

# Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

## Akustik & Ultraschall

Am 12.05.2021



Dr. Simon Moser  
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,  
Universität Würzburg  
[simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de)



# Ultraschall-Einleitung

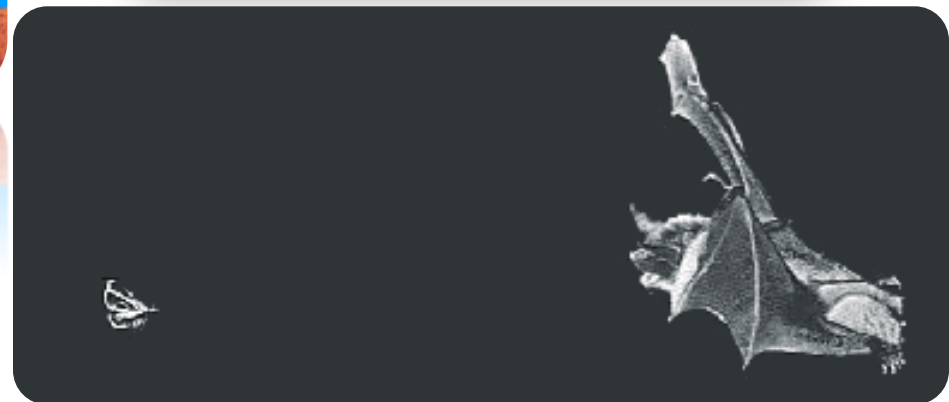
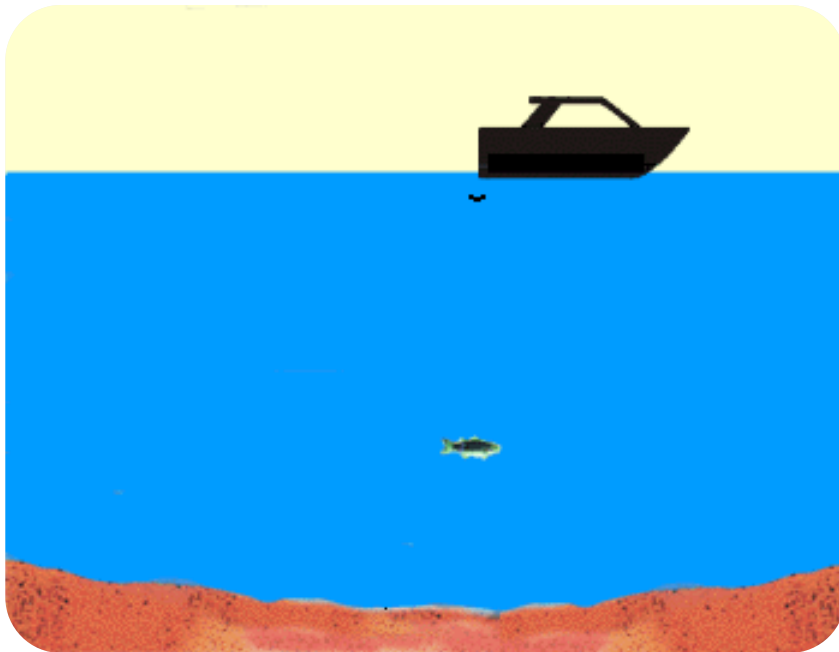
## Ultraschalldiagnose-Sonographie

- ① Verwendet Schall- und damit Druckwellen (longitudinale Wellen)
- ② Gilt als unschädlich (keine ionisierende Strahlung)
- ③ Misst die **Reflexion** von Schallwellen im Körper & bestimmt daraus die **Ortsverteilung von Grenzschichten in Echtzeit**
- ④ Mit US lässt sich relativ einfach die Bewegung darstellen & quantifizieren
- ⑤ **Sonar:** 20kHz-100kHz
- ⑥ **Ultraschall:** MHz

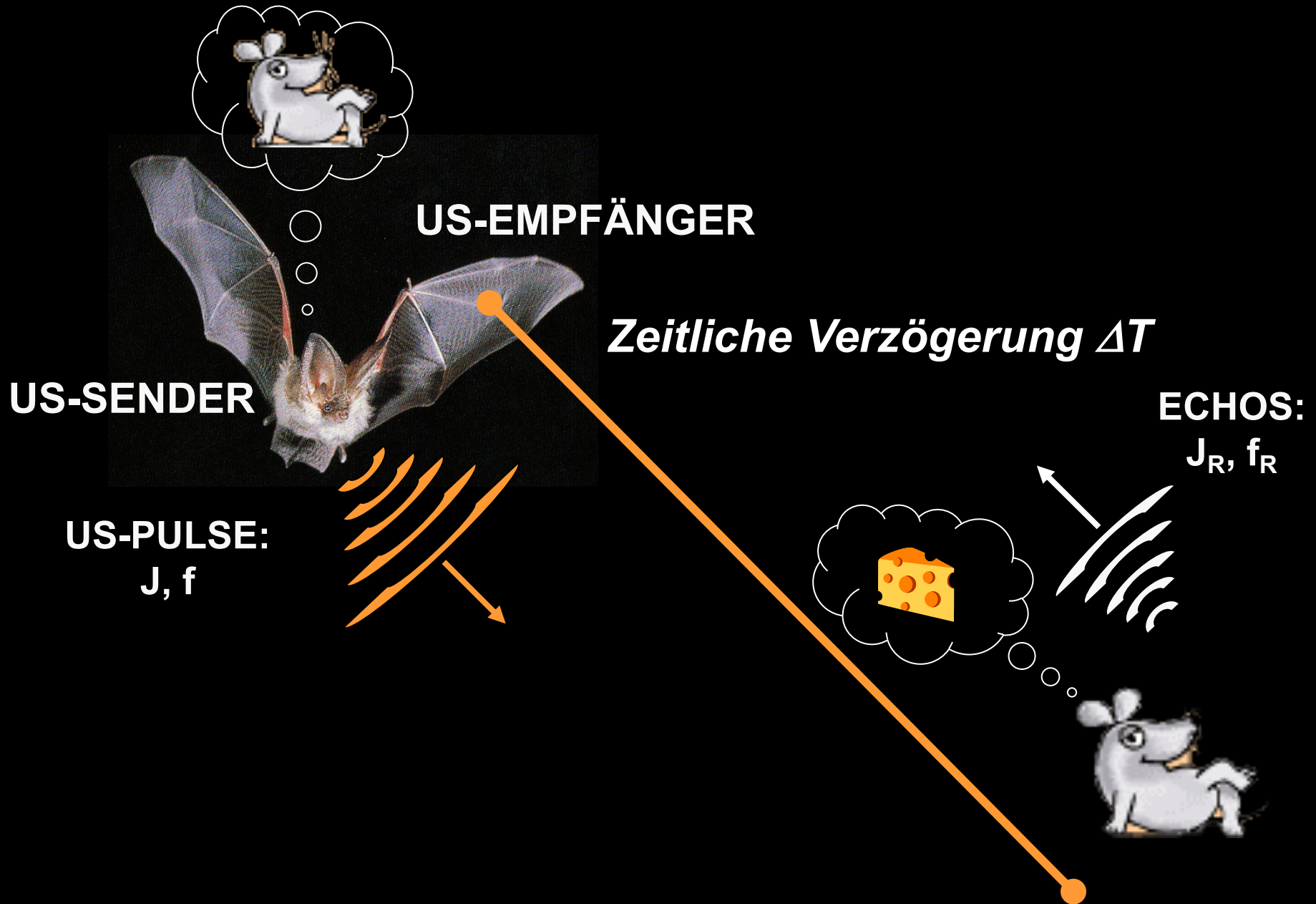


# Ultraschall in Technik & Biologie

Ortung:      Sonar: Sound navigation and ranging



# Ultraschall: Grundprinzip



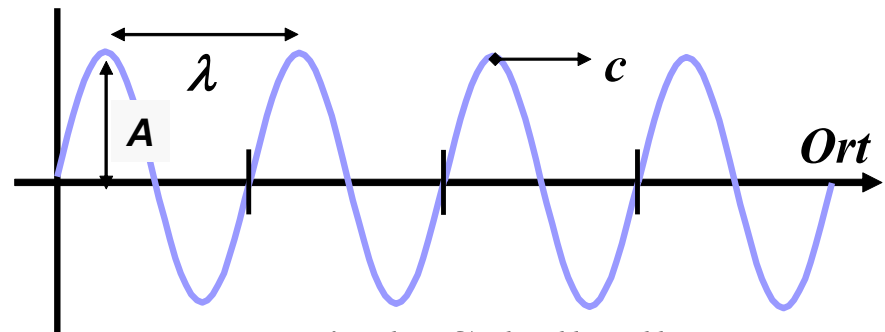
# Ultraschallerzeugung

*elastisches Medium*  
 $\rho_0, P_0$

Harmonischer  
Schallgeber

$\rho = \rho(x,t) \quad p = p(x,t)$

Periodische Dichte/Druck-Schwankungen

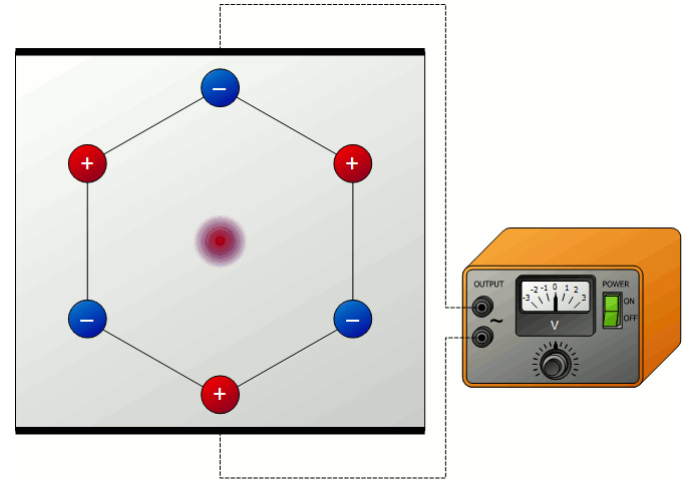
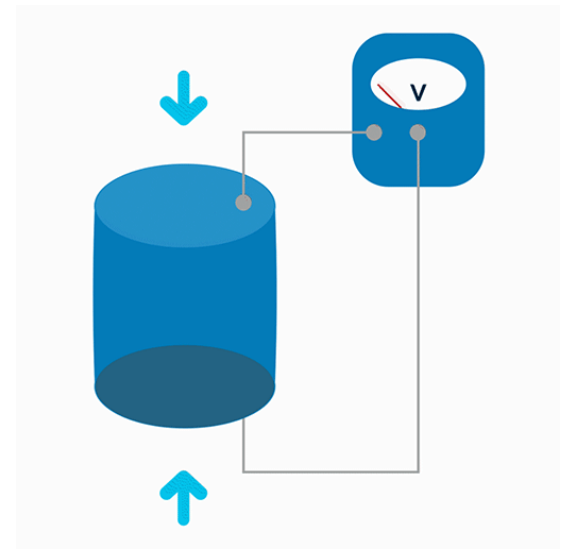


Harmonische Schallwelle

$$c = \sqrt{K / \rho} = \lambda \cdot f$$

Ausbreitungs-  
geschwindigkeit *c*

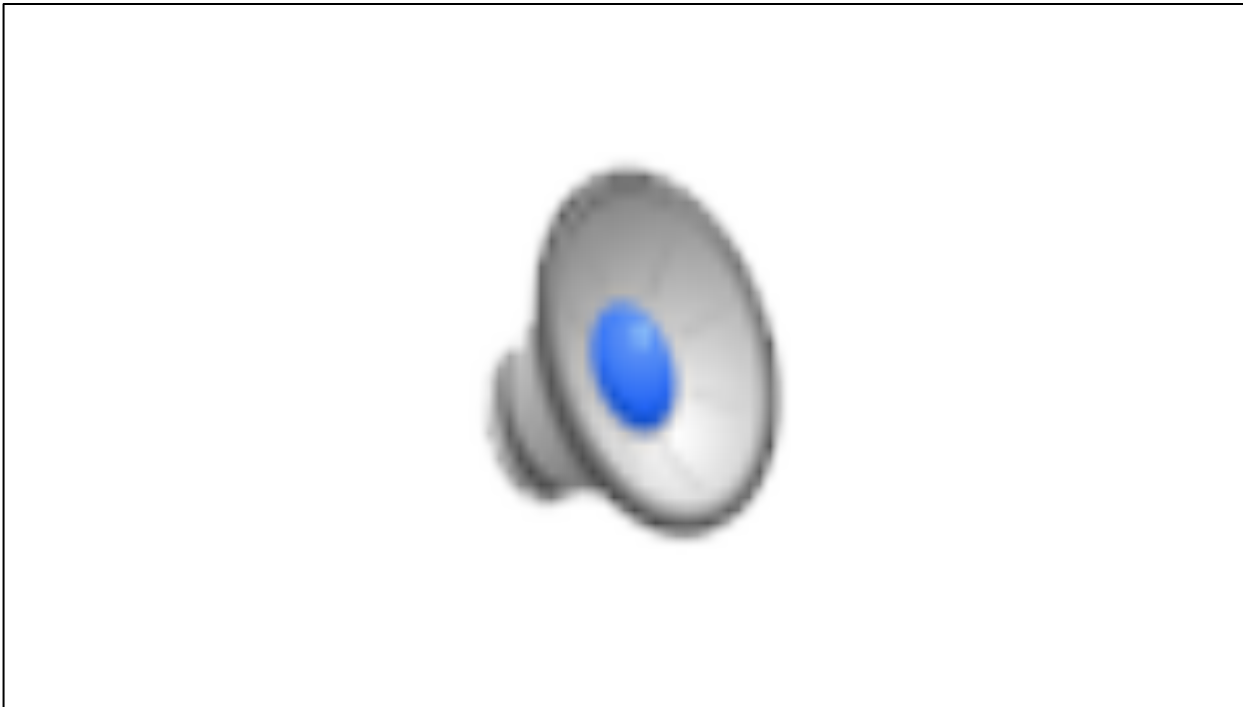
- c* = Schallgeschwindigkeit [m/s]
- $\rho$  = Gleichgewichtsdichte [kg/m<sup>3</sup>]
- K* = Kompressionsmodul
- $\lambda$  = Wellenlänge
- f* = Frequenz



**Piezokristall zur  
US-Erzeugung**

# „Ultraschall“ in der Wasserwanne

Erzeugung einer “Kugel”-Welle in einer Wasserwanne:  
Ein “Erreger”



# „Ultraschall“ in der Wasserwanne

## Kugelwelle als “Schattenbild” & Dopplereffekt



# „Ultraschall“ in der Wasserwanne

Erzeugung einer ebenen Welle:  
Viele “Erreger”



# „Ultraschall“ in der Wasserwanne

**Reflexion einer ebenen Welle:**



# Wellenwiderstand & Reflexion

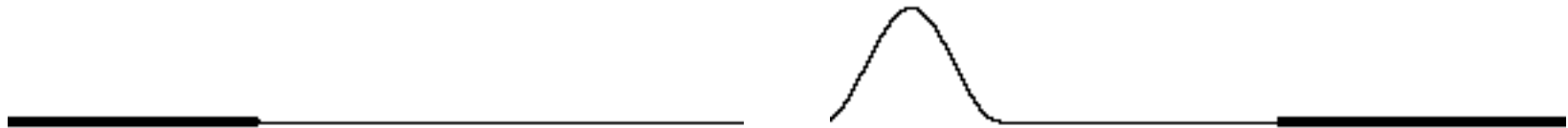
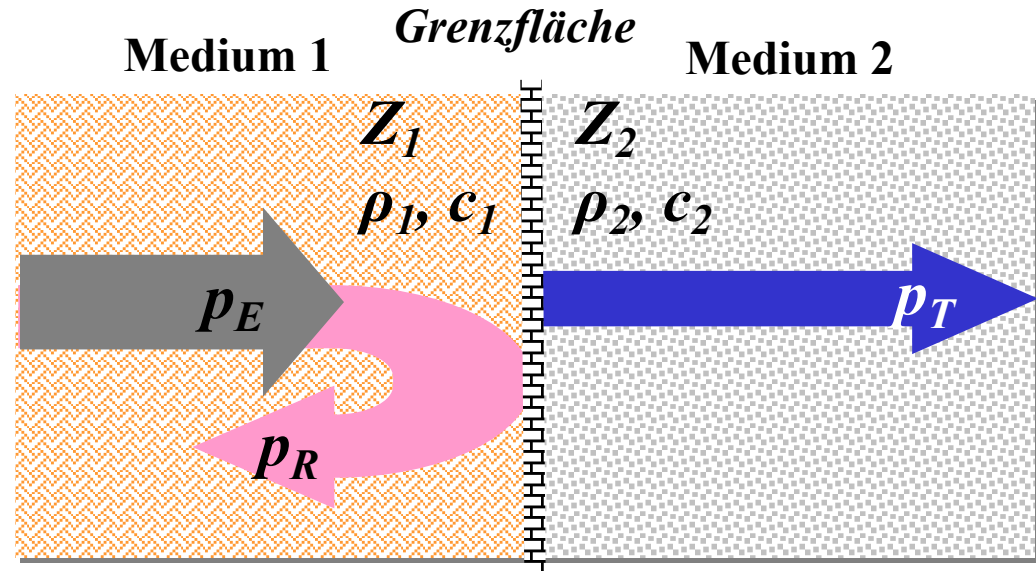
Reflexion von Schallwellen an Grenzflächen:

Wellenwiderstand:

$$Z = \rho c$$

Reflexionskoeffizient:

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



$$Z_1 > Z_2$$

„Reflexion am losen Ende“

$$Z_1 < Z_2$$

„Reflexion am festen Ende“

# Wellenwiderstand & Reflexion

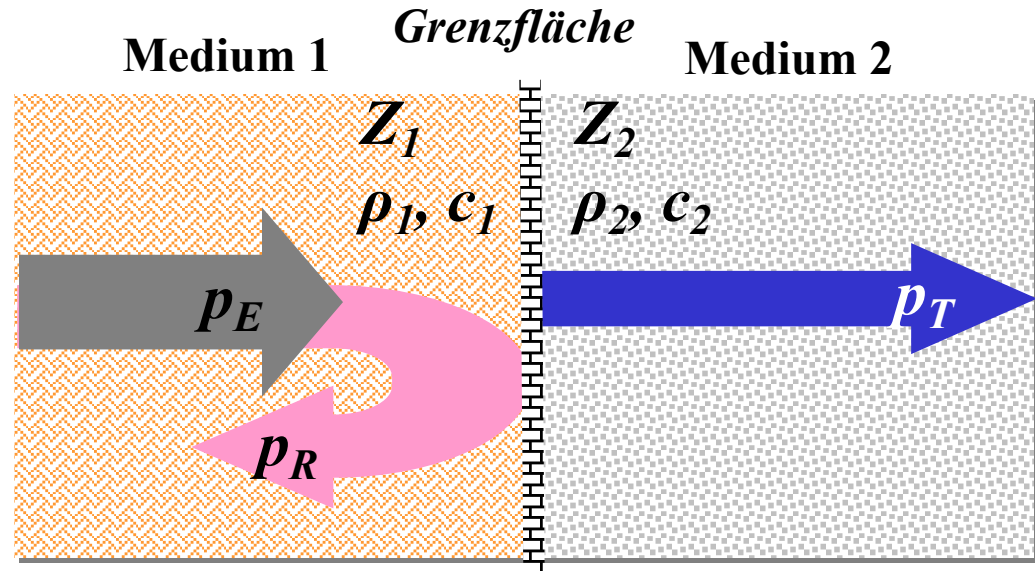
Reflexion von Schallwellen an Grenzflächen:

Wellenwiderstand:

$$Z = \rho c$$

Reflexionskoeffizient:

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



## Bsp.: Luft - Wasser

Luft:  $c_1 = 331 \text{ m/s}$ ,  $\rho_1 = 1,29 \text{ kg/m}^3$

→  $Z_1 = 427 \text{ kg/m}^2\text{s}$

Wasser:  $c_2 = 1485 \text{ m/s}$ ,  $\rho_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$

→  $Z_2 = 1.485 \cdot 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$

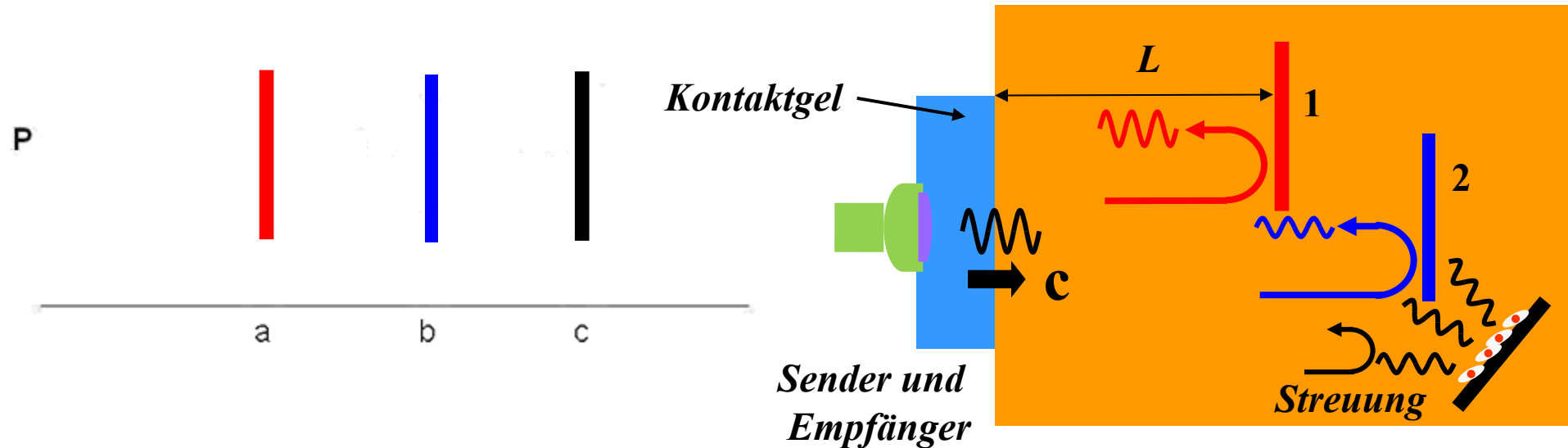


$r = 99\%$

# Ultraschall - Impulsechomethode

## Prinzip:

- $P$  ist sowohl Sender als auch Empfänger
- Reflexion & Transmission
- anhand der Schalländerung Rückschlüsse auf die Gewebebeschaffenheit



$$\text{Impulsechomethode: } L = 1/2 \cdot (\text{Laufzeit} \cdot c)$$

An den Grenzflächen unterschiedlicher Gewebearten wird das US-Signal aufgrund der gewebetypischen Wellenwiderstände teilweise reflektiert

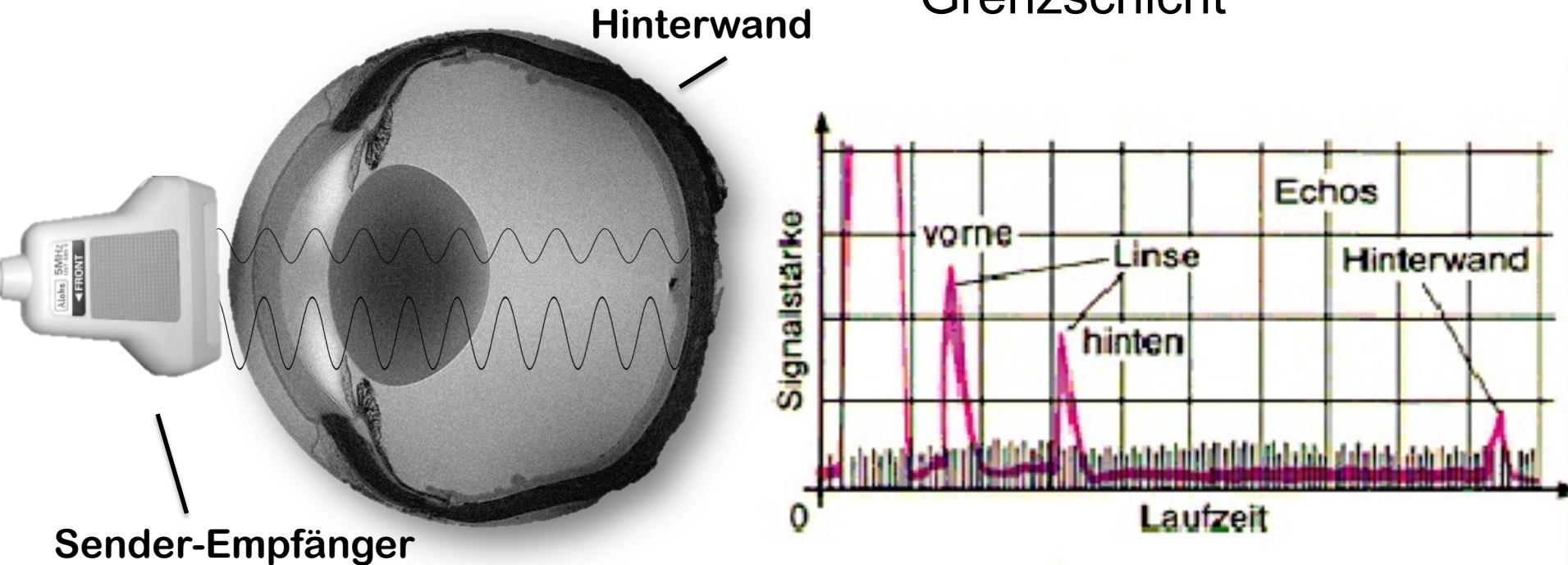
# Ultraschall - Impulsequomethode



# Ultraschall - Medizin

## 1D-Verfahren

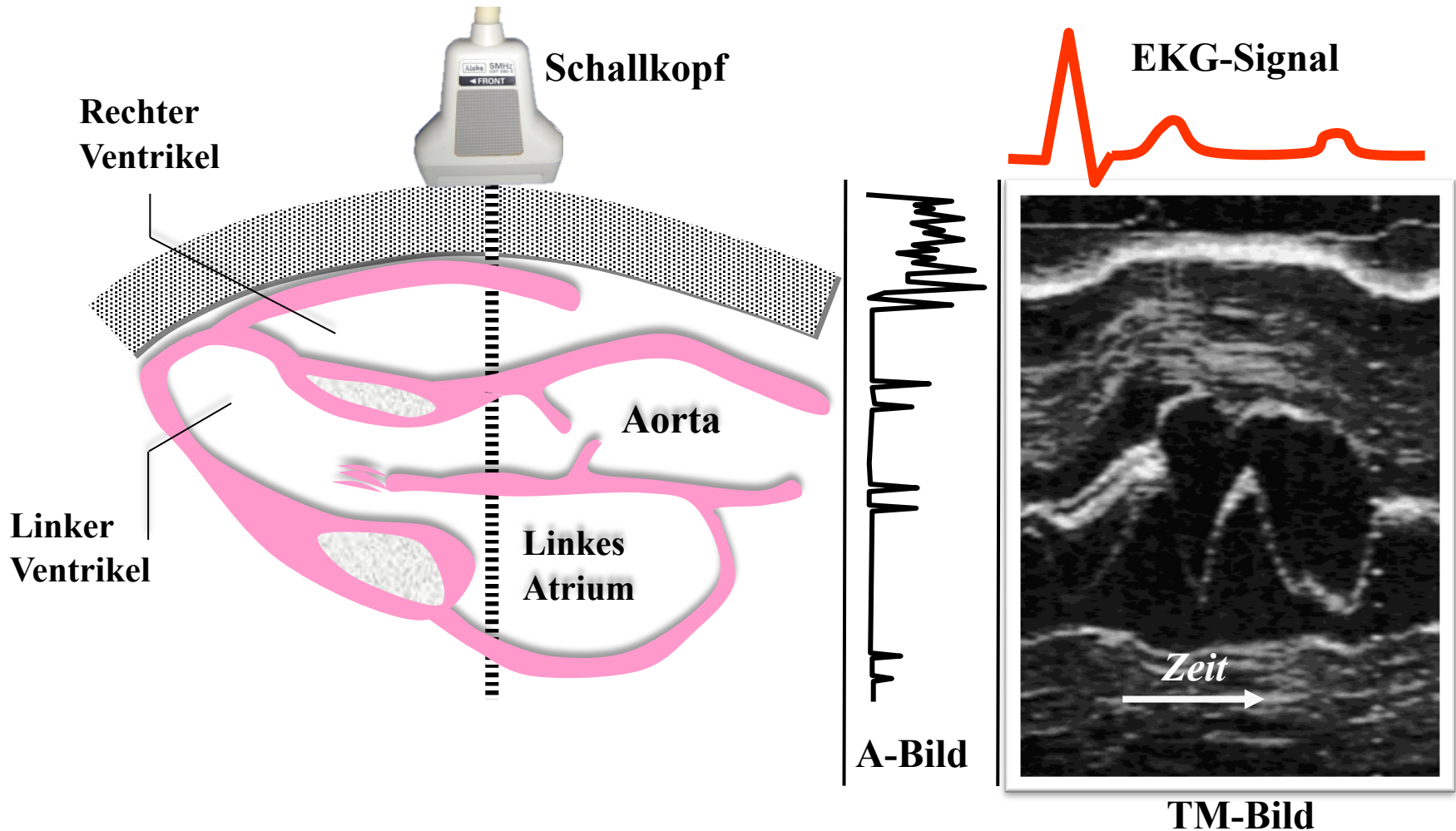
**Laufzeit der reflektierten Echos = Maß für die Tiefe der Grenzschicht**



**Echoamplitude =** Maß für die Stärke der Reflexion an der Grenzschicht

# Ultraschall - Medizin

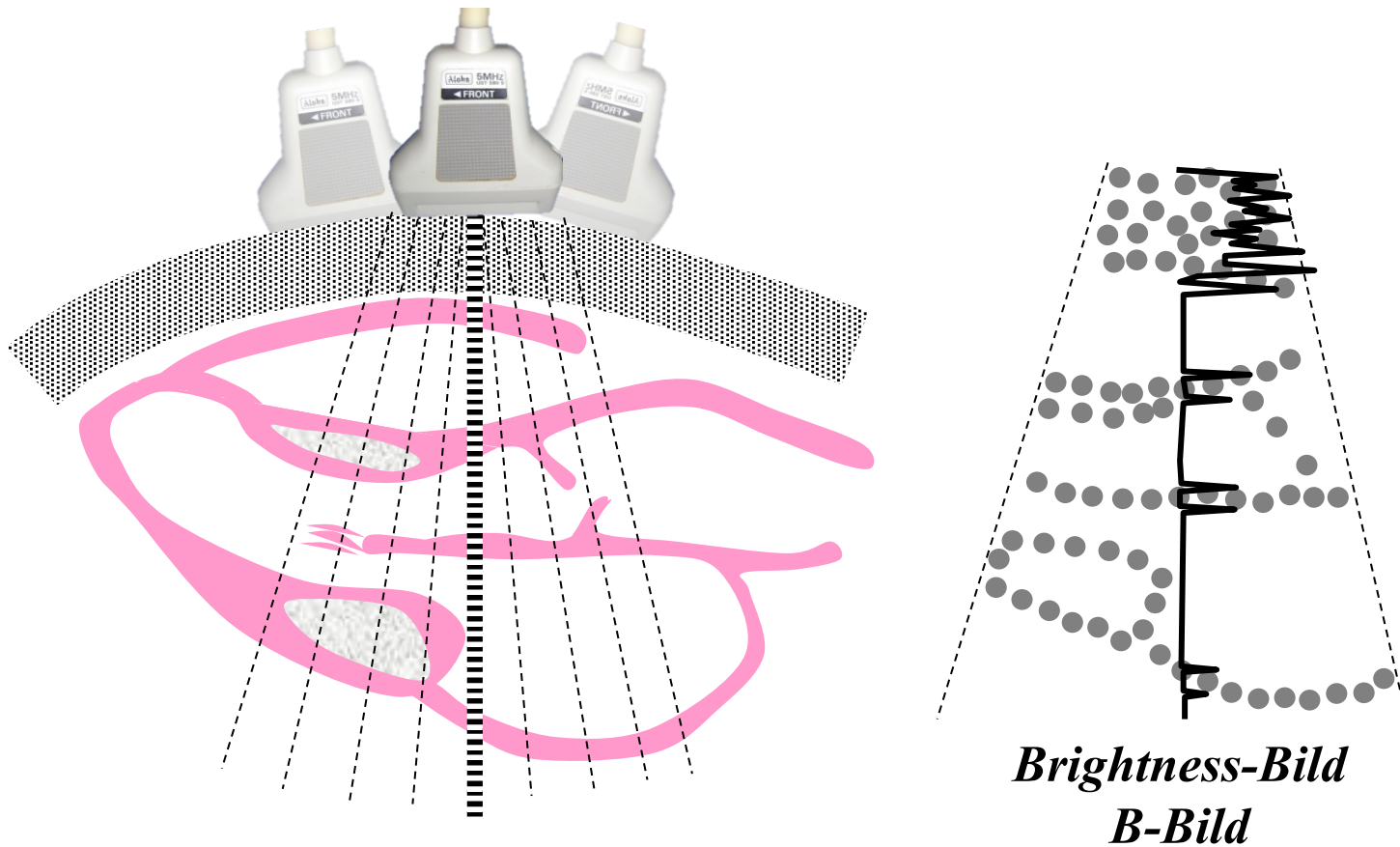
## 1D-Verfahren: Time-Mode-Bild (TM)



**Echoamplitude** = Mass für die Stärke der Reflexion an der Grenzschicht

# Ultraschall - Medizin

## 2D-Verfahren: B-Bild



**Echobild =**            Ultraschall-“Strahl“ wird über die Probe geführt

# Ultraschall – Baby's in Action



# Dopplereffekt

$v = 0$

$v > 0$

$v = c$

$v > c$

•

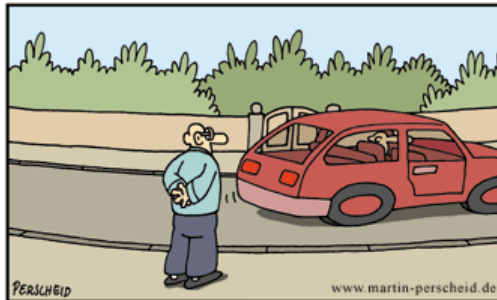
•

•

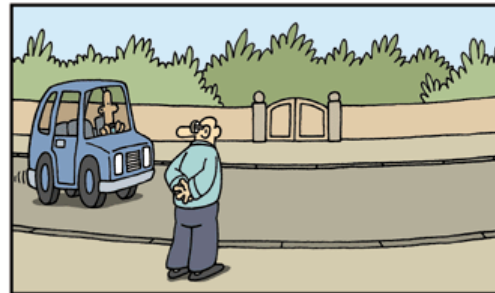
•

„langwellig“  
„rotverschoben“

„kurzwellig“  
„blauverschoben“



DER DOPPLER-EFFEKT IM STRASSENVERKEHR



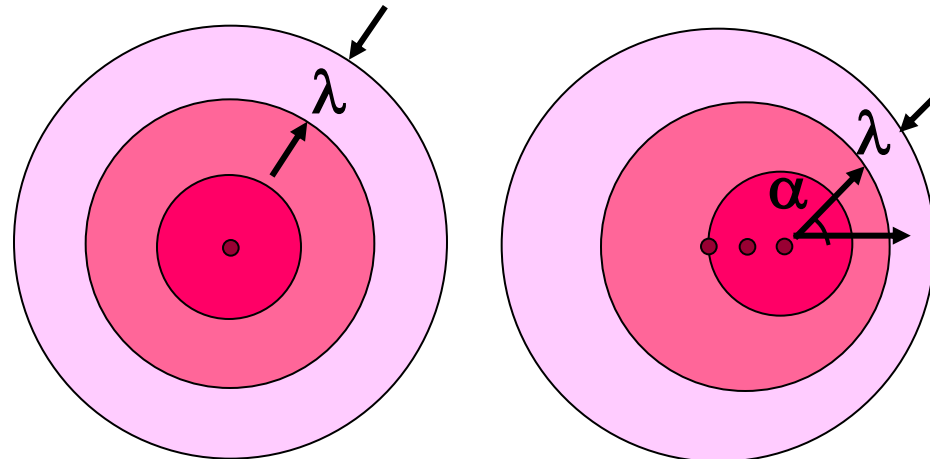
# „Ultraschall“ in der Wasserwanne

## Kugelwelle als “Schattenbild” & Dopplereffekt



# Dopplereffekt

- Bewegt sich Sender und/oder Empfänger gegenüber dem Träger der Welle (z.B. rotes Blutkörperchen), so ist die vom Empfänger beobachtete Frequenz nicht mehr gleich der des Senders
- **Abstandsverkleinerung** erhöht die Frequenz, weil die Zahl der sekundlich vorbeilaufenden Wellenberge und -täler zunimmt



*Ruhende Quelle*

$$\mathbf{v} = \mathbf{0}$$

*Bewegte Quelle*

$$\mathbf{0} < \mathbf{v} < \mathbf{c}$$

**Dopplerverschiebung:**

$$\Delta f = f_0 \frac{\Delta v}{c}$$

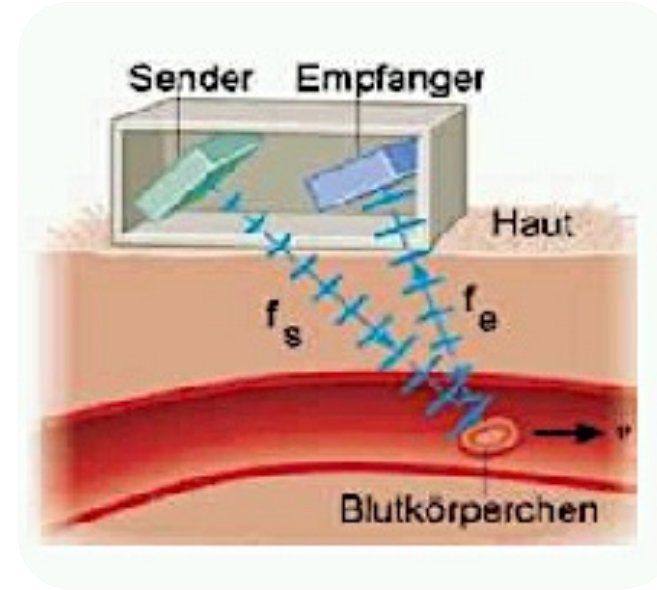
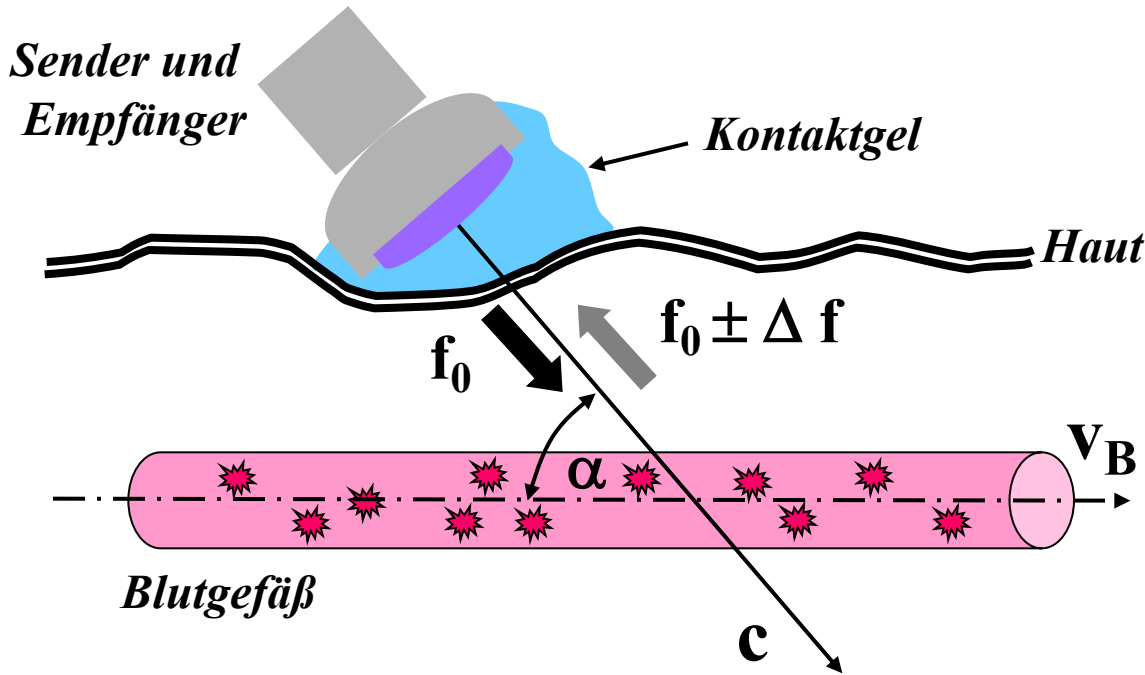
$\Delta f$  = Dopplerverschiebung (50Hz-5kHz)

$f_0$  = eingestrahlte Frequenz

$\Delta v$  = Relativgeschwindigkeit

$c$  = Schallgeschwindigkeit

# Dopplereffekt



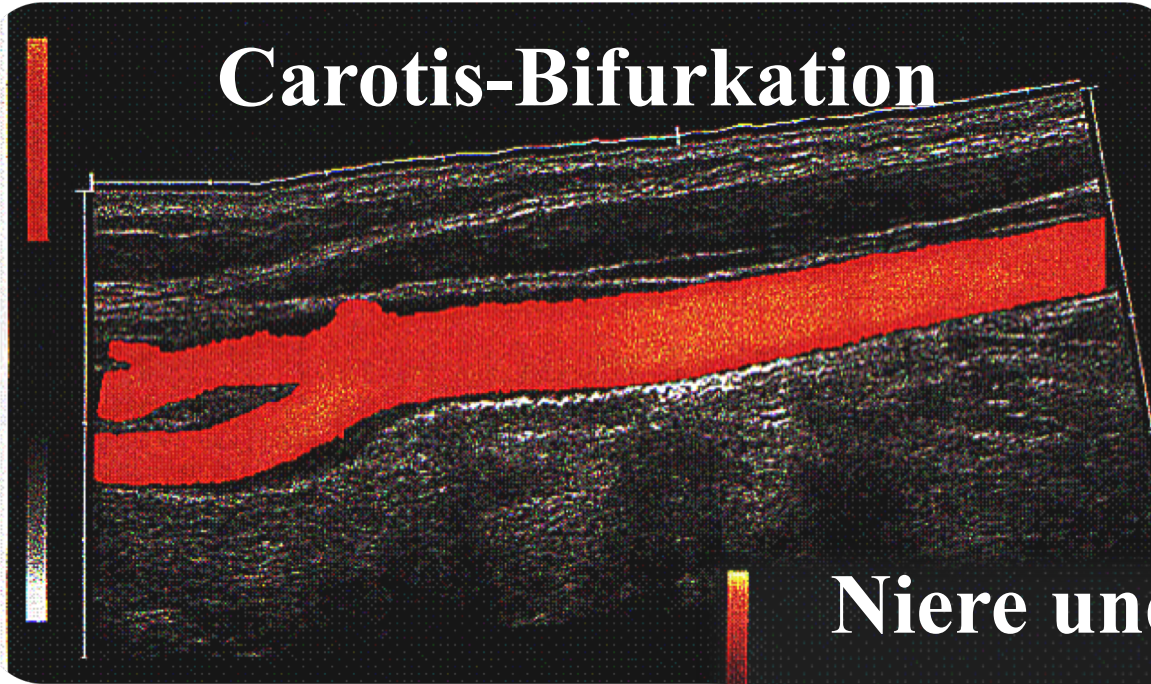
**Dopplerverschiebung:**

$$\Delta f = 2 f_0 \frac{v_B}{c} \cos \alpha$$

- $\Delta f$  = Dopplerverschiebung (50Hz-5kHz)
- $f_0$  = eingestrahlte Frequenz
- $\alpha$  = Einstrahlwinkel
- $v_B$  = Strömungsgeschwindigkeit

# Dopplereffekt

Carotis-Bifurkation



Niere und Nierengefäße



# Dopplereffekt

## Gefäße im Gehirn

