

# Querschnittfach 11 Bildgebung

## Thema Ultraschall

Prof. Dr. Markus Hoth

markus.hoth@uks.eu

06841-1626266

Vorlesung und Seminarfiles der FR Biophysik (Hoth, Kappl) finden Sie unter:

<http://www.uniklinikum-saarland.de/de/einrichtungen/fachrichtungen/biophysik/lehre/medizin/aktuelles/>

**Querschnittfach 11**  
**Bildgebende Verfahren, Strahlenbehandlung, Strahlenschutz,**  
**Ionisierende Strahlen, Grundlagen der Strahlentherapie**  
**WS 2015/2016**

**Die Vorlesung findet im Hörsaal der HNO (Gebäude 6) statt.**

Montags: 11:15 - 12:45 Uhr, Freitags: 11:15 - 12:45 Uhr

Vorbesprechung

**Bildgebende Verfahren I: Ultraschall** Prof. Hoth

**Bildgebende Verfahren II: Röntgen** Prof. Hoth

**Bildgebende Verfahren III Magnet-Resonanz-Tomographie, MRT** Dr. Kappl

....

Klinische Vorlesungen

# Querschnittfach 11 Bildgebung

Thema Ultraschall

Prof. Dr. Markus Hoth

markus.hoth@uks.eu

06841-1626266

Vorlesung und Seminarfiles der FR Biophysik (Hoth, Kappl) finden Sie unter:

<http://www.uniklinikum-saarland.de/de/einrichtungen/fachrichtungen/biophysik/lehre/medizin/aktuelles/>

## Quellen

- Originalliteratur (PubMed)
- ECHOCARDIOGRAPHY, Volume 24, October 2007
- Duale Reihe, Sonographie, Thieme Verlag 2012 (als E-Book 2005 in der Bibliothek)
- Kursbuch Ultraschall, Thieme Verlag 2004
- Sonographie, Urban und Fischer Verlag, 2006
- Bildgebende Diagnostik, Wissenschaftlicher Selbstverlag, 2006
- Harms, Physik für Mediziner, Harms Verlag 2004
- Harten, Physik für Mediziner, Springer Verlag 2007
- Trautwein, Kreibitz, Hüttermann, Physik für Mediziner..., de Gruyter 2004
- weitere Physikbücher und „Wikipedia“
- Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin ([http://www.degum.de/#\\_self](http://www.degum.de/#_self))
- Internistischer Sonographie Atlas, Albertinen-Krankenhaus Hamburg
- [http://www.frauenklinik.uni-wuerzburg.de/mutterkindzentrum/3d\\_ultraschall.htm](http://www.frauenklinik.uni-wuerzburg.de/mutterkindzentrum/3d_ultraschall.htm)

# Gliederung der Vorlesung

0. Historisches, Allgemeines
1. Motivation (Blood Flow Imaging)
2. Einführung Wellen, Schallwellen
3. Ultraschall Leber
4. Einführung Ultraschall  
Zusammenfassung 1
5. Lebervenenstauung nach Rechtsherzinsuffizienz
6. Ultraschallerzeugung und Detektion  
(Piezoelektrischer Effekt und Puls-Echo-Verfahren)  
Zusammenfassung 2
7. Anwendung am Herz
8. Auflösung
9. Linksherzhypertrophie
10. Nahfeld, Fernfeld, Fokus
11. Lymphknoten
12. Schwächung im Gewebe
13. Ultraschall bei Schwangeren, Pränataldiagnostik
14. Artefakte
15. Dopplersonographie  
Zusammenfassung 3
16. Kontrastmittel
17. Einstellung am Ultraschallgerät
18. Helle und Dunkle Speckles

# 0. Historisches, Allgemeines

## Eine kurze geschichtliche Einführung

- 1774: Lazzaro Spallanzani postuliert den sechsten Sinn der Fledermäuse, aber erst 1938 beweisen Donald R. Griffin und Robert Galambos experimentell, dass Fledermäuse Ultraschall zur Orientierung verwenden
- 1880: Pierre und Jaques Curie entdecken den reziproken piezoelektrischen Effekt
- 1913: Marie und Pierre Curie sowie Henrie Becquerel liefern das Basiswissen für die Erzeugung von Ultraschall
- 1917 : Paul Langevin entwickelt das erste Echolotgerät (Leistung 1 kW) zur Unterwasserortung von U-Booten SONAR: Sound Navigation and Ranging
- 1929: Sergey Y. Sokolov und Floyd Firestone führen erste Untersuchungen durch, um mittels Ultraschall Werkstoffe zerstörungsfrei zu prüfen
- 1934: Siemens entwickelt eine Methode zum „Schmelzen“ von Tumoren mittels Ultraschall (1936 Einführung des Ultraschalltherapiegerätes „SONOSTAT“)
- 1949: G. Ludwig und F. Struthers können Gallensteine im A-Modus darstellen
- 1953: erste 2D-Bilder
- 1957: erste Ultraschall-Gel-Köpfe
- 1963: R. Soldner bei Siemens bringt den Prototyp des ersten Realtime-Ultraschallgerätes auf den Markt
- 1965 : Medizinischer Durchbruch in der Gynäkologie und Geburtshilfe (H.-J. Holländer)
- Ende der 80iger Jahre: Entwicklung der 3D-Sonographie
- Ende der 90iger Jahre: 4D-Sonographie („Live 3D-Sonographie“)

## Vor- und Nachteile von Ultraschall gegenüber CT und MRT (NMR)

### positiv

- kostengünstiger
- keine „Strahlung“
- kaum Belastung für Patienten
- nicht invasiv
- flüssigkeitsgefüllte Schallfenster (z.B. Blase)

### negativ

- geringere Auflösung (mm-Bereich)
- hohe Reflexion an Luft und Knochen
  - (- Erwärmung des Gewebes bei hoher Intensität)
  - (- Cavitation des Gewebes bei hoher Intensität)



kaum Belastung für Patienten....

### **Thermische Effekte**

- cave Doppler (hohe Intensitäten)
- Sendeleistung
- Frequenz
- Fokussierung
- Abtransport der Wärme durch Blut etc. nicht gegeben
- Gewebeeigenschaften (hohe Dämpfung des interessierenden und geringe Dämpfung des nicht interessierenden Gewebes)

### **Mechanische Effekte**

- Kavitationen (Bildung von Hohlräumen)
- Schwangerschaft: kein Nachweis der Gefährdung, cave Umkehrschluss

### **Immer ALARA-Prinzip**

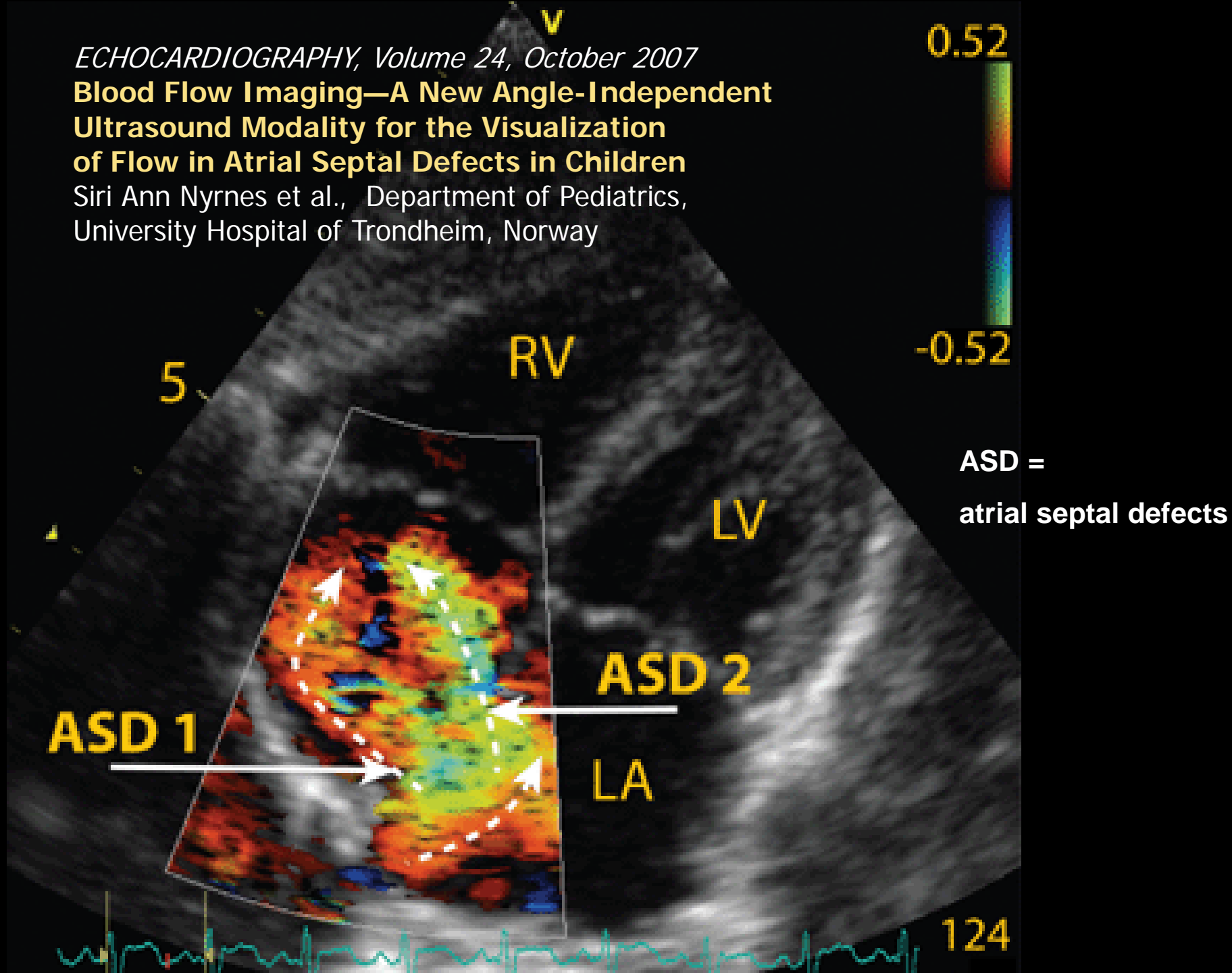
Leistung, Frequenz und Zeitdauer so niedrig wie möglich

# 1. Motivation (Blood Flow Imaging)

*ECHOCARDIOGRAPHY, Volume 24, October 2007*

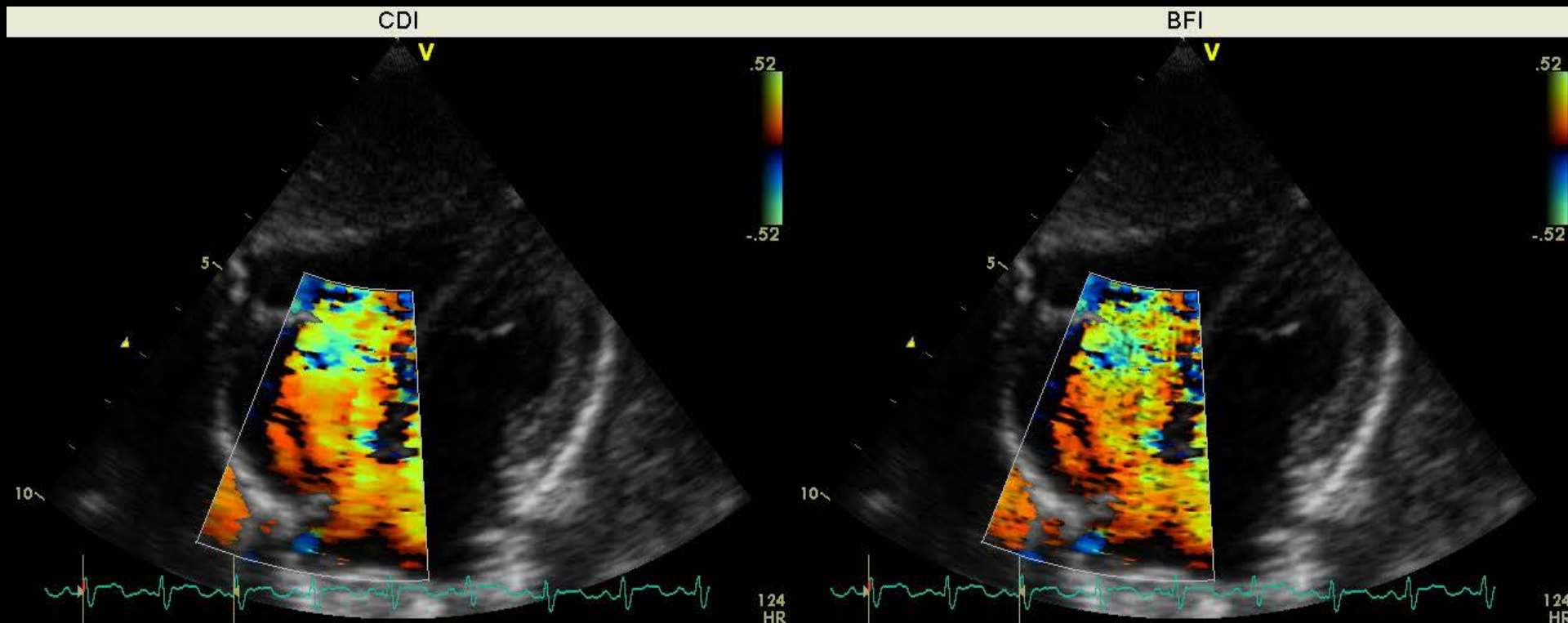
## **Blood Flow Imaging—A New Angle-Independent Ultrasound Modality for the Visualization of Flow in Atrial Septal Defects in Children**

Siri Ann Nyrnes et al., Department of Pediatrics,  
University Hospital of Trondheim, Norway



**Blood Flow Imaging—A New Angle-Independent  
Ultrasound Modality for the Visualization  
of Flow in Atrial Septal Defects in Children**

Siri Ann Nyenes et al., Department of Pediatrics,  
University Hospital of Trondheim, Norway,



**Figure 2: Imaging of a double ASD using CDI and BFI respectively.**

S. A. Nyenes, L. Løvstakken, H. Torp, and B. O. Haugen, "Blood Flow Imaging - A new angle-independent ultrasound modality for the visualisation of flow in atrial septal defects in children"

*ECHOCARDIOGRAPHY, Volume 24, October 2007*

**Blood Flow Imaging—A New Angle-Independent  
Ultrasound Modality for the Visualization  
of Flow in Atrial Septal Defects in Children**

Siri Ann Nytnes et al., Department of Pediatrics,  
University Hospital of Trondheim, Norway,

Blood flow imaging (BFI) extends color doppler imaging (CDI) with qualitative information of flow. This is achieved through the preservation and visualization of the speckle pattern originating from the blood signal echoes. The speckle pattern is present inside the vessel lumens and heart ventricles, but is normally not visible in the B-mode image due the weak strength of the echoes from blood compared with the surrounding tissue structures. **The movement of this speckle pattern between image acquisitions correlates to the actual blood cell movement, and can be captured by acquiring images with a high frame rate.** By using a slow motion display of these images, the movement of the speckle pattern can be tracked by the human eye.

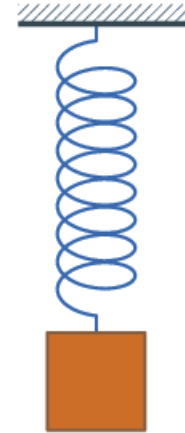
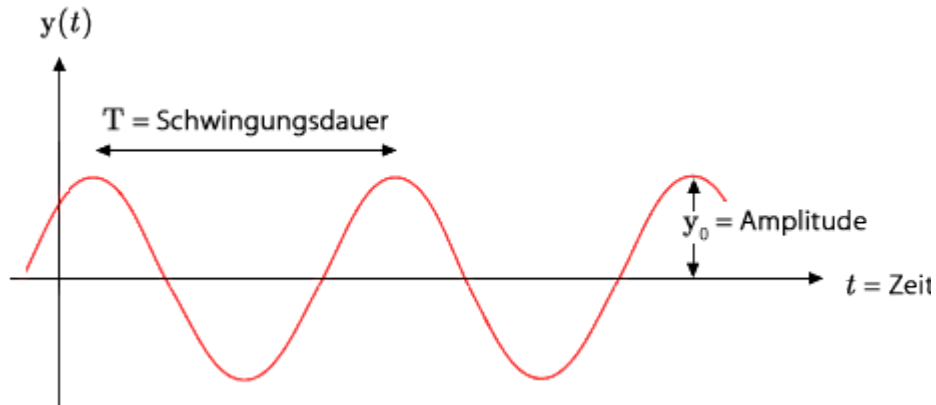
## **United States Patent 6780155 (Blood flow imaging, 2004)**

Abstract: An ultrasound imaging method and system includes a two-dimensional array transducer scanhead coupled to a **beamformer**. The beamformer and scanhead obtain signals corresponding to ultrasound echoes reflected from a measurement volume extending across a blood vessel. The signals are processed by a Doppler processor to generate data corresponding to a **three-dimensional Doppler image** of blood flow velocity in the sample volume. The signals are also processed by a **B-mode** processor to generate data corresponding to a cross section through the vessel. An image processor transforms the data corresponding to the three-dimensional Doppler image to data corresponding to a projection of the three-dimensional Doppler image onto a plane. The image processor also combines the transformed Doppler data with the B-mode data to create a composite image. Volume flow rate can also be determined by integrating the flow velocity in the projection of the three-dimensional Doppler image.

## 2. Einführung Wellen, Schallwellen

# Was ist eine Schwingung?

Eine **Schwingung** ...



... ist ein Vorgang, bei dem sich ein physikalischer Zustand zeitlich periodisch verändert.

Dabei ist:

$f = \text{Frequenz [Hz]} = [1/\text{s}]$

$T = \text{Schwingungsdauer [s]}$

Amplitude  $y_0 = \text{Schwingungsweite}$

Es gilt:  $T = 1/f$

Die harmonische Schwingung folgt einer Sinusfunktion.



# Definition Schwingung und Welle

Eine **Schwingung** ...

... ist ein Vorgang, bei dem sich ein physikalischer Zustand zeitlich periodisch verändert.

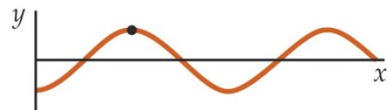
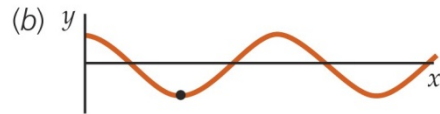
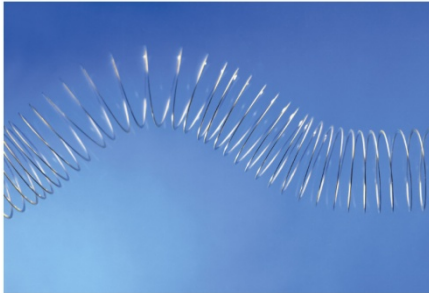
Die räumliche Ausbreitung einer Schwingung bezeichnet man als **Welle**. Die Ausbreitung ist streng an Materie gebunden, denn die Welle entsteht durch Schwingungen von Teilchen.

## Definition einer Welle

Als Wellen werden Ausbreitung periodischer Störungen (z.B. einer Schwingung) im Raum bezeichnet. Zur zeitlichen Periodizität der Schwingung kommt bei einer Welle also noch eine räumliche Periodizität dazu. Die Auslenkung eines Teilchens  $s$ , seine Geschwindigkeit  $v$  und seine Beschleunigung  $a$  hängen somit vom Ort und die Zeit an:  $s(x,t)$ ;  $v(x,t)$ ;  $a(x,t)$ .

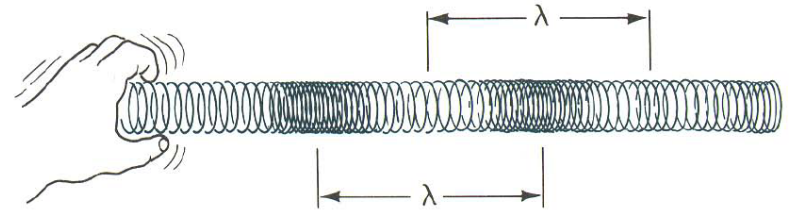
# Transversal- und Longitudinalwellen

In transversalen Wellen schwingen die Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.



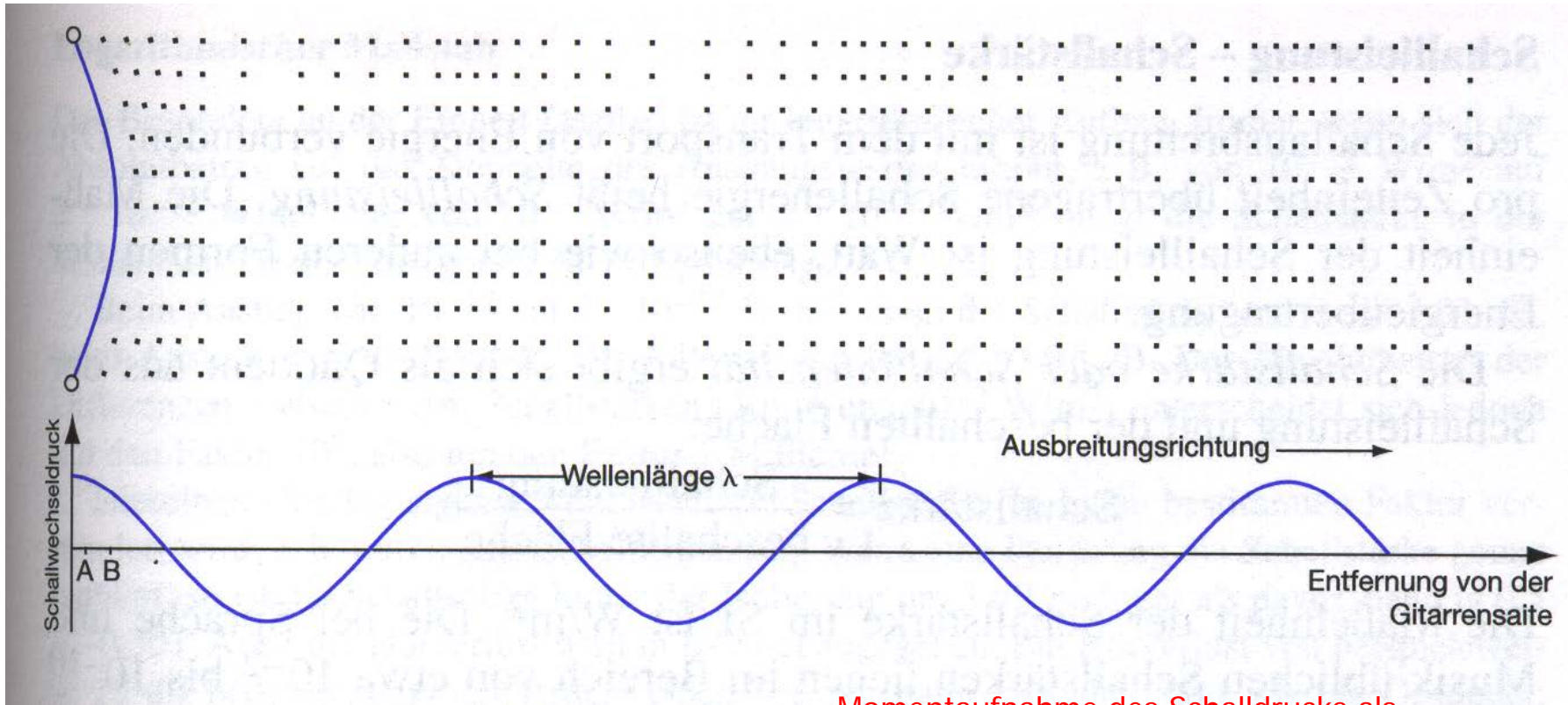
Beispiel: Licht, Wellen auf einer Saite

In longitudinalen Wellen schwingen die Teilchen entlang der Ausbreitungsrichtung.



Beispiel: Schallwellen

# Fortpflanzung der Schwingung = Welle



Momentaufnahme des Schalldrucks als  
Funktion des Abstands zur Gitarrensaite

**Longitudinalwelle:** Schwingung entlang der Ausbreitungsrichtung

# Definitionen für Wellen

Die im Zusammenhang mit Wellenentstehung und -ausbreitung auftretenden Begriffe sind die folgenden:

## *Welle:*

Ausbreitung von Schwingungen, die dann auftritt, wenn ein schwingendes Teilchen die Schwingung auf ein benachbartes Teilchen überträgt.

## *Schalldruck:*

Als Schalldruck werden die Druckschwankungen eines kompressiblen Schallübertragungsmediums (üblicherweise Luft) bezeichnet, die bei der Ausbreitung von Schall auftreten.

## *Kopplung:*

Bindung zweier benachbarter Teilchen, die maßgebend für Wellenentstehung und Ausbreitung ist. Die Kopplung ist in der Natur nie völlig starr oder nicht vorhanden, vielmehr schwankt sie zwischen diesen Grenzen und ist eine Medien- oder Materialeigenschaft.

## *Fortpflanzungsgeschwindigkeit:*

Geschwindigkeit der Wellenausbreitung bezogen auf gleiche Phase, daher auch Phasengeschwindigkeit  $c$  genannt. Abhängig von der Kopplung ist sie eine Materialeigenschaft.

## *Wellenlänge:*

Abstand zwischen zwei benachbarten Stellen gleichen Schwingungszustandes (gleicher Phase) in Ausbreitungsrichtung gesehen. Die Wellenlänge wird mit  $\lambda$  bezeichnet; es besteht folgende Beziehung

## *Frequenz:*

Anzahl der Schwingungen pro Sekunde (Einheit Hz = 1/s)

## *Amplitude:*

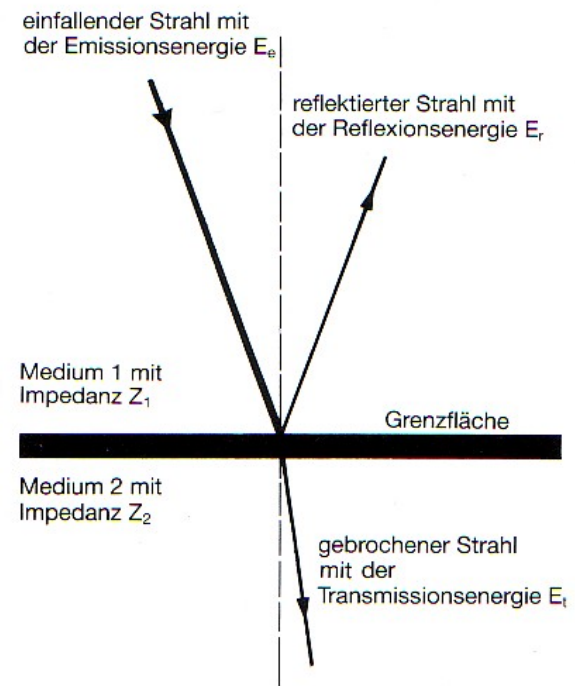
„Höhe“ der Welle, maximaler Ausschlag eines Teilchen, maximaler Druck (Schall)

$$c = \lambda \cdot f$$

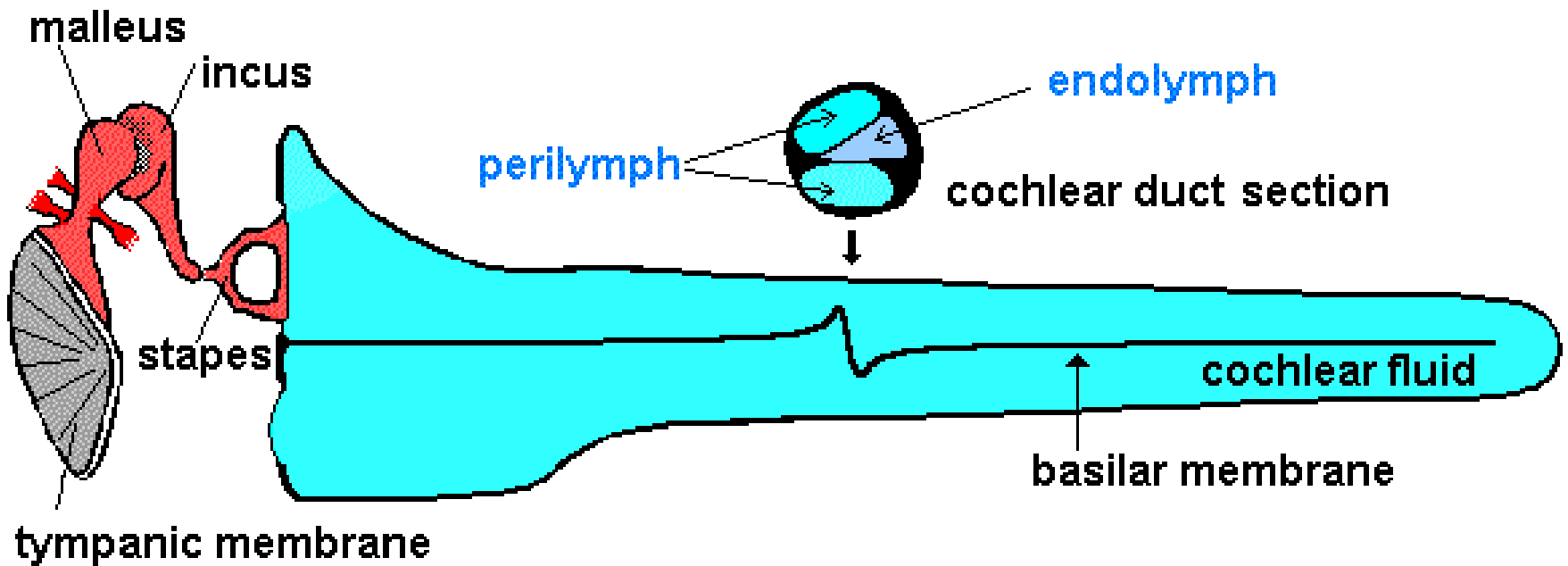
# Wellenausbreitung an Hindernissen

## Reflexion und Brechung

Wenn eine Welle auf eine Grenzfläche auftritt, die zwei Bereiche unterschiedlicher Wellengeschwindigkeit voneinander trennt, dann wird ein Teil der Welle reflektiert und der andere durchgelassen.

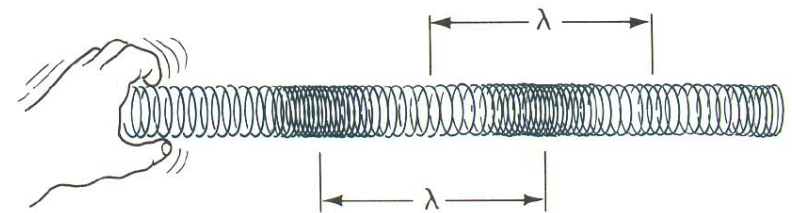


# Schallwellen



Unter Schallwellen versteht man Dichte- und/oder Druckschwankungen, die sich in Materie (nicht im Vakuum!) ausbreiten.

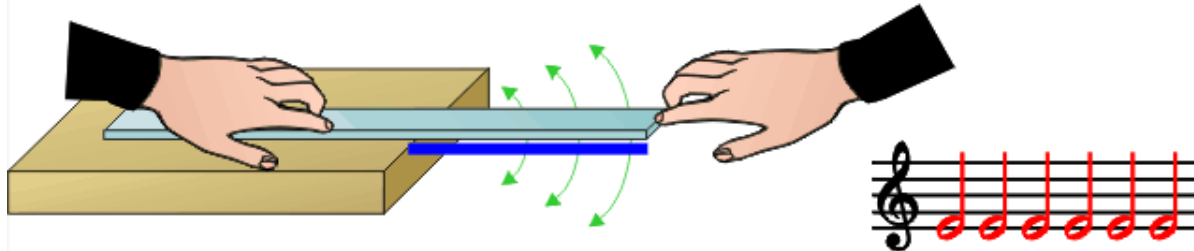
Unser Ohr kann Schallwellen im Bereich von **16 (20) – 20000 (16000) Hz** wahrnehmen.



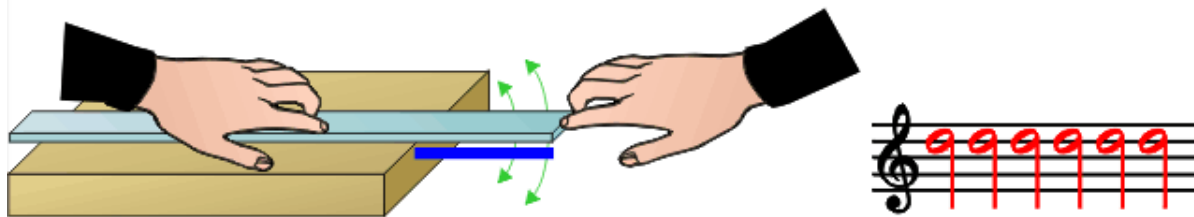
Schallwellen transportieren natürlich auch Energie (das Trommelfell wird ja ausgelenkt und dafür braucht man Energie)



Mit einem Lineal kann man Schall machen.



große Länge → langsame Schwingungen → tiefer Ton



kleine Länge → schnelle Schwingungen → hoher Ton

Frequenz  $f$  = Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit

Beispiel: 50 Schwingungen pro Sekunde = 50 Hz

hörbarer Bereich  
ca 20 Hz bis 20 000 Hz  
für einen jungen Menschen



50 Hertz

Heinrich Hertz  
(deutscher Physiker)  
1857 - 1894

**Es gilt immer**

$$c = \lambda \cdot f$$

**Schallgeschwindigkeit [m/s]**

**0** (Vakuum)

**331** (Luft)

**1480** (H<sub>2</sub>O)

**3360** (Knochen)

**5000** (Aluminium)

## 3. Ultraschall Leber

## Untersuchung der Leber,

### Gallenblase und Oberbauch 2

Homogene Leber, glatte Kontur. Gallenblase mit echogenen Konkrementen.  
Gallenwege nicht erweitert. Pfortader normal weit. Unauffällige Aorta.

### Abkürzungen:

Gb = Gallenblase

VP = V. portae

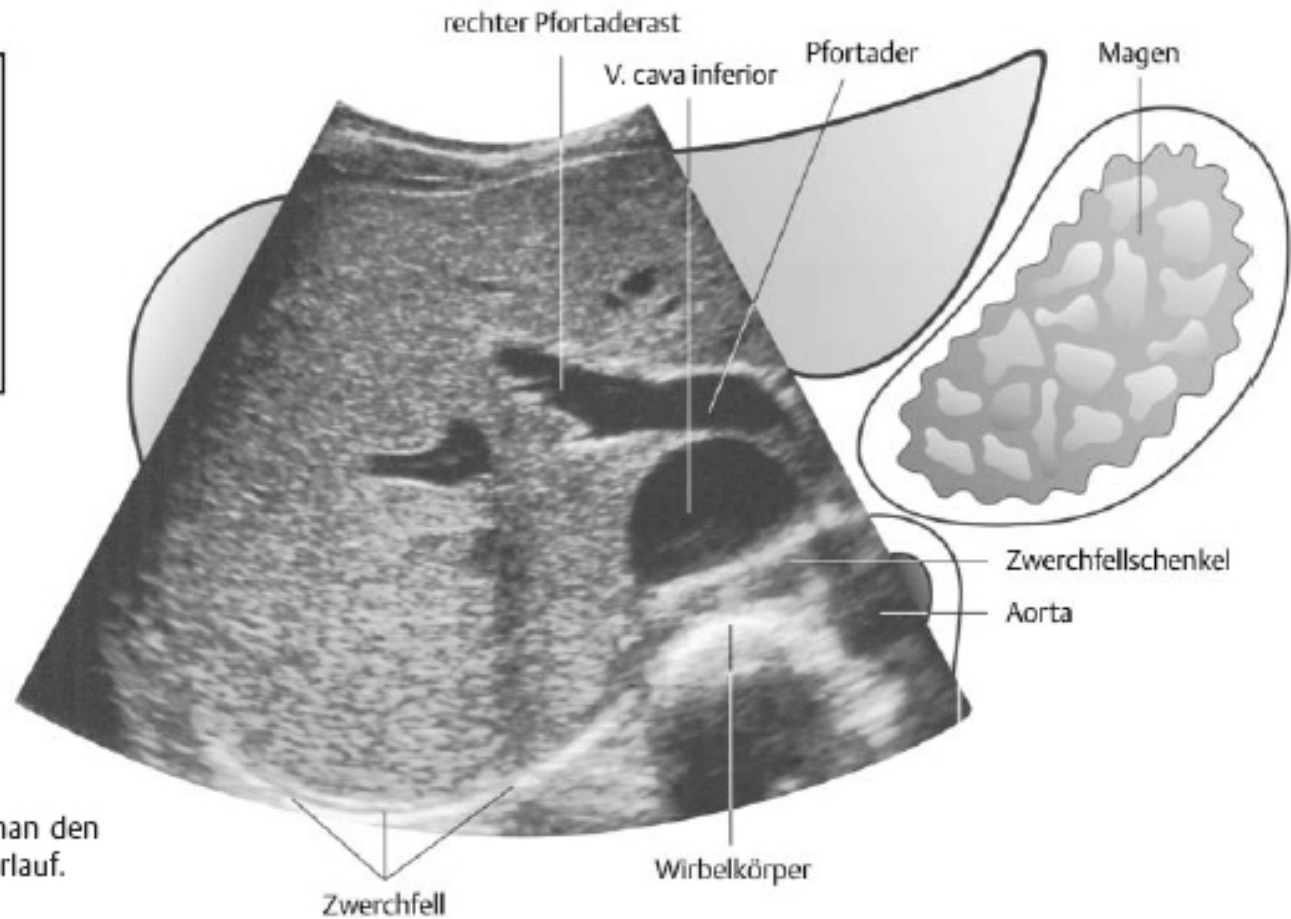
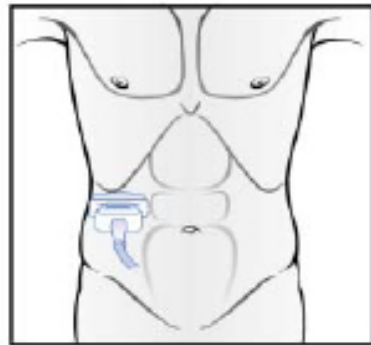
AO = Aorta



aus Thieme  
Kursbuch Ultraschall

# Untersuchung der Leber

## ⊙ B-1.15 Lateraler Schrägschnitt am Rippenbogen („Rippenbogenrandschnitt“)



**b** In mittlerer Höhe sieht man den rechten Pfortaderast im Verlauf.

# Pfortaderthrombose

SIEMENS

Albertinen KH HH 2.M.  
09.10.07 01.03.06  
MI 0.1



CX5-2/3.6  
Abd-std  
100%  
20dB 204  
16.0cm 488/s

Calina  
0:03:33

Parasitäre Erkrankung mit Cystenmembran,  
Tochtercysten u. kl. Verkalkungen in der Cystenwand  
(Echinococcus granulosus)



## 4. Einführung Ultraschall



# Definition Ultraschall

Schallwellen, deren Frequenz über der Frequenz der menschlichen Hörschwelle liegt, werden als Ultraschall bezeichnet.



# Was ist Ultraschall ?

Mechanische Longitudinalwelle

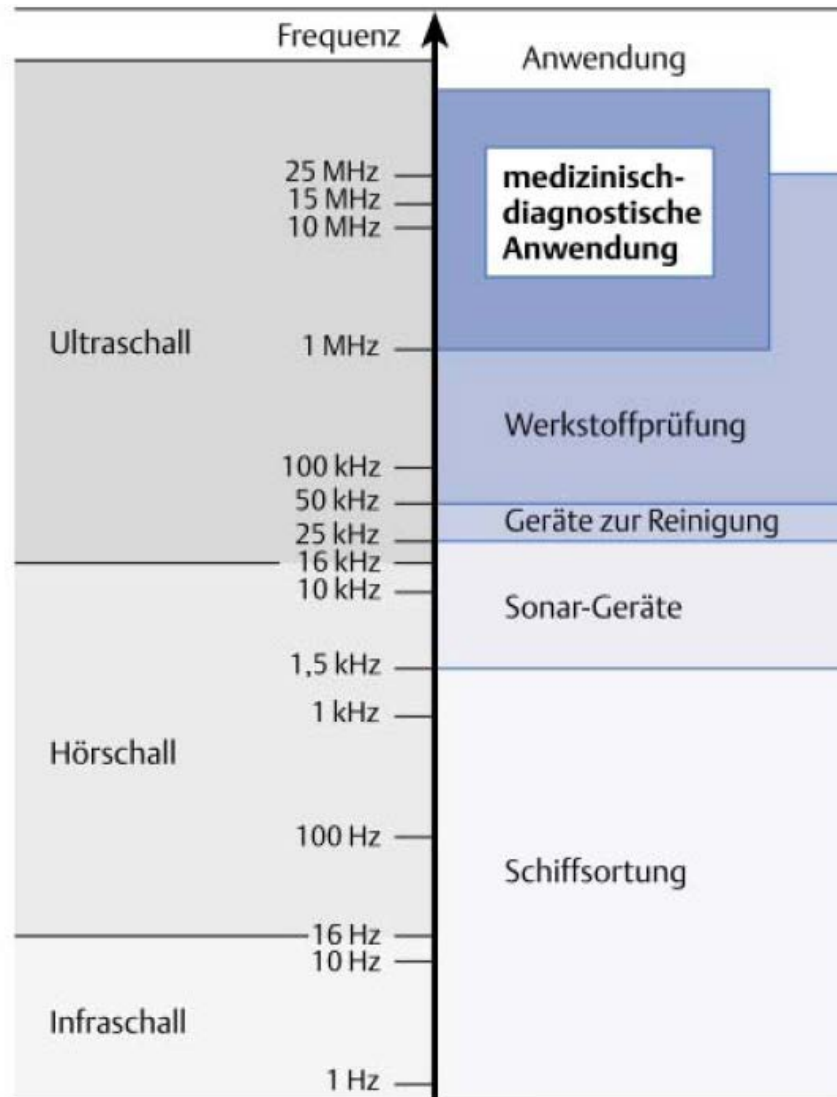
→ Erzeugt Wechseldruck



Bereich oberhalb der Hörschwelle

- hörbarer Bereich 16 (20) Hz – 16 (20) kHz
- Ultraschall 20 kHz – 100 MHz
- Anwendung in Medizin: 1 – 50 MHz

Anwendung in Medizin: 1 – 50 MHz



# Ausbreitungsgeschwindigkeiten im Gewebe

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls ist umso höher, desto unelastischer die Materialien miteinander verbunden sind.

Gewebe	Luft	Wasser	Muskel	Fett	Leber	Niere	Milz	Knochen
c (m/s)	331	1496	1568	1476	1570	1560	1565	3360
	Gas	1480	Flüssigkeit			Festkörper		

Das Diagramm zeigt drei Boxen, die die Schallausbreitung in verschiedenen Medien veranschaulichen. Die linke Box zeigt 'Luft' mit vier weit voneinander entfernten blauen Kugeln. Die mittlere Box zeigt 'Weichteilgewebe' mit einer dichteren Packung von blauen Kugeln. Die rechte Box zeigt 'Knochen' mit einer sehr dichten, fast ununterbrochenen Packung von blauen Kugeln. Eine horizontale Linie befindet sich unter den Boxen.

Aluminium  
5000

# Zusammenfassung 1

**Schallwellen:** Longitudinale Wellen (Welle entlang der Ausbreitungsrichtung)

**Wellenlänge:** Abstand zwischen zwei benachbarten Stellen gleichen Schwingungszustandes

**Frequenz:** Anzahl der Schwingungen pro Sekunde  
(Einheit Hz = 1/s)

**Schallgeschwindigkeit:**  $c = \lambda \cdot f$   
(Luft 331 m/s, Wasser 1480 m/s,  
Muskeln 1568 m/s, Knochen 3360 m/s)

Hörbarer Schall: 16 Hz – 20 kHz

Ultraschall: 20kHz – 100 Mhz

Anwendung in Medizin: 1 MHz – 50 MHz (2 – 15 MHz)

## 5. Lebervenenstauung nach Rechtsherzinsuffizienz

## Lebervenenstauung nach Rechtsherzinsuffizienz



dargestellter Lebervenenstern; Lebervenen infolge Rechts-Herzinsuffizienz  
weit mit konsekutiver Leberstauung

# Dopplersonographie: Lebervenenstauung nach Rechtsherzinsuffizienz

04.09

4

0.63

CRS-2/1.8

Abd. 600

100%

2400

200

14.0cm, 98/8

TH1

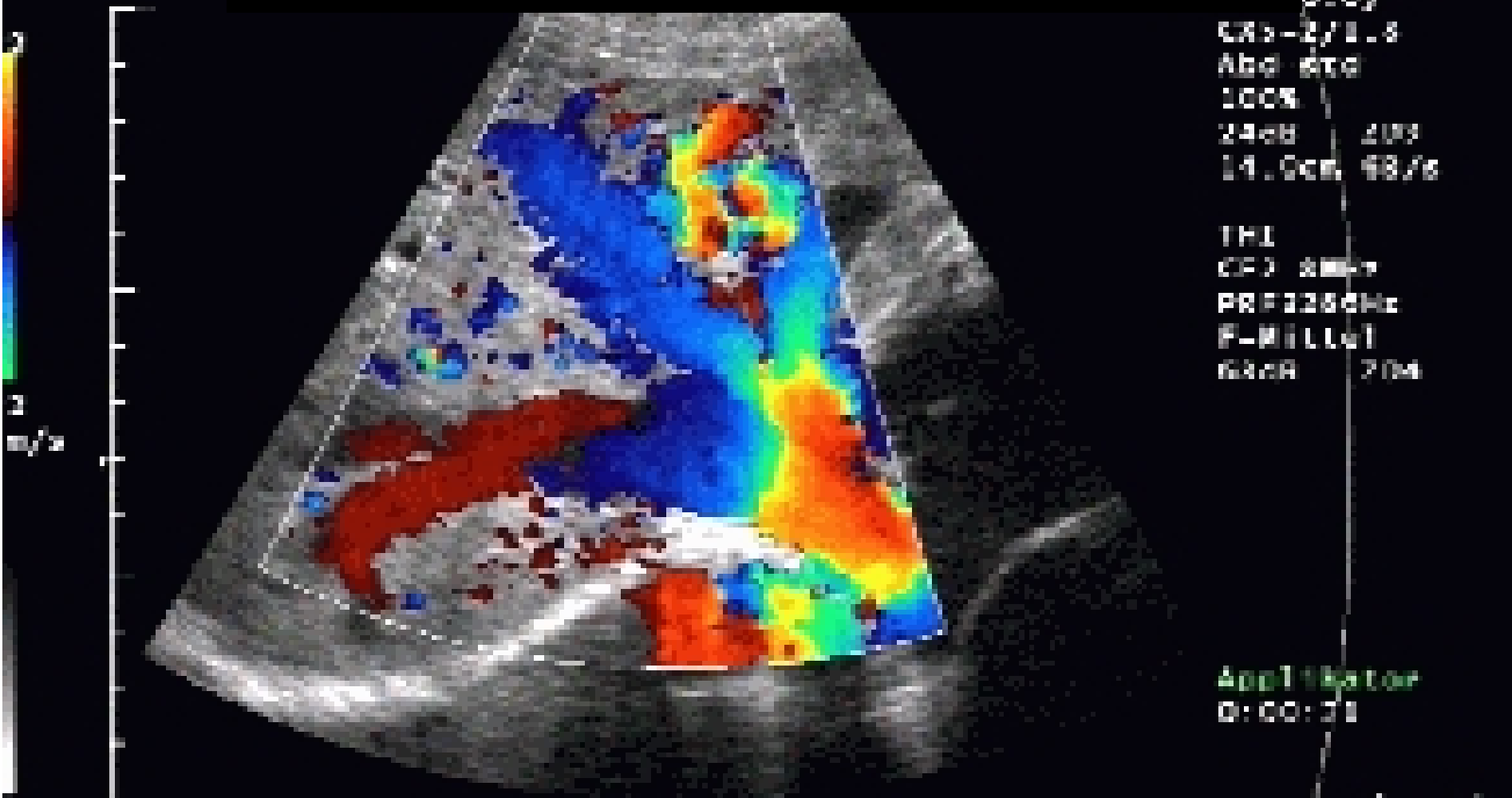
CFD 2MHz

PRF 220Hz

F-Mittel

63/68

70cm



Applikator

0:00:21

dargestellter Lebervenenstern im Dopplermode; Lebervenen infolge  
Rechts-Herzinsuffizienz weit mit konsekutiver Leberstauung





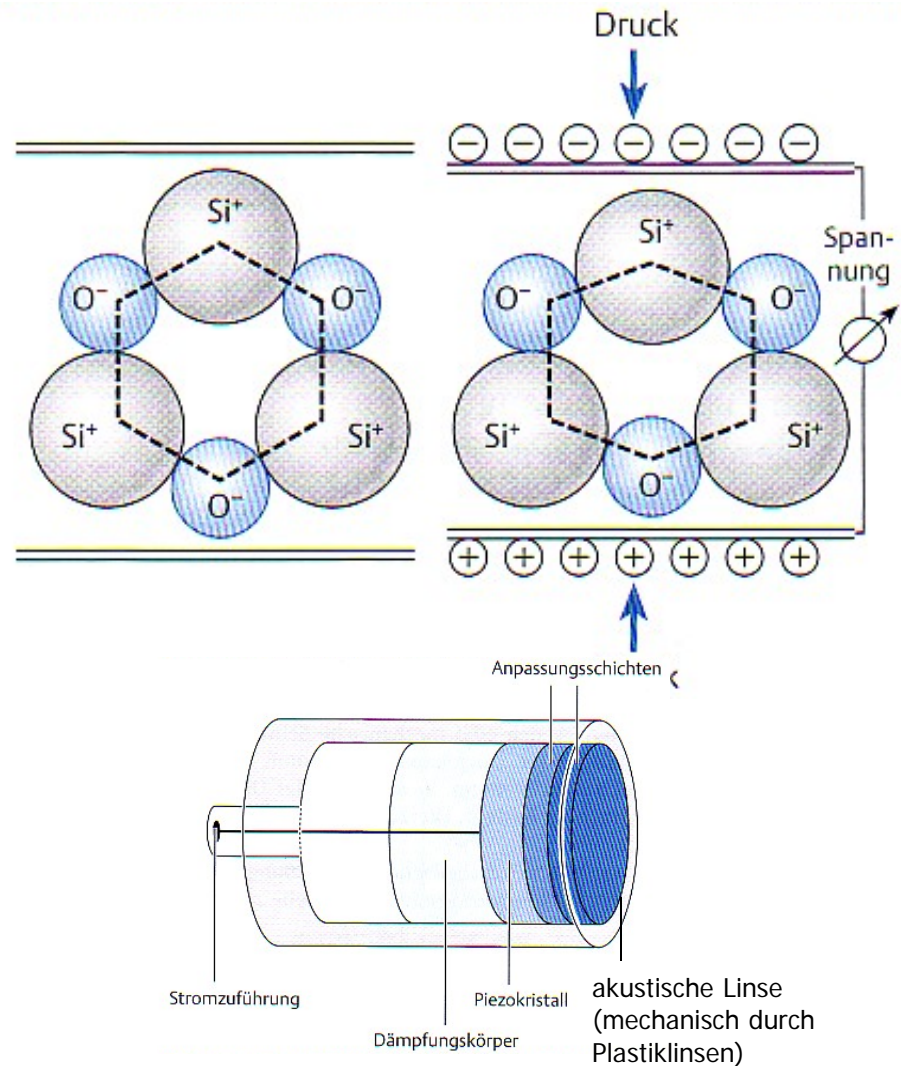
## 6. Ultraschallerzeugung und Detektion (Piezoelektrischer Effekt und Puls-Echo-Verfahren)

# Wie wird Ultraschall erzeugt und detektiert ?

- Piezoelektrischer Effekt polarer Kristalle
- Anlegen von Wechselspannung erzeugt periodische Verformung  
→ Ultraschallwellen

Auffangen genau umgekehrt

- Ultraschallsender:  
Keramik, die an Vorder- und Rückseite elektrischen Kontakte besitzt



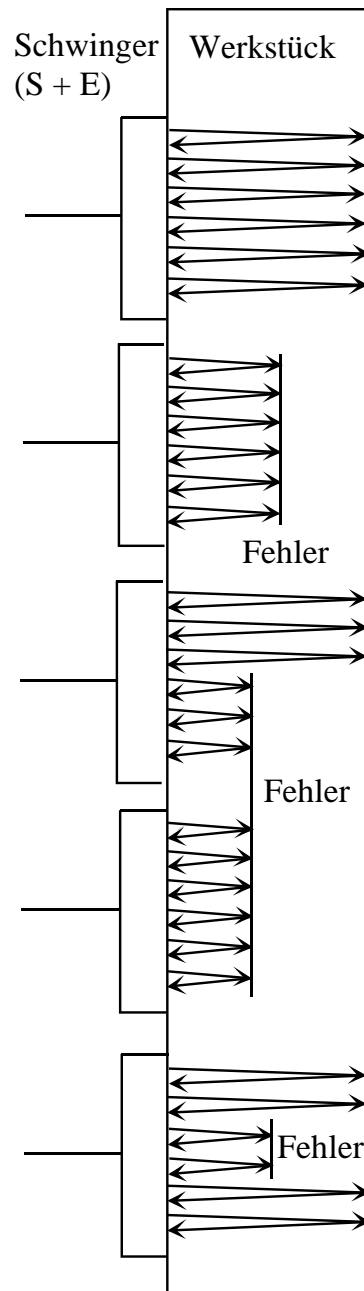
# Impuls-Echo-Verfahren

Eine Ultraschallwelle wird an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien zum Teil durchgelassen und zum Teil reflektiert, wenn eine Veränderung des Schallwellenwiderstandes (Impedanz) vorliegt, wie es z.B. bei einer Fehlerstelle im Material oder beim Gewebeübergang im menschlichen Körper in der Regel der Fall ist.

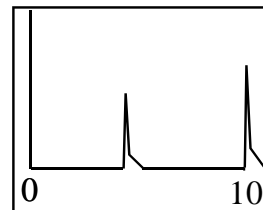
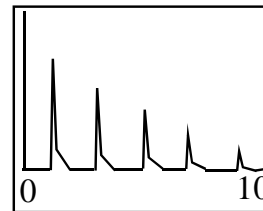
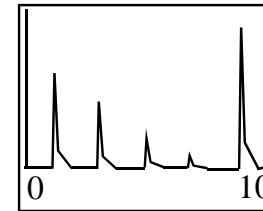
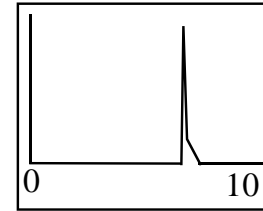
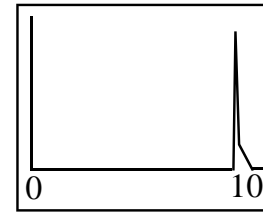
Beim **Impuls-Echo-Verfahren** bzw. **Impuls-Reflexionsverfahren** wird der reflektierte Schallanteil als Signal verwendet. Ein piezoelektrischer Schwinger arbeitet sowohl als Sender als auch als Empfänger, d.h. ein äußerst kurzzeitiger elektrischer Impuls ruft eine Ultraschallwelle hervor.

Gleich anschließend, noch während die Wellenausbreitung noch stattfindet, ist der gleiche Schwinger empfangsbereit (1% der Zeit Sendung von Signalen, 99% Empfang). Die Schallwelle läuft in das Gewebe hinein, bis infolge einer Grenzfläche eine teilweise oder völlige Reflexion stattfindet.

Liegt die Grenzfläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der einfallenden Schallwelle, so wird die Schallwelle in ihre ursprüngliche Richtung zurückgeworfen und erreicht nach einer gewissen Laufzeit, die von der Schallgeschwindigkeit und der Entfernung Schwinger - reflektierende Fläche abhängig ist, wieder den Schwinger und wird dort in einen elektrischen Impuls zurückverwandelt. In der nachfolgenden Abbildung ist das Impuls-Echo-Verfahren schematisch dargestellt.



Bildschirmanzeige



Impuls-Echo-Verfahren (schematisch)

# Was wird gemessen ?

Bild: Informationen über Lage und Echointensität

A-Bild: amplitudenmodulierte Darstellung  
eindimensional aufgefangen

B-Bild: helligkeitsmoduliert dargestellt  
zweidimensional aufgefangen  
(Jedes Gewebe hat eine typische Textur)

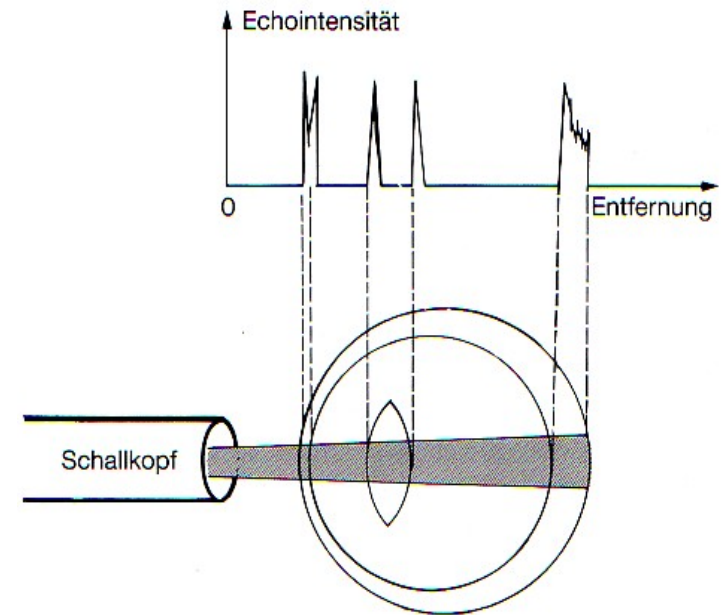
$$R = \frac{I_{\text{refl}}}{I_{\text{ein}}} = \frac{A_{\text{refl}}^2}{A_{\text{ein}}^2} = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

R = Reflexionsgrad (-vermögen)

I = Intensität

A = Amplitude

Z = Impedanz (Schallwellenwiderstand) = Dichte • Schallgeschwindigkeit (im Gewebe)



Empfangssignale werden in der Regel linear verstärkt, da die Amplituden sich mit der Eindringtiefe verändern

# Reflexion und Transmission von Ultraschall

## Akustische Impedanz:

Die **Schallimpedanz** (Schallwellenwiderstand oder Schalleitfähigkeit) **Z** ist definiert als das Produkt aus Dichte und Schallgeschwindigkeit:  **$Z = \rho \times c$**

Der Anteil der reflektierten Intensität ist umso größer,  
je mehr sich die Impedanzen der aneinandergrenzenden  
Medien unterscheiden

## Schallgeschwindigkeit und Schallimpedanz

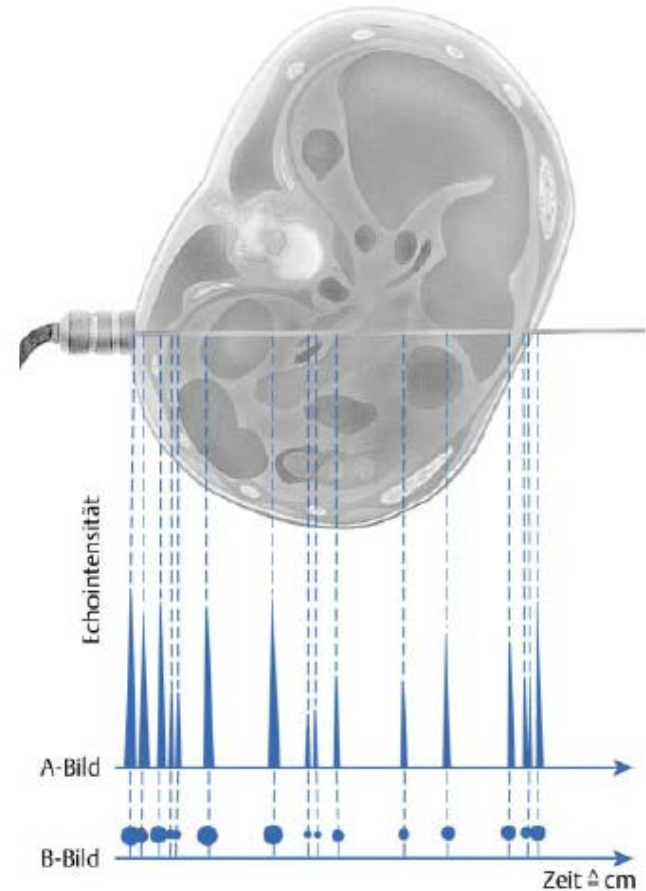
Substanz	Schallgeschwindigkeit m/s	Schallimpedanz $\text{N s/m}^3 = \text{kg}/(\text{sm}^2)$
Luft	331	413
Fett	1468	1.380.000
Wasser (20 Grad)	1480	1.480.000
Wasser (37 Grad)	1526	1.526.000
Blut	1562	1.600.000
Leber	1559	1.650.000
Muskeln	1590	1.670.000
Knochen	3360 - 4040	6.660.000 – 7.680.000
Stahl	7500	45.000.000

Schallköpfe werden mittels eines Gels an die Haut angepasst. Das dient der Impedanzanpassung und Vermeidung von Luft zwischen Schallkopf und Haut.

International gültiger Mittelwert für die Schallausbreitung im Gewebe: 1540 m/s

## A-Mode (A= Amplitude)

- Aussendung eines kurzen Ultraschallimpulses und Empfang des reflektierenden Echos (Verhältnis 0,1% : 99,9%)
- Tiefenberechnung anhand von Zeit und bekannter Schallgeschwindigkeit
- Rückschlüsse auf Impedanz aus Stärke des Echos
- Intensität (Amplitude) der Echos wird auf Zeitachse dargestellt (**A-Bild**)
- Bei konstanter Schallgeschwindigkeit entspricht Zeitachse der Tiefenachse
- früher Standardmethode, aber: viel räumliches Vorstellungsvermögen erforderlich
- heute nur noch bei Echoenzephalographie verwendet
- Momentaufnahme der Echointensitätsverteilung entlang des Schallstrahls





## B-Mode (B= Brightness)

- Helligkeitsverteilung entlang des Schallbildes auf Monitor
  - Zuordnung eines Grauwerts zu jedem Amplitudenwert
  - 0=schwarz, 100=weiß
- Momentaufnahme der Helligkeitsverteilung entlang des Schallstrahls

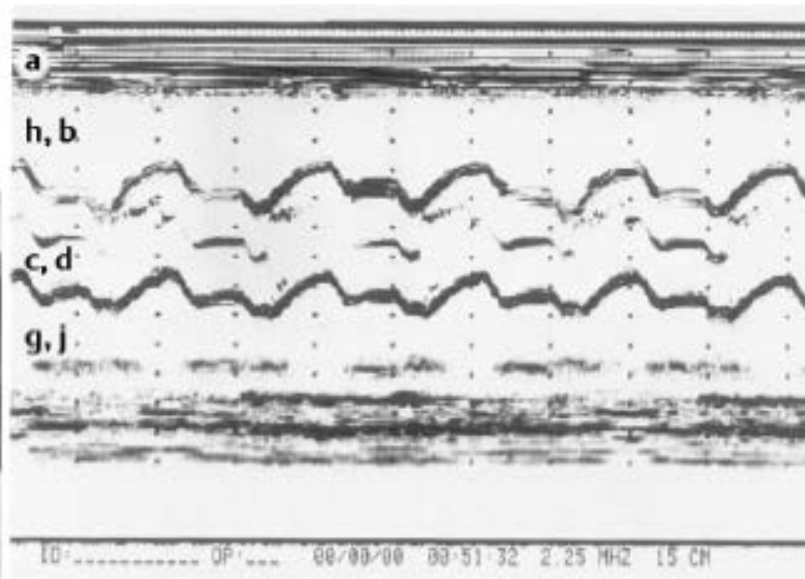
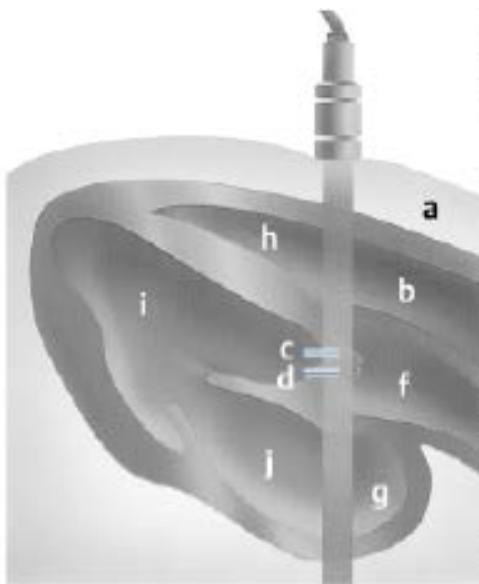
Früher: compound-Technik  
1 Sender, 1 Empfänger

Heute: Schallköpfe mit 64-1024 Piezokristallen  
Parallele 2D Messung



## M-Mode (M=Motion)

- Intensität des Echos entlang des Schallstrahls in Grauwerte umgewandelt und im zeitlichen Verlauf erfasst
- Gut für Darstellung von schnellen Bewegungen z.B. in der Kardiologie

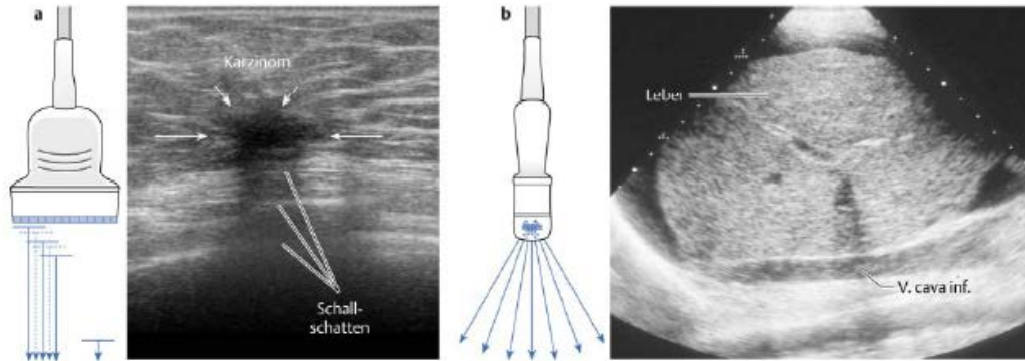


- a = Brustwand
- b = Tr. pulmonalis
- c, d = Aortenklappe
- f = Aorta ascendens
- g = linker Vorhof
- h = rechter Ventrikel
- i = linker Ventrikel
- j = geöffnete Mitralklappe

Der M-Mode zeigt die zeitliche Veränderung eines B-Bildes. Er eignet sich sehr gut zur Darstellung von schnellen Bewegungen, z. B. Herzklappenbewegungen. Starke Echos sind hier schwarz dargestellt.

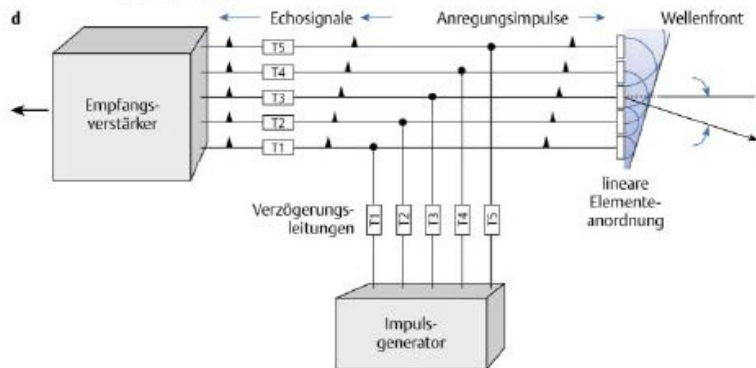
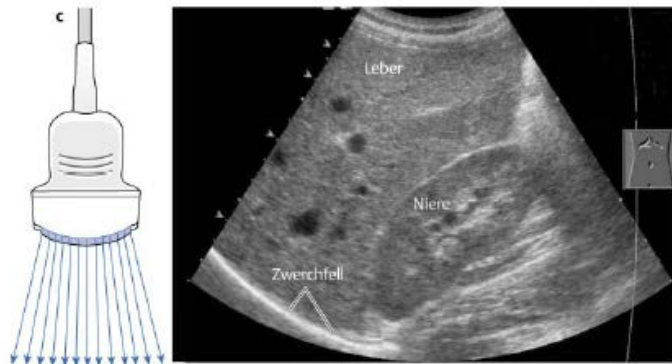
# Schallkopftypen

Linearschallkopf:  
Parallele Schallwellen  
Hohe Auflösung,  
Oberflächliche Strukturen



Sektorschallkopf für  
ferne Strukturen

Konvexschallkopf  
Mischung aus Linear, und  
Sektorschallkopf



Phased-array-Schallkopf  
Einzelne Elemente senden und  
empfangen zeitversetzt.  
Dadurch schnellere Bildgebung  
(z.B. dynamischer Herz-US)

aus Thieme, Duale Reihe Sonographie

Stabschallkopfsonden für „endoskopische“ Untersuchungen

# Zusammenfassung 2

**Piezoelektrischer Effekt:** Umwandlung zwischen Spannung und Schwingung polarer Kristalle

**Impuls-Echo-Verfahren:** Ultraschallkopf sendet kurze Impulse bestimmter Frequenz, misst Echos (Reflexion)

**Schallimpedanz:** Unterschiede der Schallimpedanz zwischen Geweben sind verantwortlich für Reflexionsgrad

$Z(\text{Luft}) \lll Z(\text{Wasser}) < Z(\text{Organe, Gewebe}) < Z(\text{Muskel}) \lll Z(\text{Knochen})$

A-Mode: Amplitudendarstellung (nur noch sehr selten verwendet)

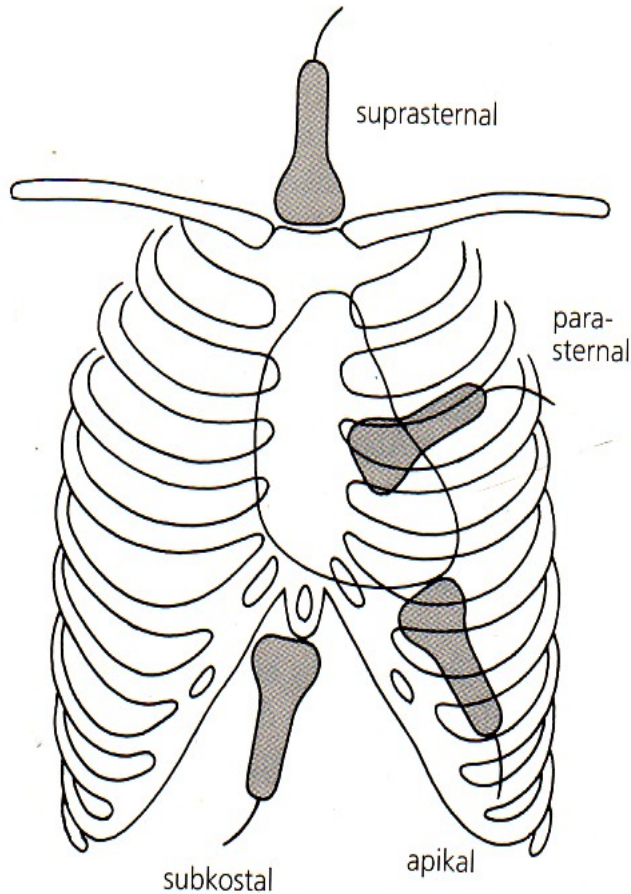
B-Mode: Brightness-Mode, Amplituden werden als Grauwerte dargestellt  
Echoarm (schwarz)-Echoreich (weiss)

M-Mode: Motion-Mode (Intensität entlang des Strahls wird in Grauwerten im zeitlichen Verlauf erfasst (z.B. in der Kardiologie))

Schallkopftypen:	1. Linear:	hohe Auflösung
	2. Sektor:	Überblick, „ferne“ Strukturen
	3. Konvex:	Mischung aus beiden

## 7. Anwendung am Herz

# Untersuchungsmethoden



Parasternal: lange Achse: M-Mode (+ allgemein)

kurze Achse: Mitralklappenebene

Papillarmuskelebene

Apikal: 4- Kammerblick (5- Kammerblick)

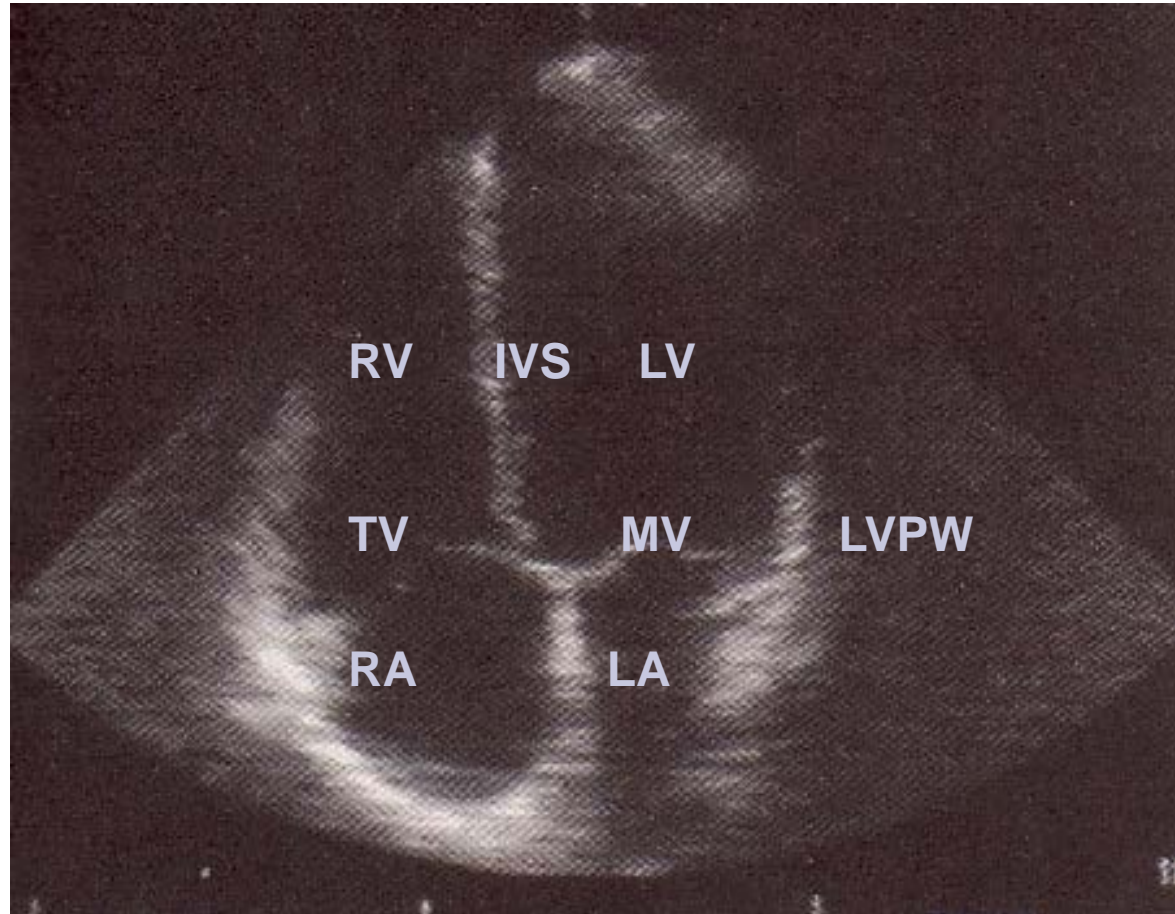
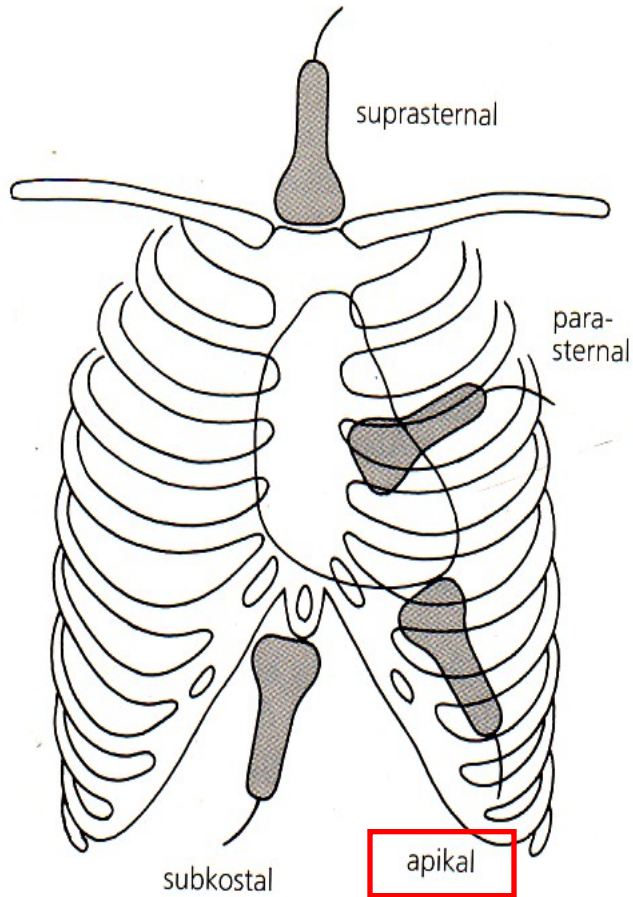
2- Kammerblick

Subcostal: 4- Kammerblick

Suprastenal: Aortenbogen



## Beispiel: Apikale Ableitung am Herz



Dopplerechuntersuchungen der AV-Klappen werden z.B. mit apikalen Ableitung gemacht

# 8. Auflösung

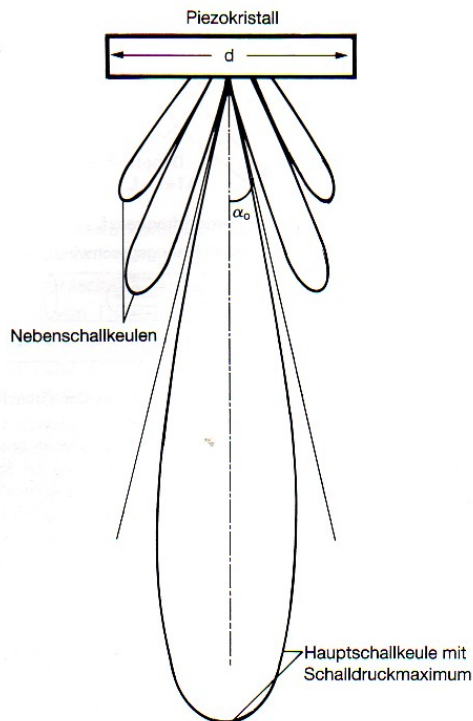


# Auflösung

Die Auflösung kann maximal so gut sein wie die halbe Wellenlänge  
**(aber siehe Nobelpreis Chemie 2014)**

Beim Ultraschall ist die Auflösung in axialer Richtung etwa 1 mm

Beim Ultraschall ist die Auflösung in lateraler Richtung etwa 2 mm



Laterale Auflösung:  $\sim 2\text{mm}$

schmälerer Hauptschallkeule  $\rightarrow$  bessere Auflösung

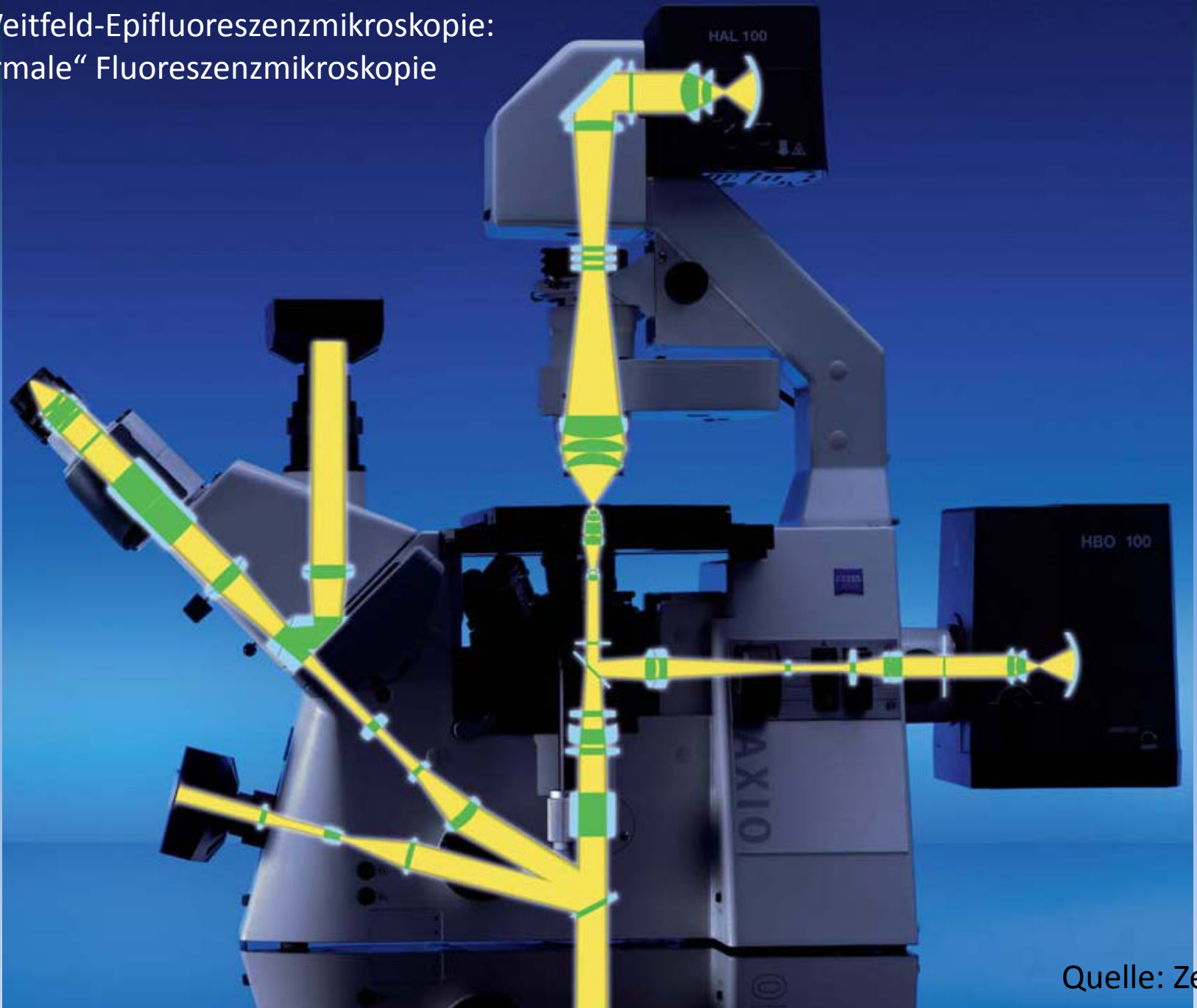
(durch Frequenzerhöhung und großer Sendekristall)

Problem:

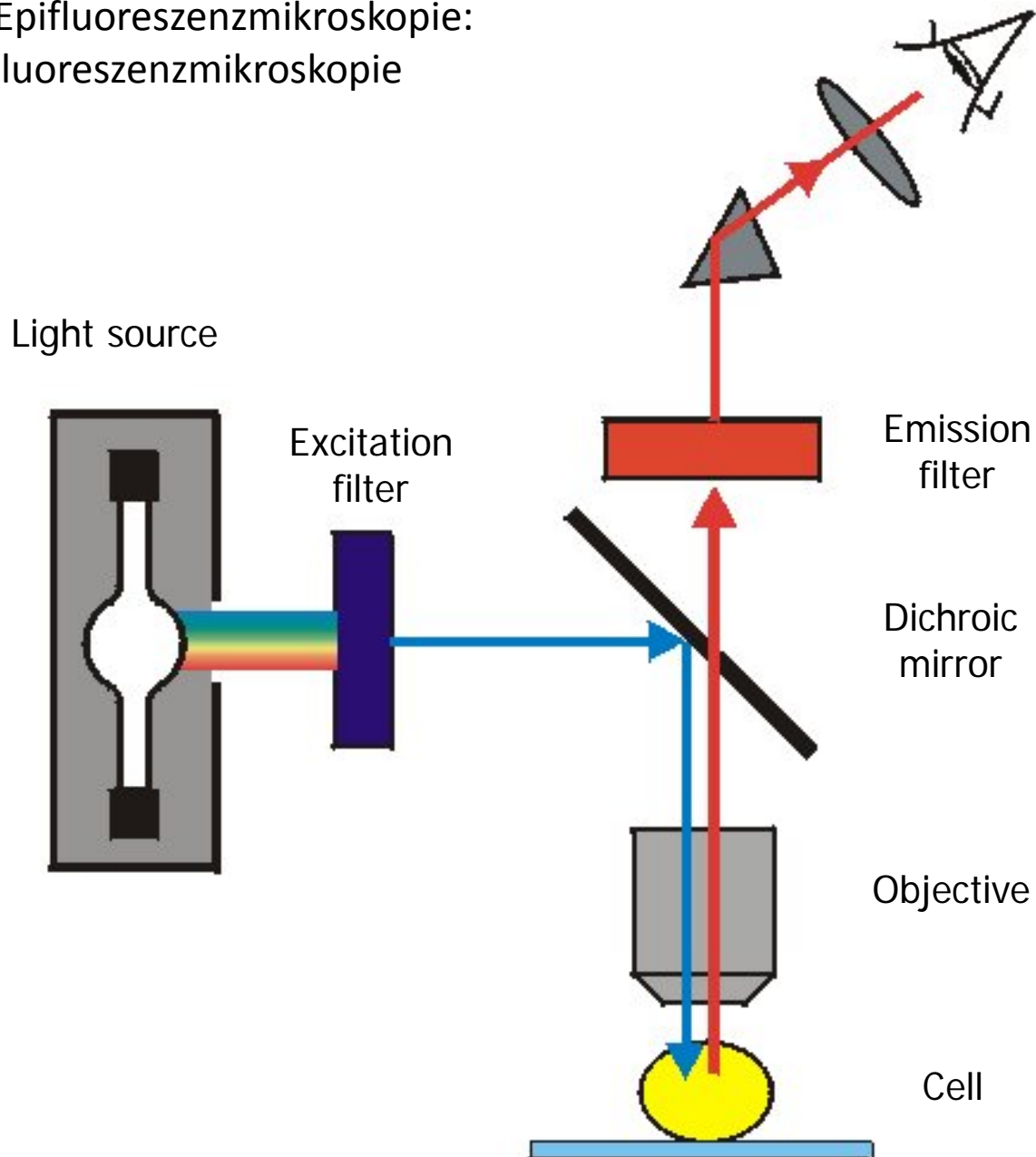
Kleine Metastasen können schnell übersehen werden, insbesondere, wenn sie weder besonders echoreich noch besonders echoarm sind.

Falls anatomisch möglich, sollte man deshalb wegen der besseren axialen Auflösung zwei aufeinander senkrecht stehende Messungen vornehmen.

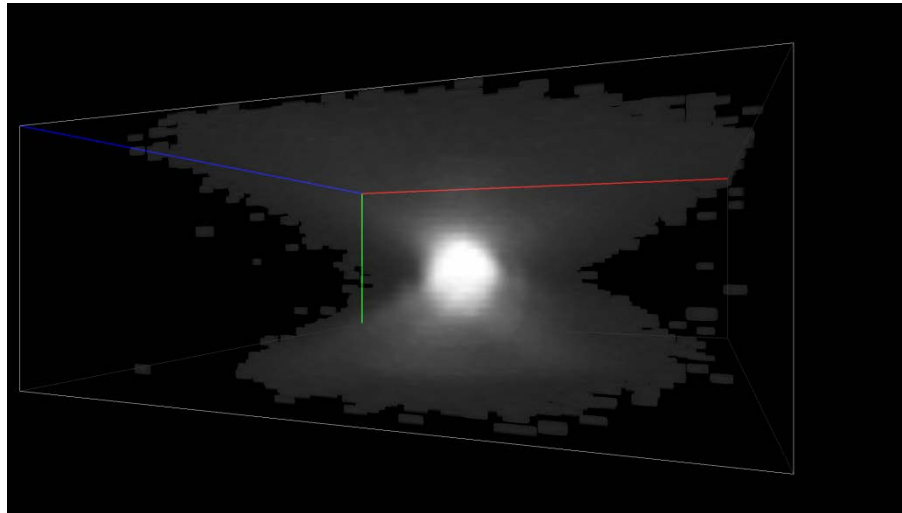
1. Weitfeld-Epifluoreszenzmikroskopie:  
„normale“ Fluoreszenzmikroskopie



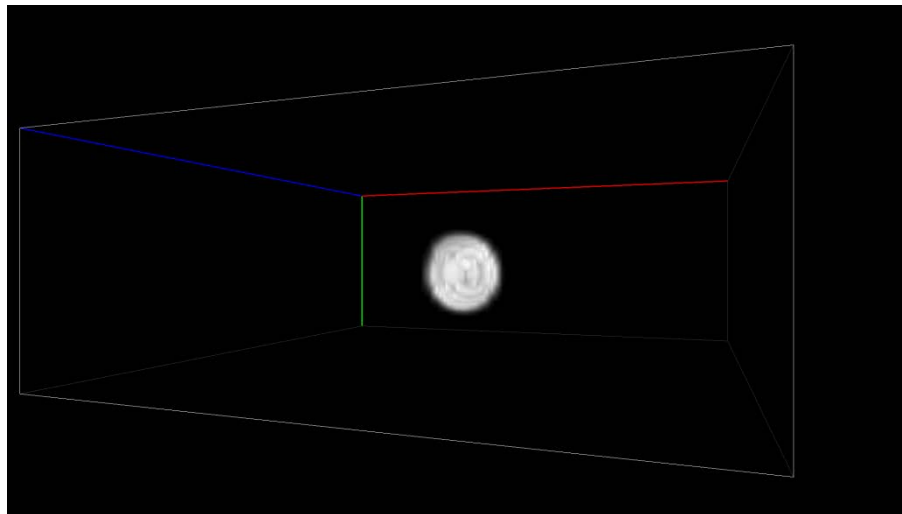
# 1. Weitfeld-Epifluoreszenzmikroskopie: „normale“ Fluoreszenzmikroskopie



### 3. Weitfeld-Epifluoreszenzmikroskopie mit Dekonvolution (mathematische Rückrechnung)



Fluoreszierender Bead  
vor Dekonvolution



Fluoreszierender Bead  
nach Dekonvolution

# Hochauflösende Mikroskopie

Konventionelle Fluoreszenzmikroskopie ist in der Regel durch die Beugung des Lichts begrenzt, nach Ernst Abbé etwa auf die halbe Wellenlänge des anregenden Lichts, also im besten Fall auf 200 nm, wenn sichtbares Licht benutzt wird.

Elektronenmikroskopie hat eine deutlich bessere Auflösung, ist aber nur an fixierten Zellen möglich. Die folgenden drei Mikroskopieverfahren können die Auflösung um einen Faktor 2 – 10 verbessern, allerdings sind die langsam und derzeit nur unter bestimmten Bedingungen in kinetischen Experimenten in der Lebendzellmikroskopie anwendbar.

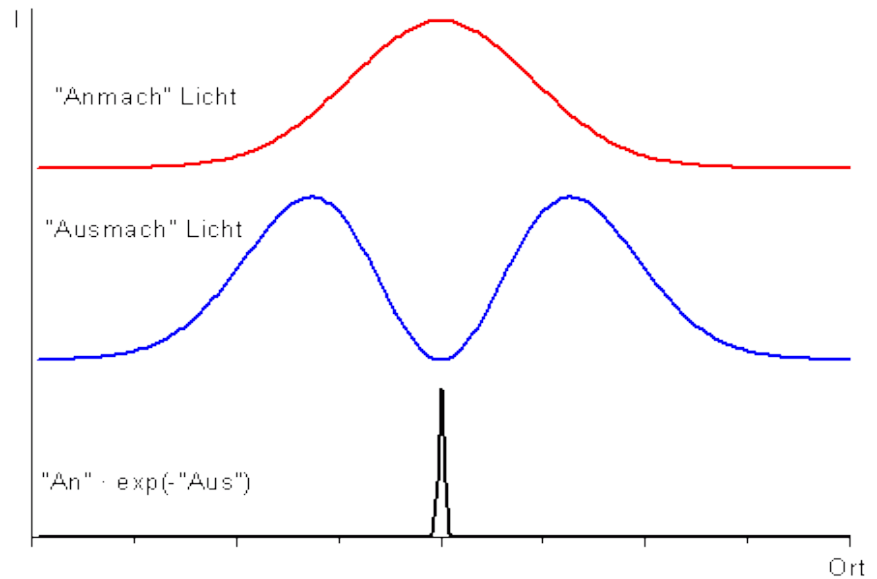
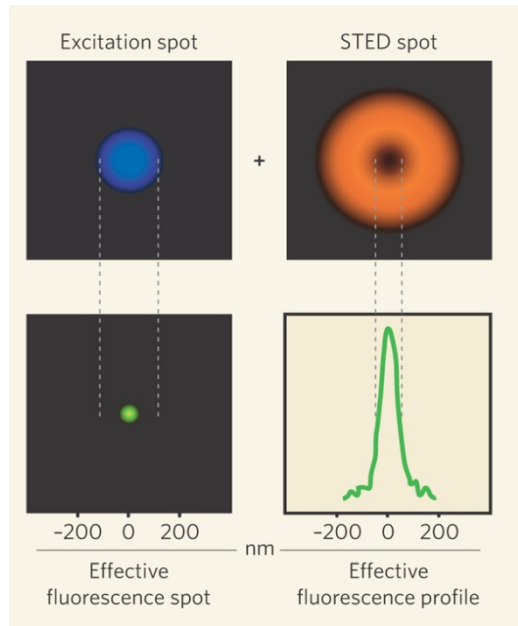
**STED: Stimulated Emission Depletion Mikroskopie**

SIM: Structured Illumination Microscopy

PALM: Photoactivated Localization Microscopy

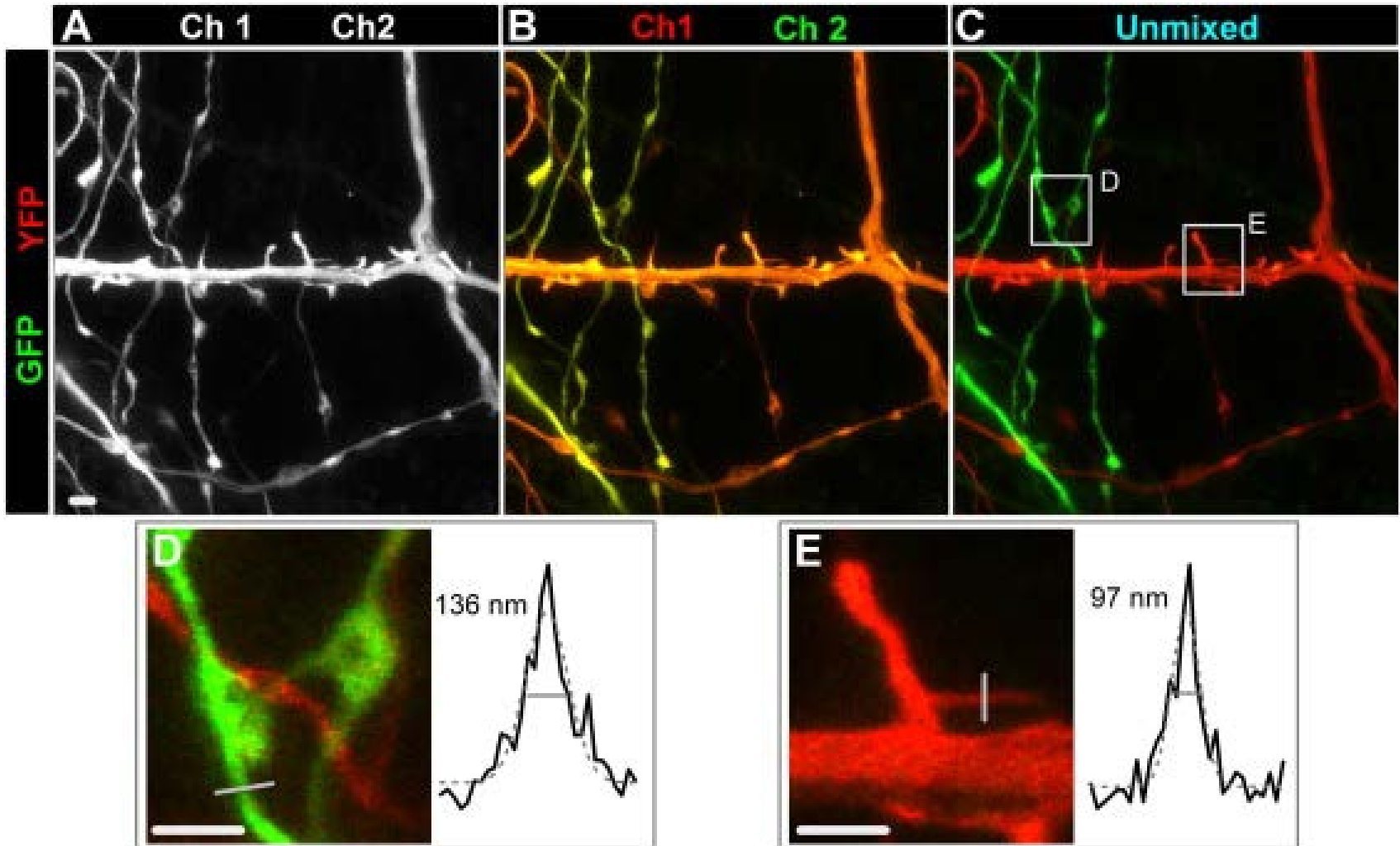
STORM: Sub diffractionlimit by stochastic optical reconstruction Mikroskopie

# 5. STED: Stimulated Emission Depletion Mikroskopie (Stefan Hell, MPI Göttingen)



# 5. STED: Stimulated Emission Depletion Mikroskopie

2 Farben STED in brain slices (GFP, YFP) von 2 unterschiedlichen Neuronen

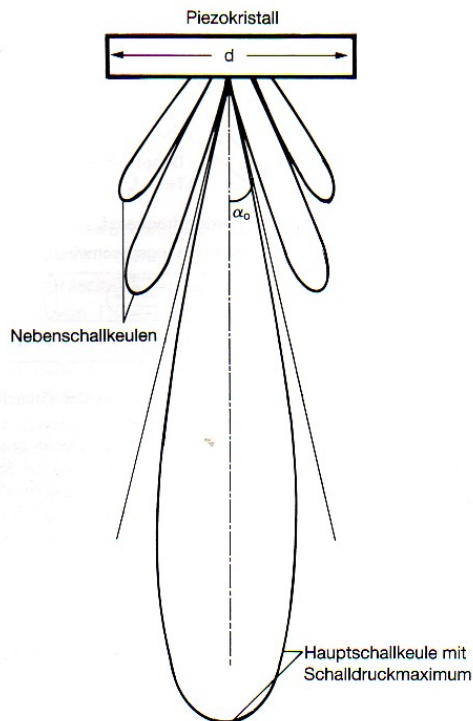


# Auflösung

Die Auflösung kann maximal so gut sein wie die halbe Wellenlänge  
**(aber siehe Nobelpreis Chemie 2014)**

Beim Ultraschall ist die Auflösung in axialer Richtung etwa 1 mm

Beim Ultraschall ist die Auflösung in lateraler Richtung etwa 2 mm



Laterale Auflösung:  $\sim 2\text{mm}$

schmälerer Hauptschallkeule  $\rightarrow$  bessere Auflösung

(durch Frequenzerhöhung und großer Sendekristall)

Problem:

Kleine Metastasen können schnell übersehen werden, insbesondere, wenn sie weder besonders echoreich noch besonders echoarm sind.

Falls anatomisch möglich, sollte man deshalb wegen der besseren axialen Auflösung zwei aufeinander senkrecht stehende Messungen vornehmen.



# Auflösung

**Es gilt:  $c = \lambda \cdot f$**

**$\lambda = c / f$  also z.B.  $\lambda = 1540 \text{ m/s} / 3,5 \text{ MHz}$**

**$\lambda = 0,44 \text{ mm}$**

**theoretisch beste Auflösung = halbe Wellenlänge = 0,22 mm**

Die Qualität der Ultraschalldiagnostik hängt von zwei Forderungen an Schallwelleneigenschaften ab:

1. möglichst hohes Auflösungsvermögen
2. ausreichende Eindringtiefe

kurze Schallwellen > hohes Auflösungsvermögen > geringe Eindringtiefe

lange Schallwellen > niedriges Auflösungsvermögen > hohe Eindringtiefe

Optimaler Wellenlängenbereich ist: 0,75 – 0,1 mm mit den dazugehörigen Frequenzen von 2 – 15 MHz.

<b>Frequenz:</b>	<b>15-2 MHz</b>
Wellenlänge (in Muskulatur):	0,1–0,75 mm
typische Eindringtiefe:	1,6–12 cm
typische Ortsauflösung lateral:	0,4–3,0 mm
typische Ortsauflösung axial:	0,15–0,8 mm

# 9. Linksherzhypertrophie

Video: Linkherzhypertrophie

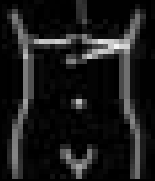
14



CXS-2/1.8  
Abd-std  
100%  
8dB 204  
14.0cm 158/s

THI

Text  
0:00:00



# 10. Nahfeld, Fernfeld, Fokus

# Schallfeldcharakteristik

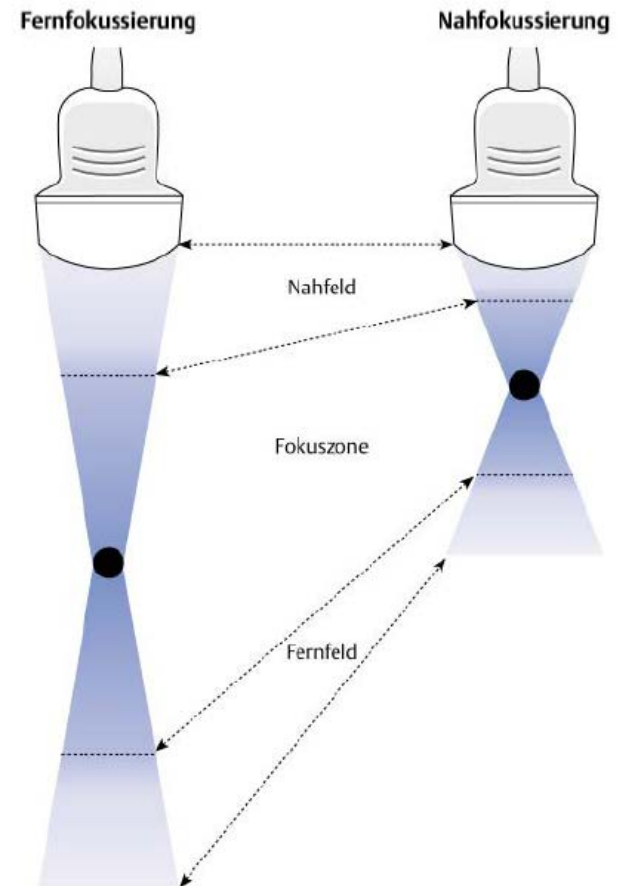
Ein möglichst kleiner Durchmesser des Schallstrahls ist erstrebenswert  
Fokussierung auf bestimmte Tiefe durch „Akustische Linse“ möglich

- Nahfeld:
  - Direkt am Schallkopf,
  - Schallwellen überlagern sich (Interferenz)

→ inhomogenes Schallfeld

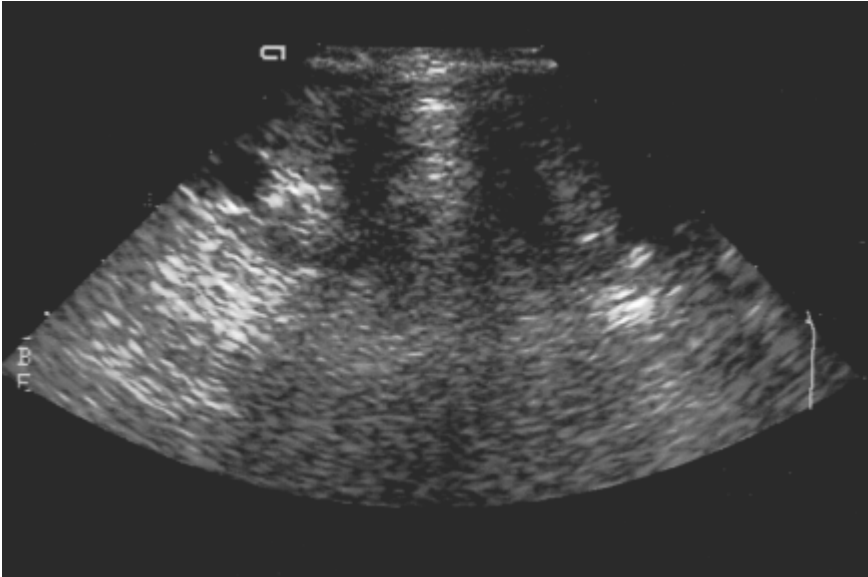
  - Ziel: Nahfeld möglichst klein halten

→ Vorlaufstrecke
- Fokuszone:
  - Details gut erkennbar
  - Zone in der untersucht wird
- Fernfeld:
  - Schallstrahl wird breiter, Schallintensität geringer
  - Beeinflusst Auflösung und Bildqualität negativ

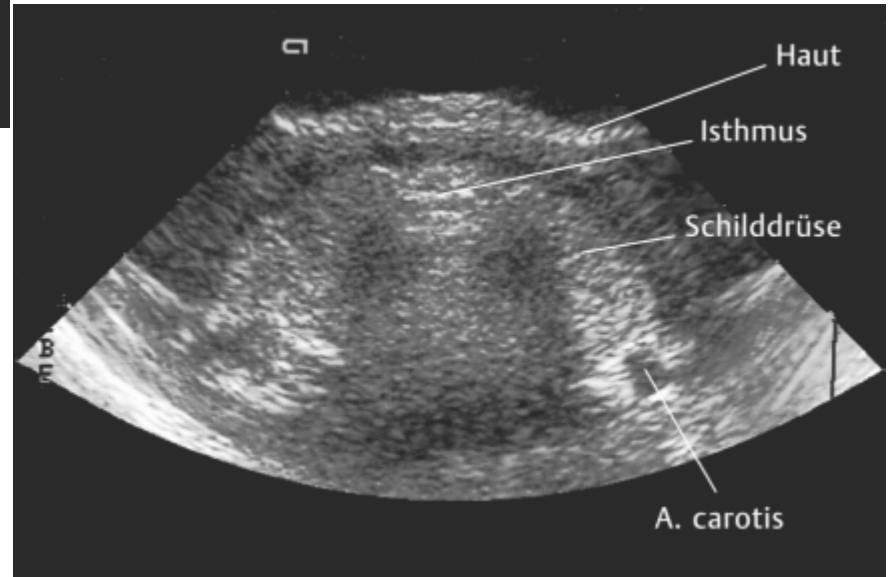


aus Thieme, Duale Reihe Sonographie

# Vorlaufstrecke mittels Wasserkissen

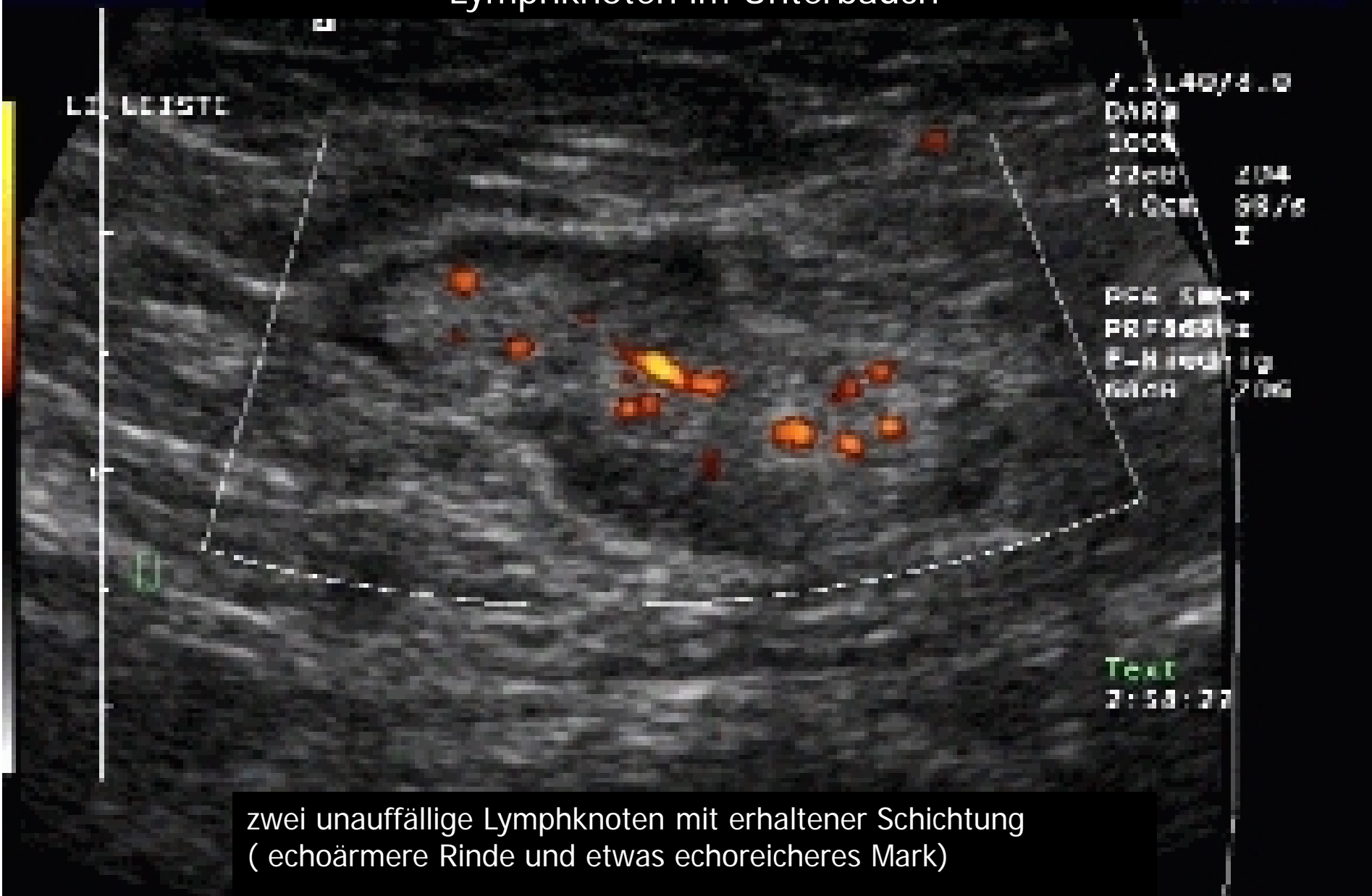


Nahfeld im Fokus



# 11. Lymphknoten

## Lymphknoten im Unterbauch





## Lymphknoten bei Carcinom

09.09

0.31

[TIS 0.5]

7.5L40/7.3

Schilddrüse

100%

14dB 204

5.0cm 125/s

PFS 5MHz

PFI102Hz

F-Mittel

70dB 208

TEXT

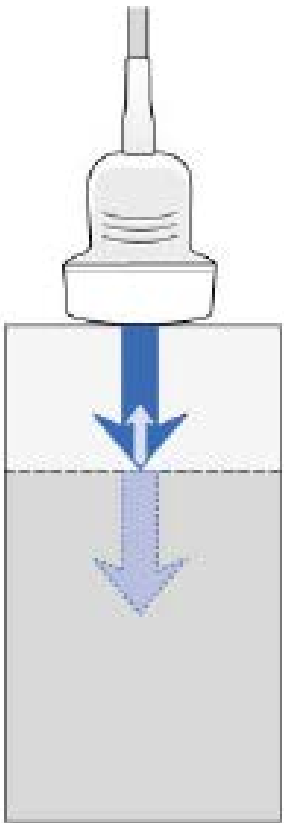
0:07:10

stark vascularisierter, echoarmer maligner Lymphknoten bei metastastasierendem Plattenepithel Carcinom

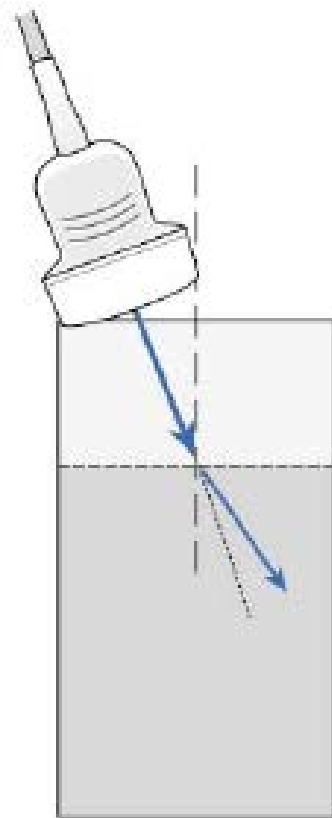
## 12. Schwächung im Gewebe

# Probleme der Ultraschallschwächung

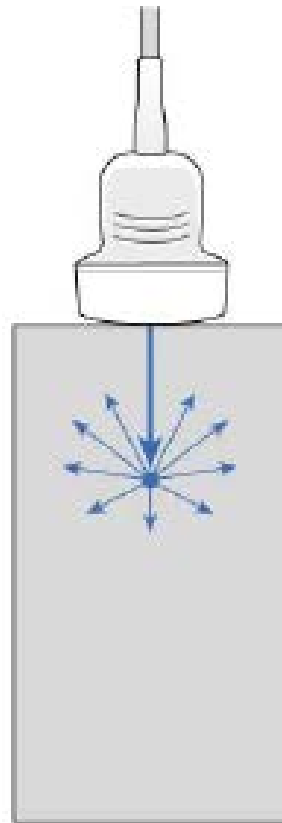
Reflexion



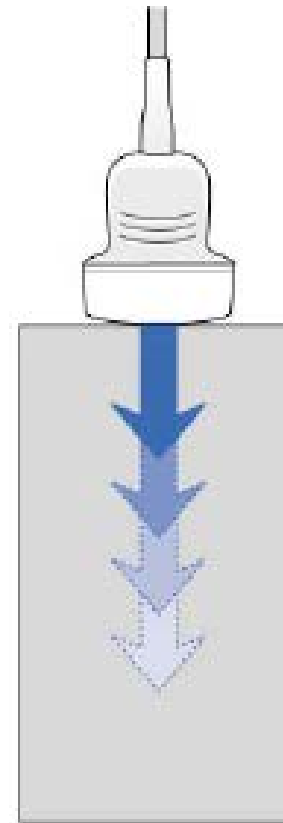
Brechung



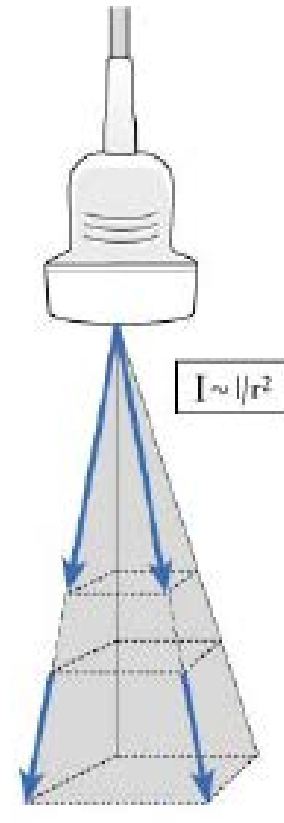
Streuung



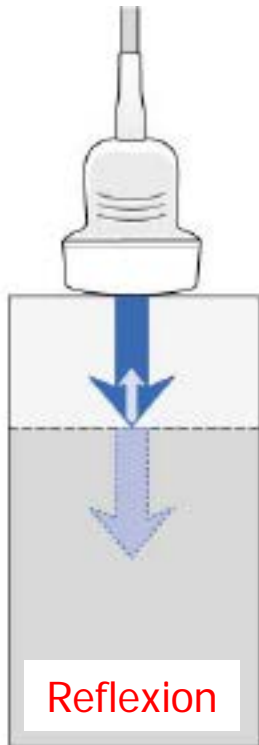
Absorption



Divergenz

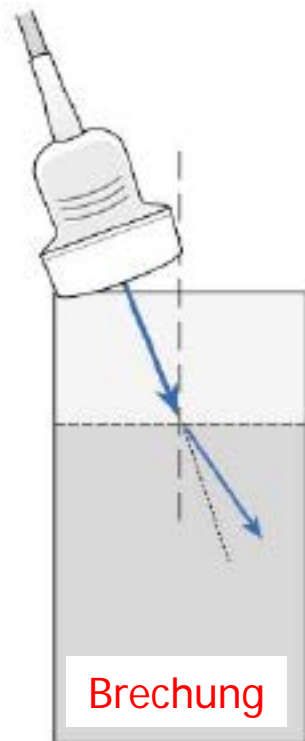


# Ultraschallschwächung im Gewebe



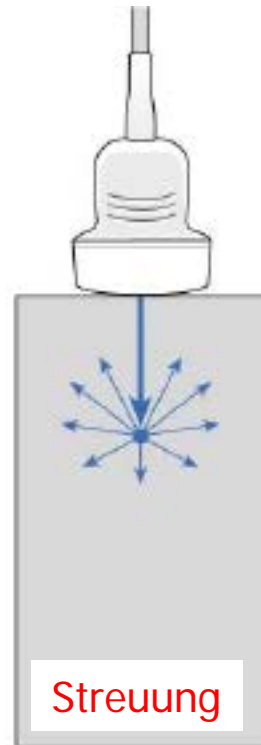
Reflexion

Die Ultraschallwelle tritt nicht komplett durch an Grenzflächen, sondern ein Teil wird zurückgeworfen (Impuls-Echo-Prinzip). Sie beruht auf Impedanzunterschieden (Schallwellenwiderstand) zwischen zwei Geweben.



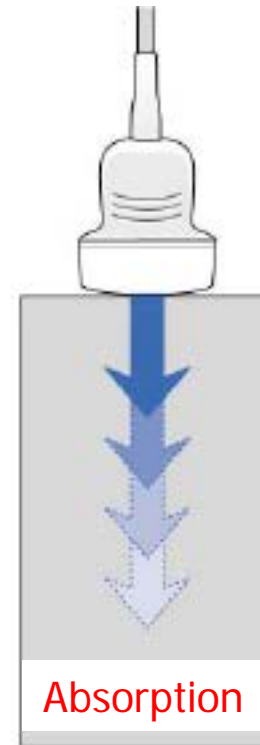
Brechung

Brechung bedeutet, dass eine Ultraschallwelle ihre Ausbreitungsrichtung beim Durchtritt durch eine Grenzfläche ändert (siehe Lichtbrechung).



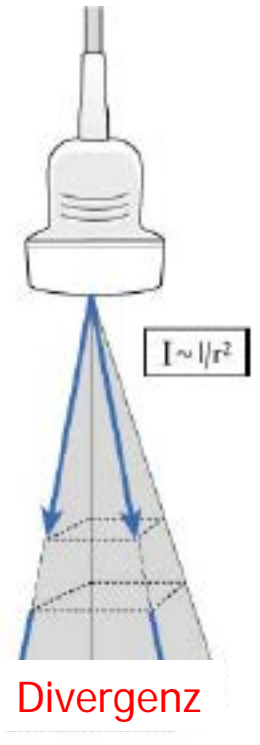
Streuung

Als Streuung bezeichnet man die vielfach ungerichtete Reflexion Schallwelle (z.B. durch Erythrozyten, Bindegewebs- oder Muskelfasern).



Absorption

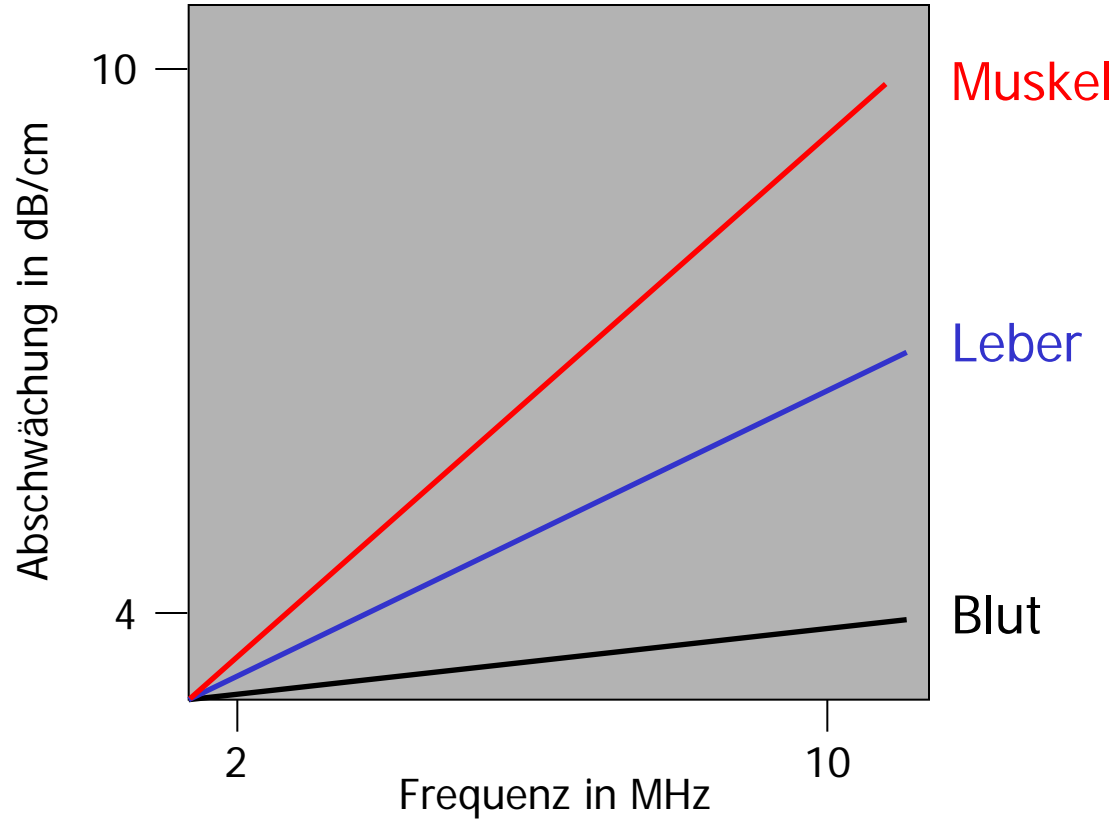
Tritt die Ultraschallwelle durch ein Gewebe durch, treten „Reibungskräfte“ auf, die die Amplitude der Welle verringern. Absorption ist stark gewebeabhängig.



Divergenz

Auseinanderlaufen von aus einer punktförmigen Schallquelle stammenden Schallwellen mit zunehmender Entfernung vom Schallkopf. Divergenz ist eine Eigenschaft der verwendeten Geräte und nicht die eines Gewebes.

# Frequenzabhängige Schwächung im Gewebe



Höhere Frequenz > niedrigere Wellenlänge > bessere Auflösung  
Höhere Frequenz > geringere Eindringtiefe > „schlechtes Signal“

>>> Optimierungsproblem

# Frequenz und Reichweite

Frequenz in MHz	maximale Untersuchungstiefe in cm	Untersuchungsgebiet
1	50	
2–3,5	25–15	Fötus, Leber, Herz, Veterinärmedizin (Großtiere)
3,5	15	Niere, Veterinärmedizin (große Hunde)
5	10	Gehirn, Veterinärmedizin (mittelgroße Hunde)
7,5	7	Schilddrüse, Brustdrüse, oberflächliche Gefäße, Veterinärmedizin (kleine Hunde, Katzen)
8–9	6	Prostata (endoskopisch)
10	5	
11–12	4–3	Pankreas (intraoperativ)
7,5–15	7–2	Brustdiagnostik
20	1,2	
21–24	1,1–0,9	Auge, Haut
40	0,6	Haut, Gefäße

# 13. Schwangeren-Vorsorge

ID:1999-11-03-0018

UNI.-FRAUENKLINIK  
WUERZBURG

Krebs  
TECHNIK 03.11.9  
18:59:0

3-D-Ultraschall, 9. SSW





## 3-D-Ultraschall, 34. SSW

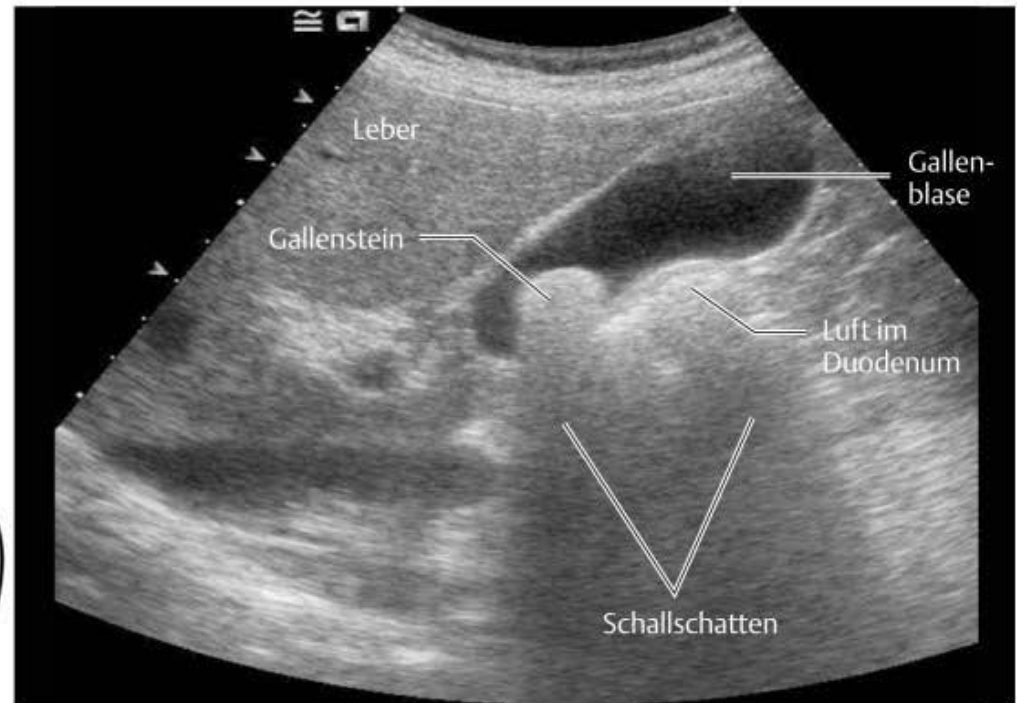
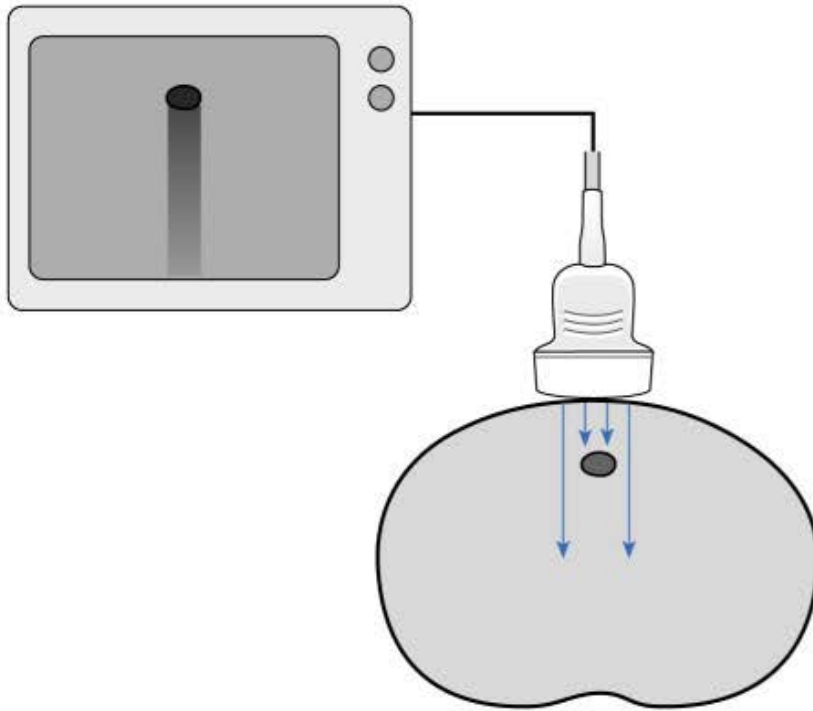


# 14. Artefakte

# Potentielle Artefakte

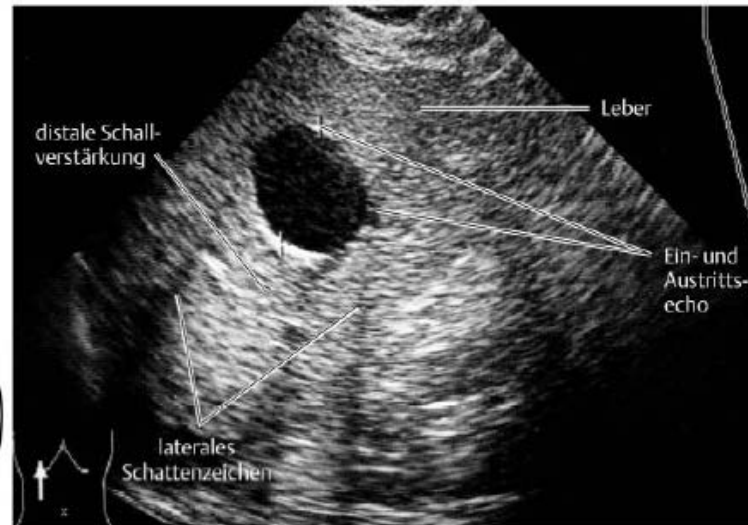
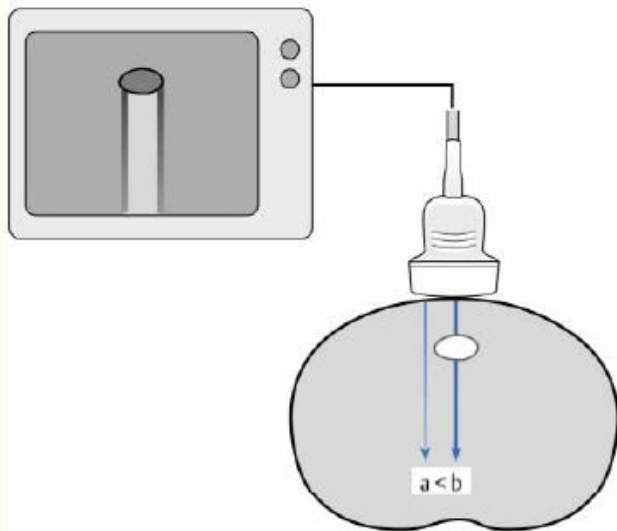
1. Schallschatten
2. Laterales Schattenzeichen
3. Distale Schallverstärkung
4. Laufzeitartefakt
5. Spiegelartefakt
6. Wiederholungsechos
7. Schichtdickenartefakt
8. Nebenkeulenartefakt

# Schallschatten



- = Dunkler Bildanteil hinter einer Struktur, die den Schall stark reflektiert, absorbiert oder streut (Bei starker Reflexion sieht man vor dem Schatten helle Strukturen)

# Distale Schallverstärkung



Bsp.: Leberzyste

Die distale Schallverstärkung entsteht, weil die Ultraschallwellen, die durch die Zyste laufen (b), weniger geschwächt werden als die, die durch das umgebende Gewebe laufen (a). Dadurch erscheint das Gewebe hinter der Zyste heller. Auch das laterale Schattenzeichen stellt sich andeutungsweise dar. Zum Rückwandecho s. S. 276.

= heller Streifen hinter Strukturen, die den Schall weniger schwächen als umliegende Strukturen (z.B. gefüllte Harnblase, Zysten)

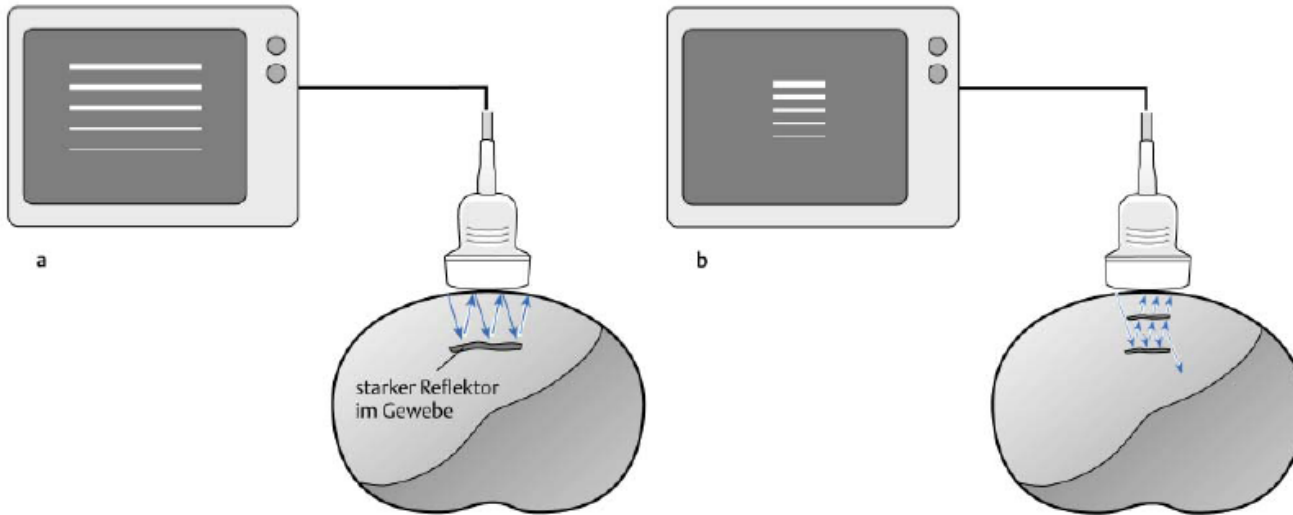
## Laufzeitartefakt



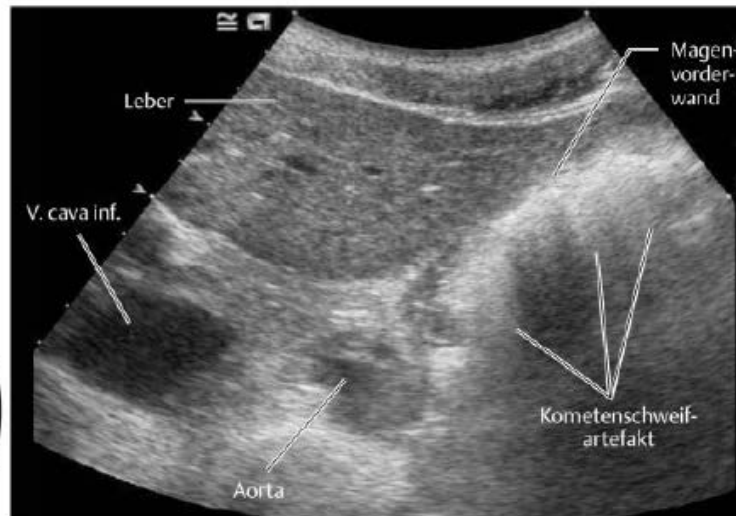
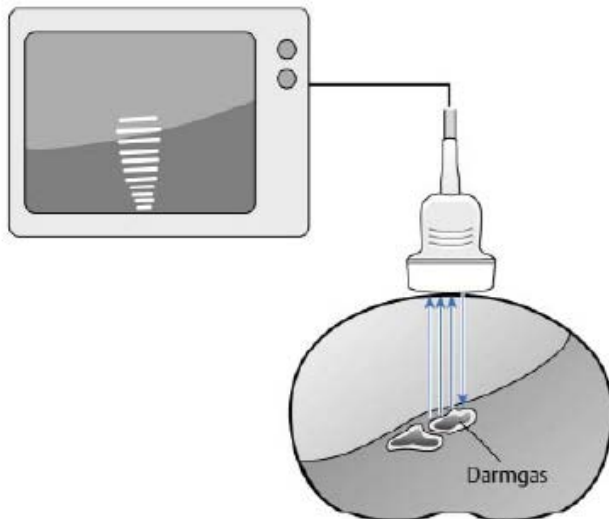
Die hinter einer Rippe liegenden Anteile der Leberoberfläche stellen sich gewölbt dar, weil die Laufzeit des Schallpulses in Knorpel deutlich kürzer ist als die im umgebenden Muskelgewebe.

= Verzerrungen von Strukturen durch falsch angenommene Schallgeschwindigkeiten

# Wiederholungsechos

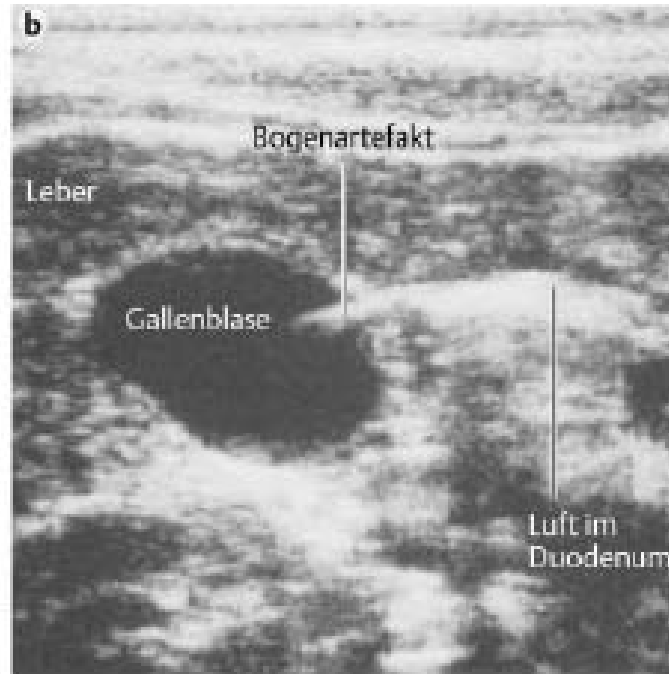
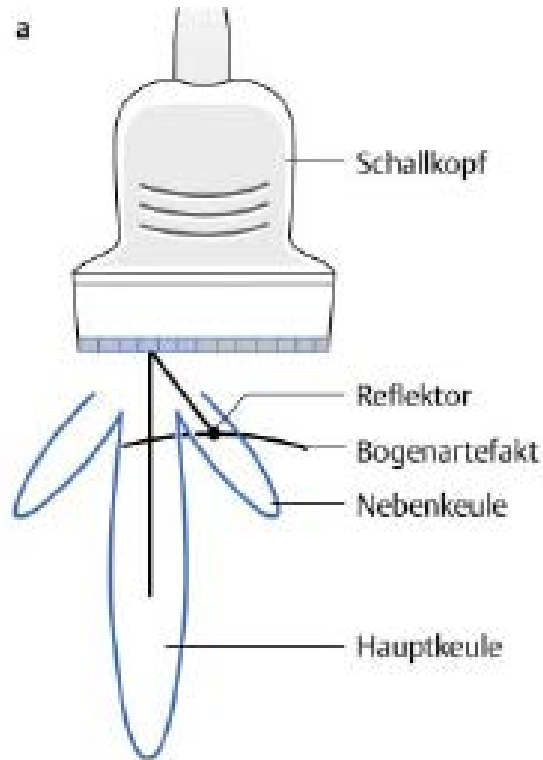


Wiederholungsechos entstehen, wenn Ultraschall zwischen einem Reflektor und der Schallkopfoberfläche mehrfach hin- und herläuft oder wenn zwei reflektierende Grenzflächen im Körper direkt benachbart liegen.



## Kometenschweif

# Nebenkeulenartefakt

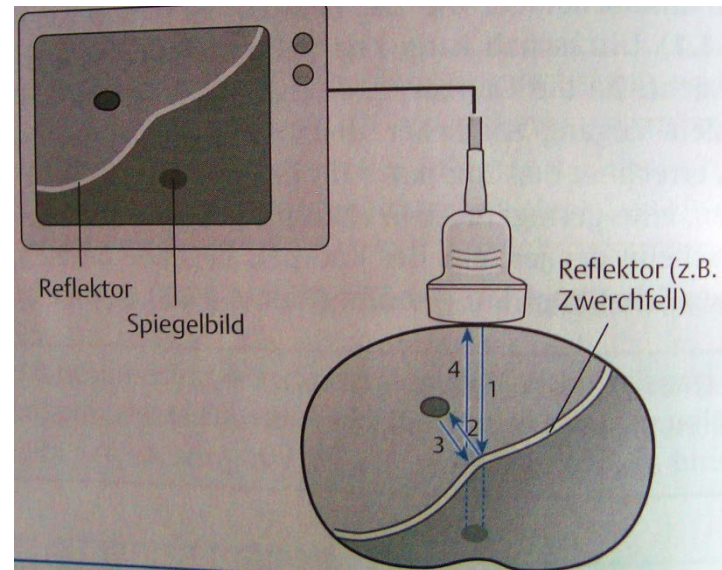


= Echose an starken Reflektoren durch Nebenkeulen



## Spiegelartefakte

- durch starken Reflektor entstandenes Spiegelbild einer realen Struktur
- Mehrfachreflexion führt zu längerer Laufzeit  
→ Darstellung von Spiegelbild in zu großer Tiefe
- Häufiges Auftreten bei großer Eindringtiefe



# Schallschatten

hinter stärker reflektierenden Strukturen

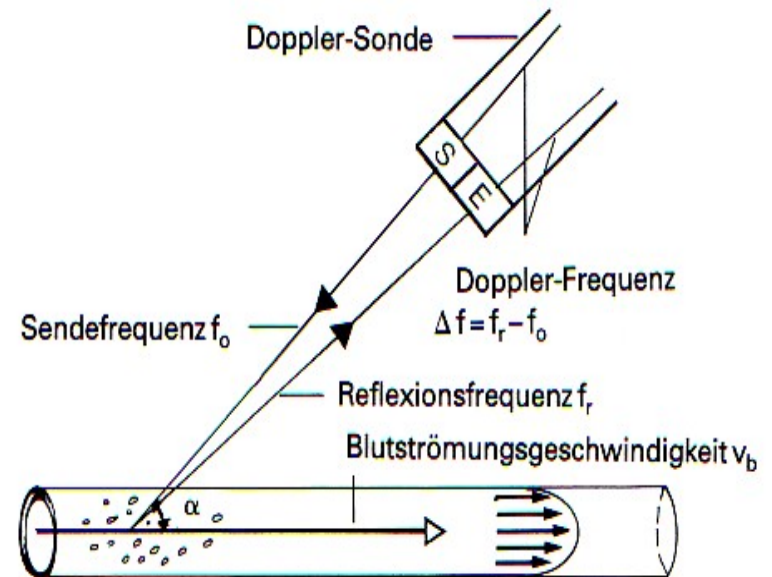
# Distale Schallverstärkung

wie eine akustische Linse, z.B. hinter Zysten

# 15. Dopplersonographie

# Dopplersonographie

- Wellenreflexion an bewegten Objekten  
→ Frequenzänderung (Blutzellen)
- Bewegung in Richtung zu c  
erhöht Frequenz,
- in entgegengesetzter Richtung wie c  
erniedrigt Frequenz
- Schallkopf nicht senkrecht sondern  
schräg zum Gefäß  
(beeinflusst Änderung der Frequenz)  
→ für gutes Dopplersignal  
Aufsetzwinkel  $< 60^\circ$  wichtig
- Farbcodiert:
  - Rot: bewegt sich zum Schallkopf
  - Blau: bewegt sich wegFarbe mit höherer Geschwindigkeit heller



# Duplexsonographie

= Kombination aus Dopplersonographie und B-Mode Ultraschall

# Zusammenfassung 3

**Auflösung:** im mm-Bereich (axial ca. 5 mal besser als lateral)

**Nahfeld:** Direkt am Schallkopf, Interferenzen,  
(umso größer, je kleiner US-Frequenz)

**Fokuszone** (veränderbar durch akustische Linse oder Wasserkissen)  
ist am besten für US-Messung geeignet

**Fernfeld** wird ebenfalls genutzt,  
aber: Echos geringer, Bildqualität schlechter

**Schallschwächung** durch Reflexion, Brechung, Streuung, Absorption, Divergenz

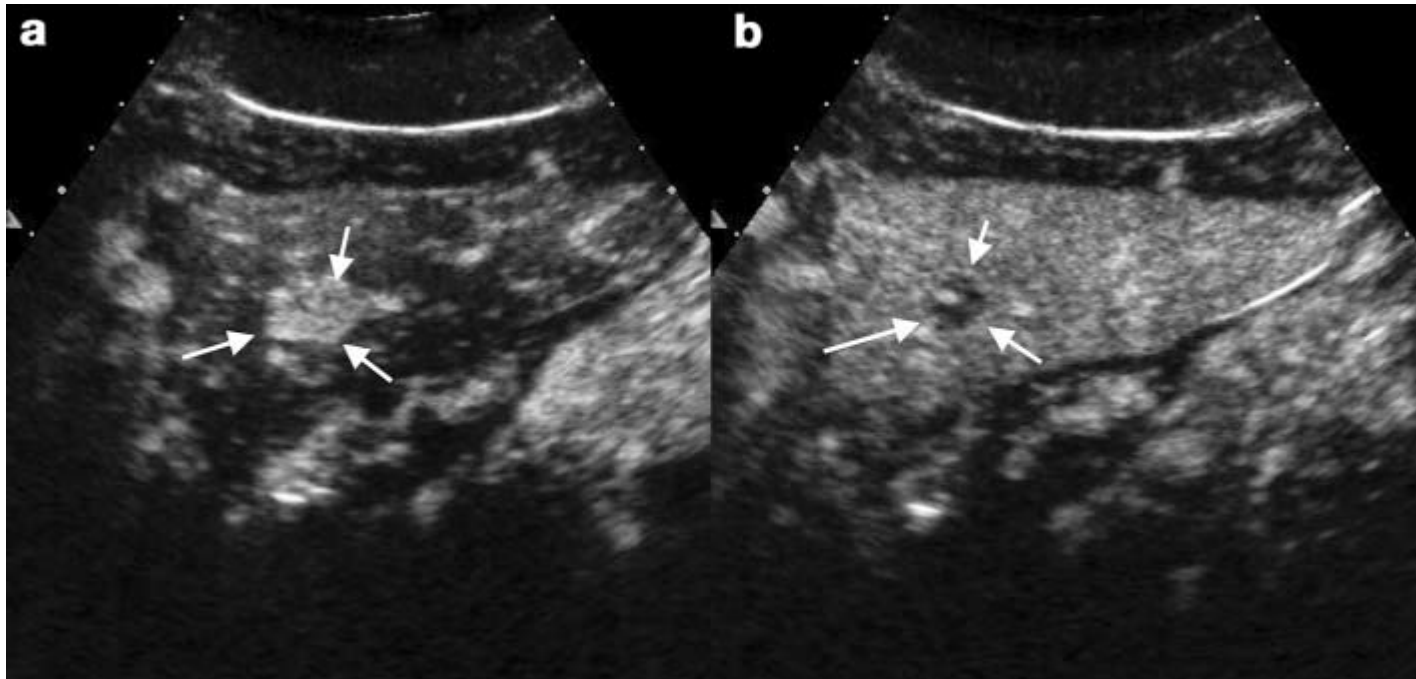
Höhere Frequenz > niedrigere Wellenlänge > bessere Auflösung

Höhere Frequenz > geringere Eindringtiefe > „schlechtes Signal“

Cave: **Artefakte** wie z.B. Spiegelartefakte, Schallschatten,  
Distale Schallverstärkung

# Kontrastmittel

Kontrastmittel: Kleine Partikel (z.B. Galaktosepartikel) oder Mikrogasblässchen  
Haupteinsatzgebiet ist Leberdiagnostik



## 17. Einstellungen um US Gerät

Sendeleistung, Power

Frequenz (Eindringtiefe)

Verstärkung (Gain) und Dynamischer Bereich

Bildkorrelation mehrerer Bilder (**wozu gut**....?)

Datenprozessierung (Filterung, Falschfarben **aber**....)



## 18. Helle und Dunkle Speckles Echofreiheit und Reichtum an einem Öl-Wassergemisch

