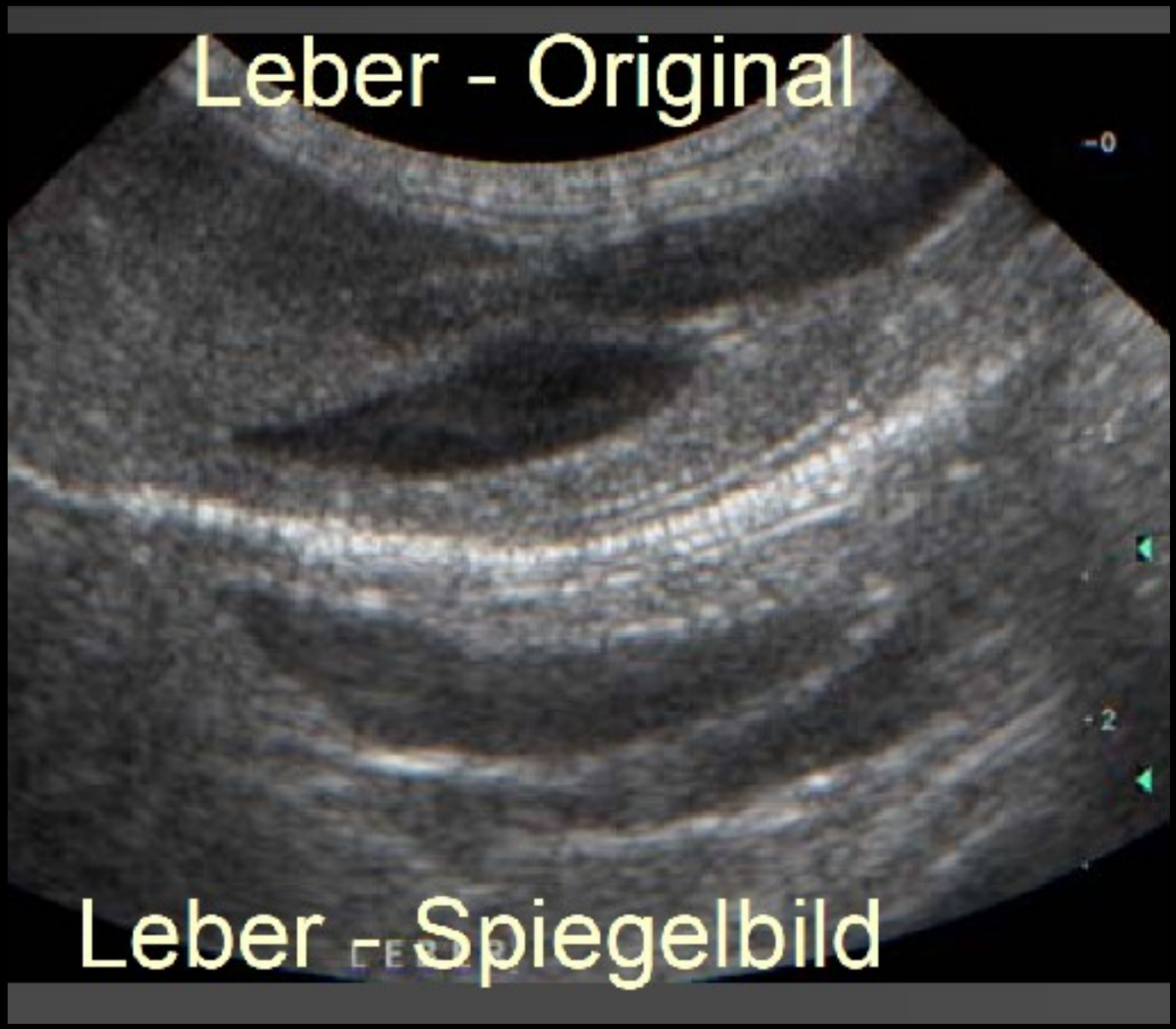


Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich

Bild-Artefakte

Mehrfachreflexionen
(Reverberation)

- Zwischen Grenzflächen mit hoher akustischer Impedanz Mehrfachreflexionen
- Z.B. Luftgefüllte Därme
- Haut-Wandler Kontaktfläche

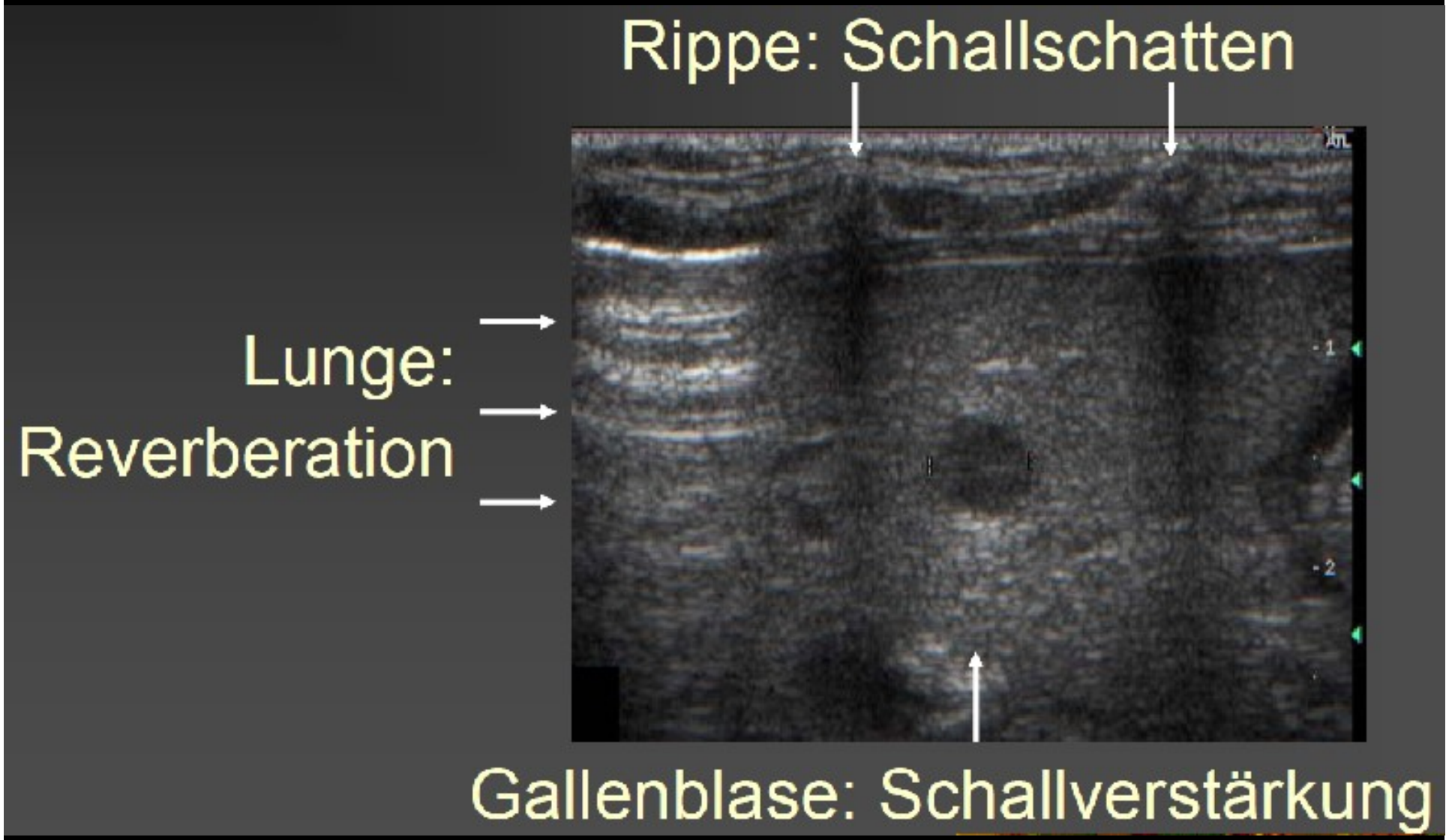
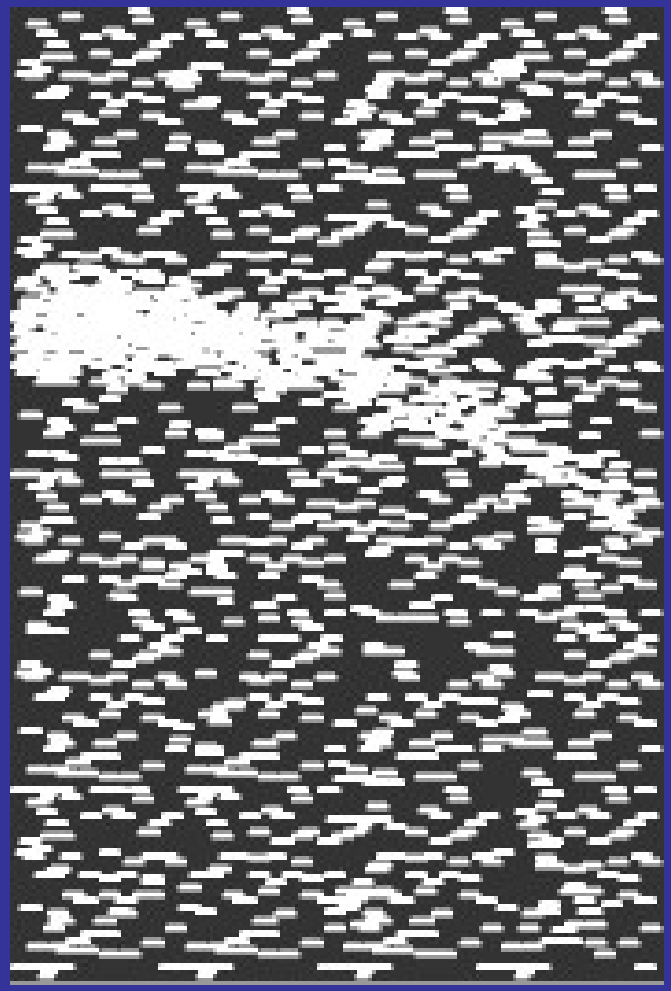


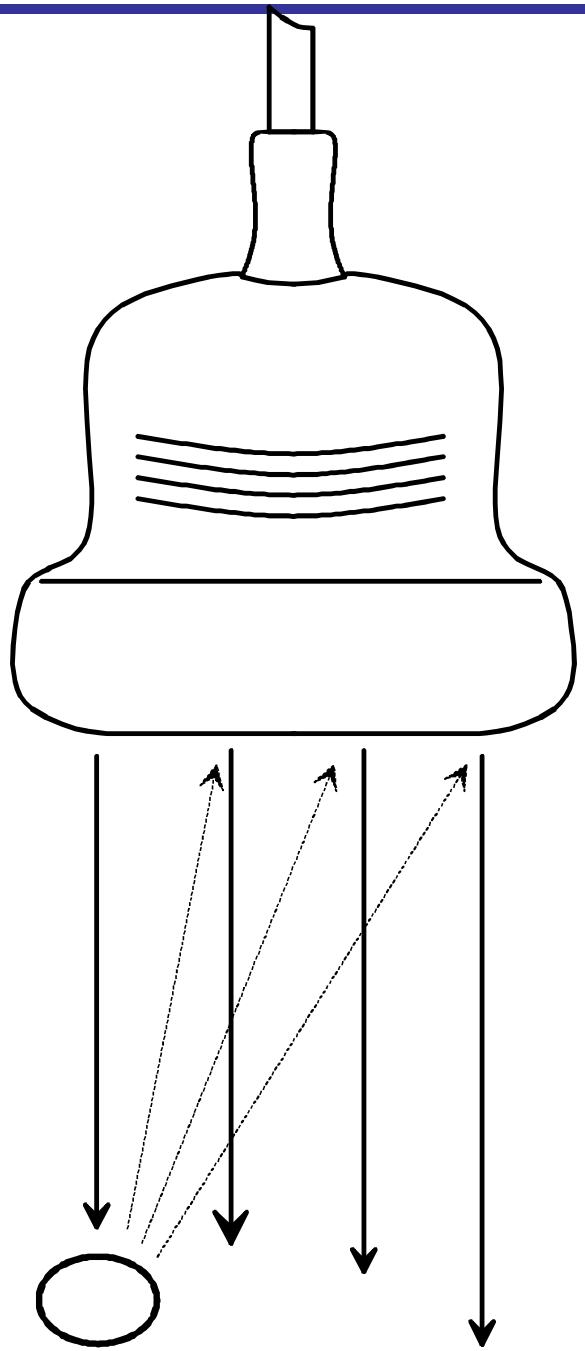
Bild: S. Ohlerth, Tierspital Zürich

Bild-Artefakte

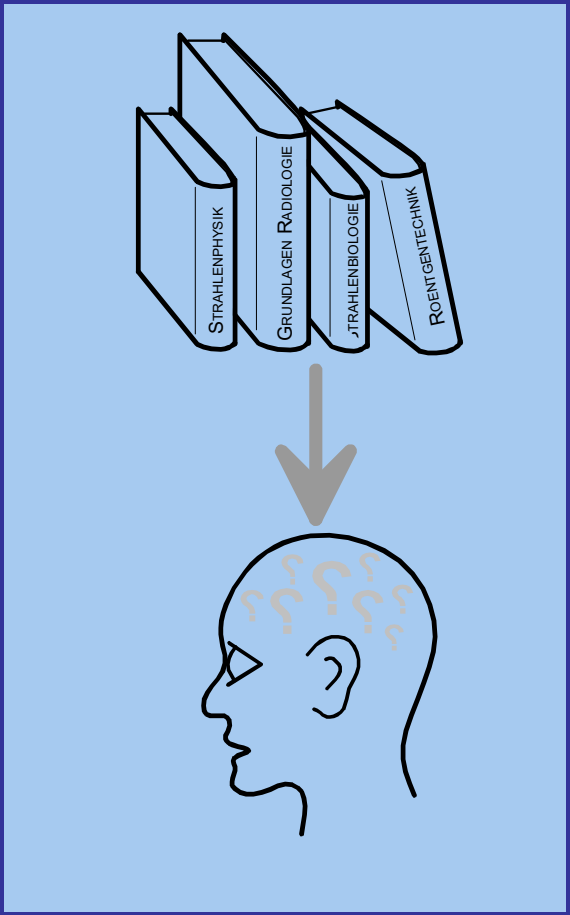


Bogenartefakte

- bei Linear-Scan
- Starke reflektoren
- Detektion von seitlich weglaufenden Strahlen



Literatur



- Braun, B., Günther, R., Schwerk, W. (1983): Ultraschalldiagnostik. Lehrbuch & Atlas. Ecomed, Erlangen
- Dössel, O. (2000): Bildgebende verfahren in der Medizin. Springer, Berlin
- Flachskamp F.A. (2001): Praxis der Echokardiographie. Thieme, Stuttgart