

Schallwellen

Wellengleichung:
$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$$

Schallgeschwindigkeiten:		c [m/s]
	Luft	331
	Wasser	1492
	Fett	1470
	Hirn	1530
	Muskel	1568
	Knochen	3600

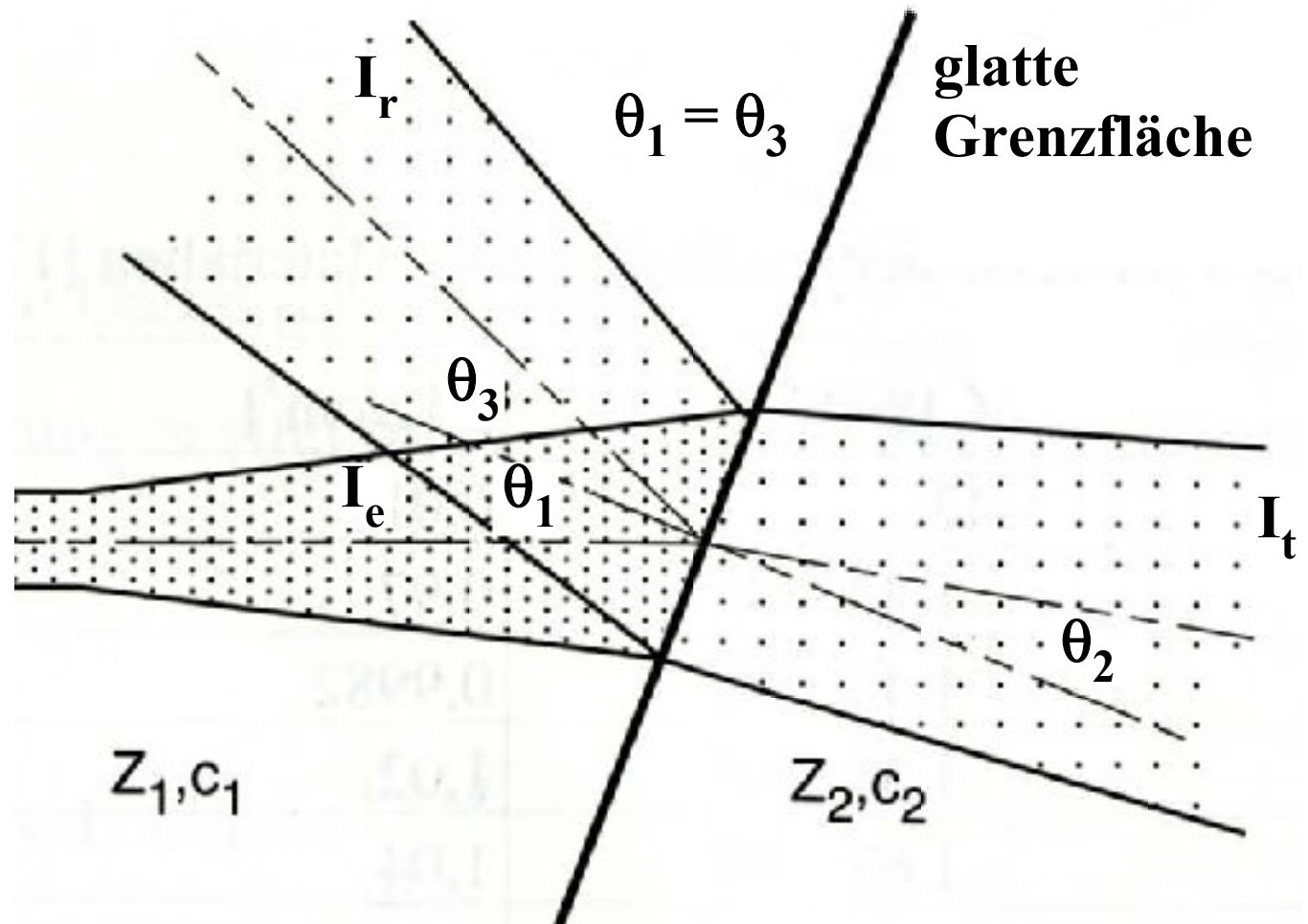
Typische Werte für Diagnostik:	v	1 MHz ... 40 MHz
	j	100 mW/cm²
	p	< 0.6 Pa
	A₀	< 2 μm
	v₀	< 3.5 cm/s

Schallimpedanz

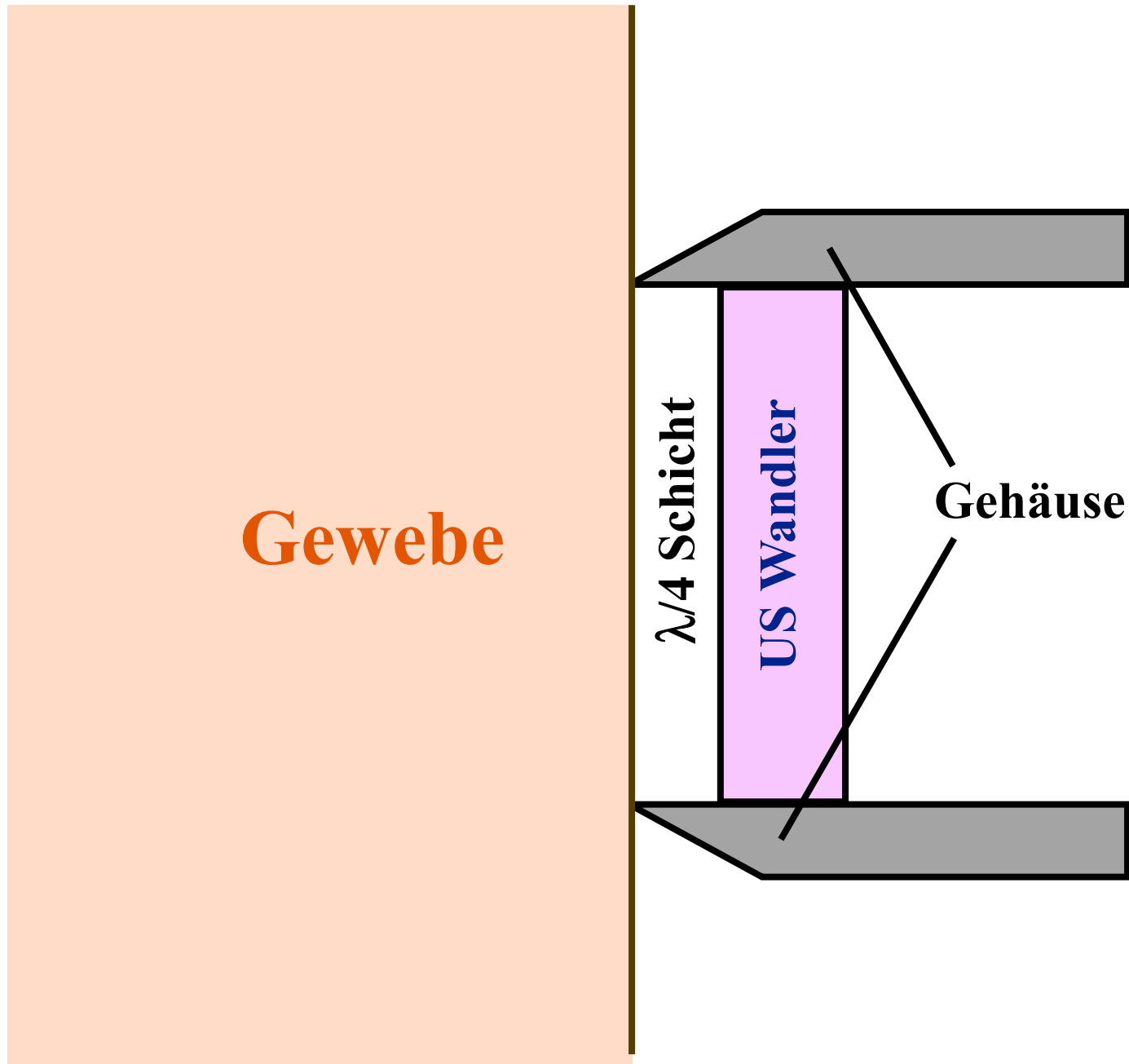
Typische Zahlenwerte:

	c [m/s]	Z [g cm⁻² s⁻¹]	ρ₀ [g/cm³]
Luft	331	43	0.0013
Wasser	1492	1.48·10⁵	0.9982
Fett	1470	1.42·10⁵	0.97
Hirn	1530	1.56·10⁵	1.02
Muskel	1568	1.63·10⁵	1.04
Knochen	3600	6.12·10⁵	1.7

Reflexion und Brechung



Anpassung Ultraschallwandler

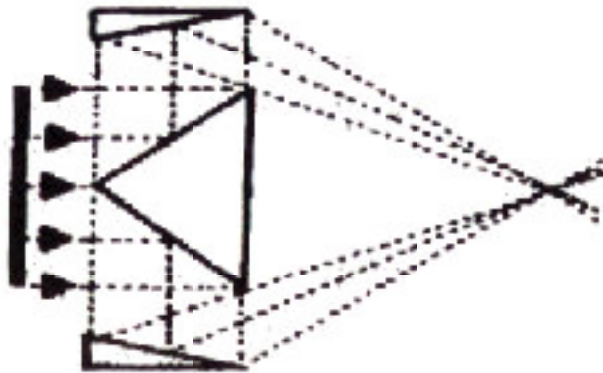
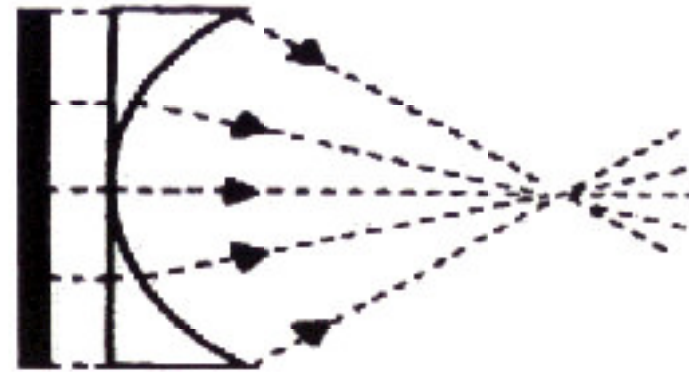


Fokussierung

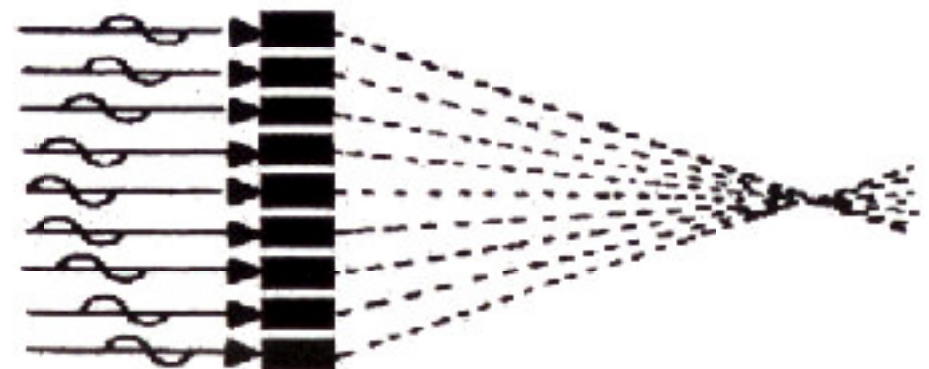
Spärischer
Wandler



Linse



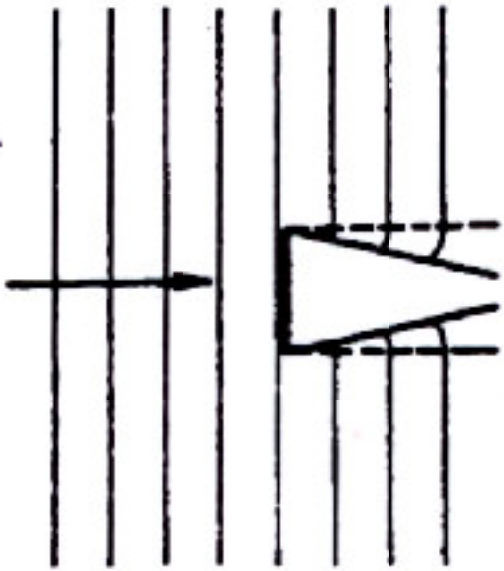
Reflektor



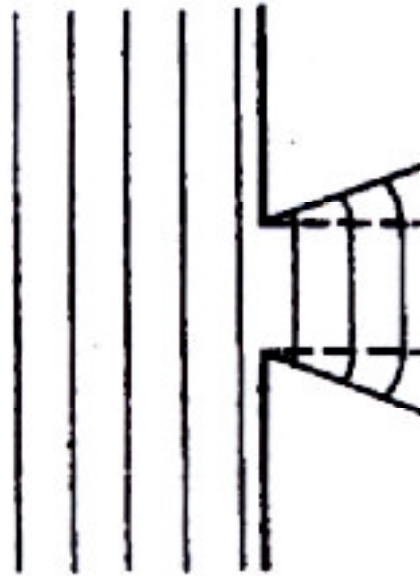
elektrische
Fokussierung

Beugung

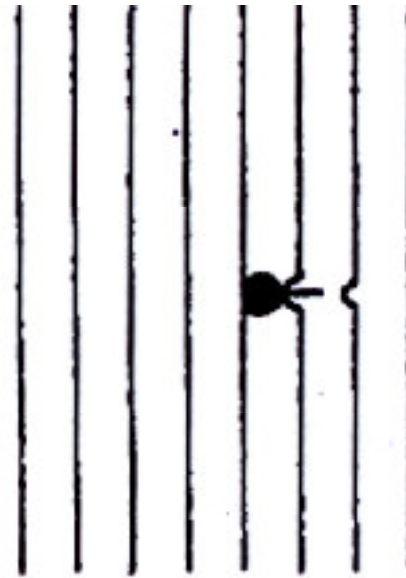
Hindernis



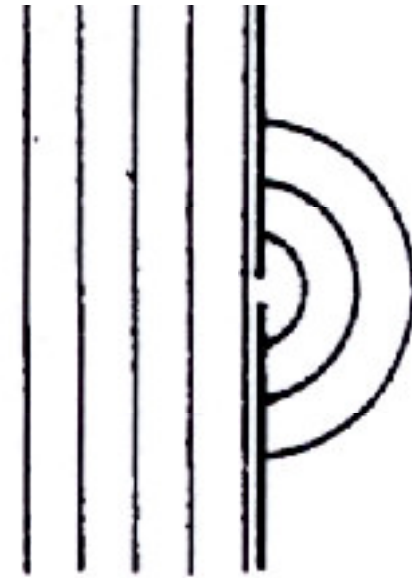
Spalt



Draht

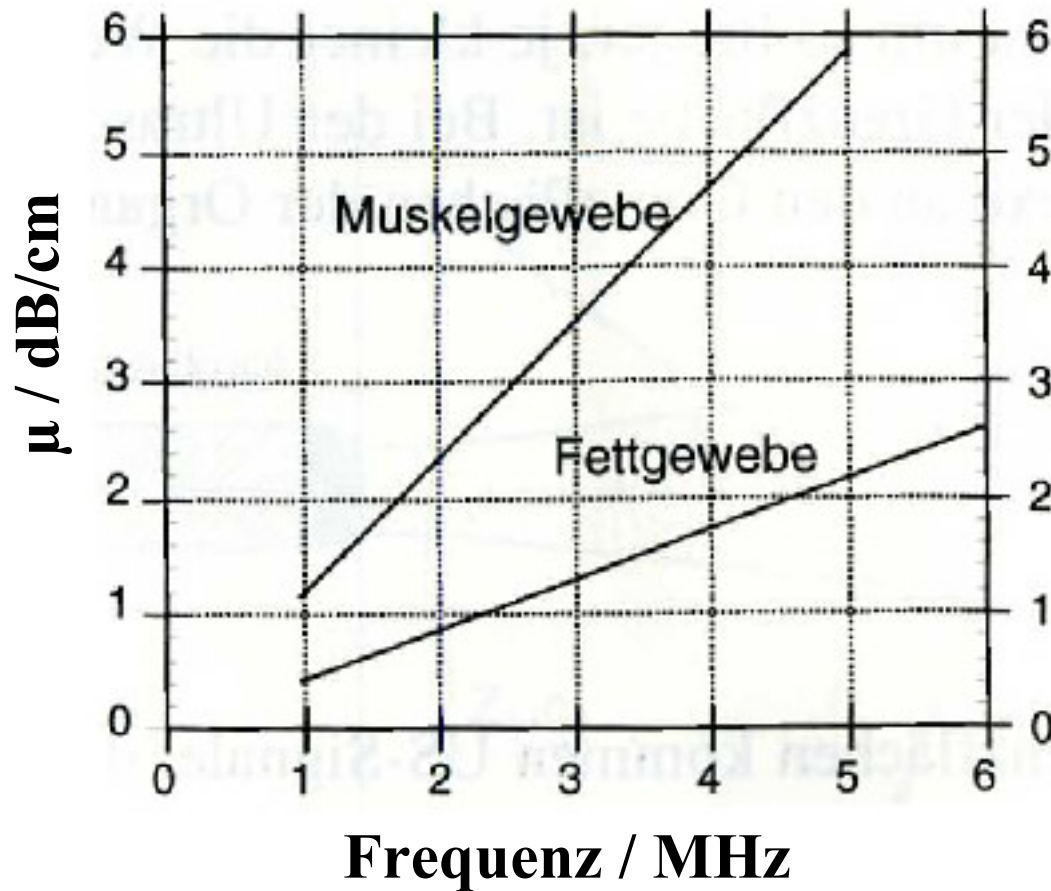


Elementarwelle

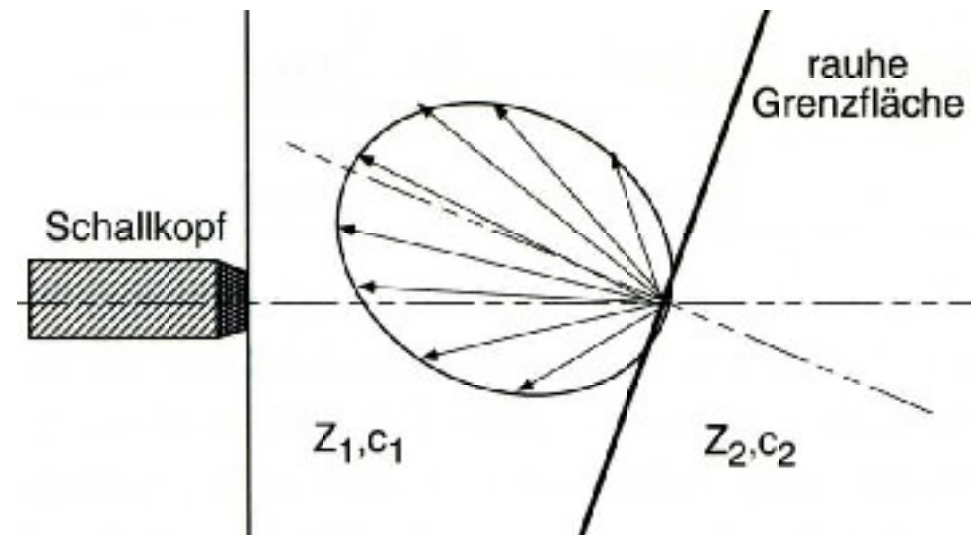


Absorption

Schwächung (Absorption + Streuung)



Streuung an Rauigkeiten

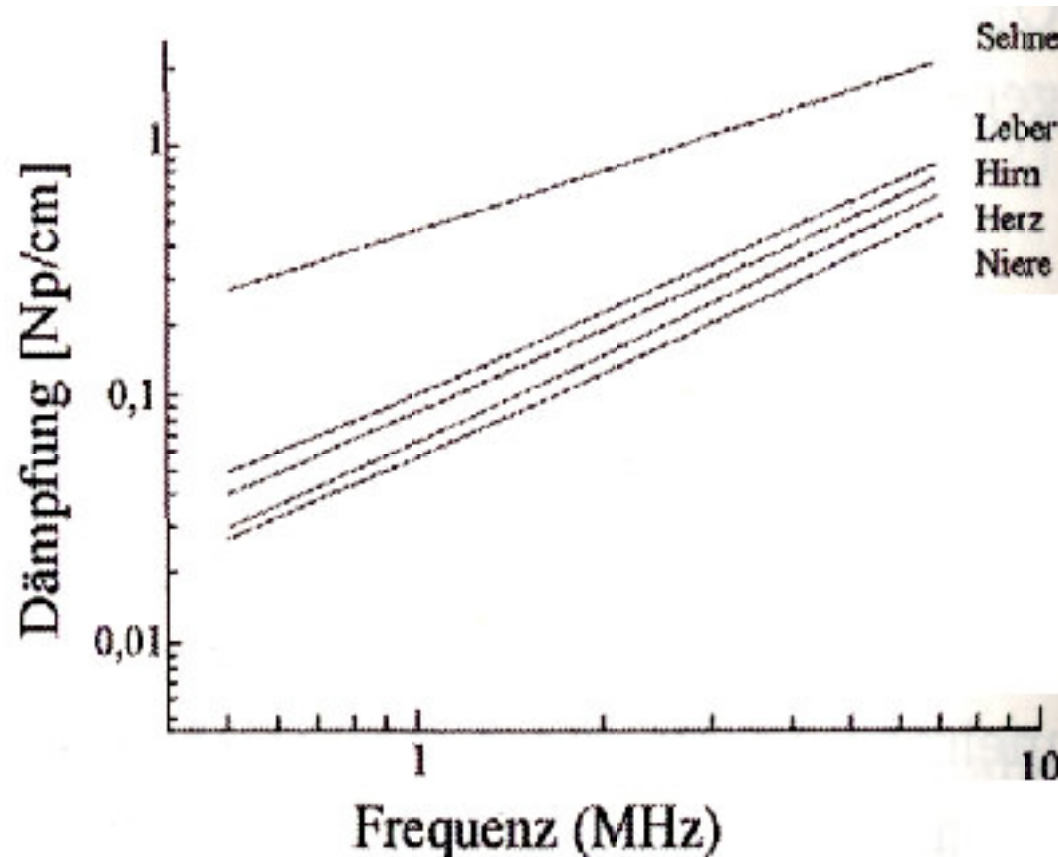


Frequenzabhängigkeit

Bereich	ν -Abhängigkeit	Stärke der Streuung	Beispiel
Geometr. $a \gg \lambda$	ν^α	stark	Gefäße
Stochast. $a \approx \lambda$	unterschiedlich	mittel	Leber
Rayleigh $a \ll \lambda$	ν^4	schwach	Blut

ν [MHz]	Eindring- tiefe [cm]	Anwendung
1	50	
3.5	15	Fötus, Leber
5	10	Gehirn
7.5	7	Prostata
10	5	Pankreas
20	1.2	Auge, Haut
40	0.6	Intravaskulär

Auflösung $\sim 1/\nu$



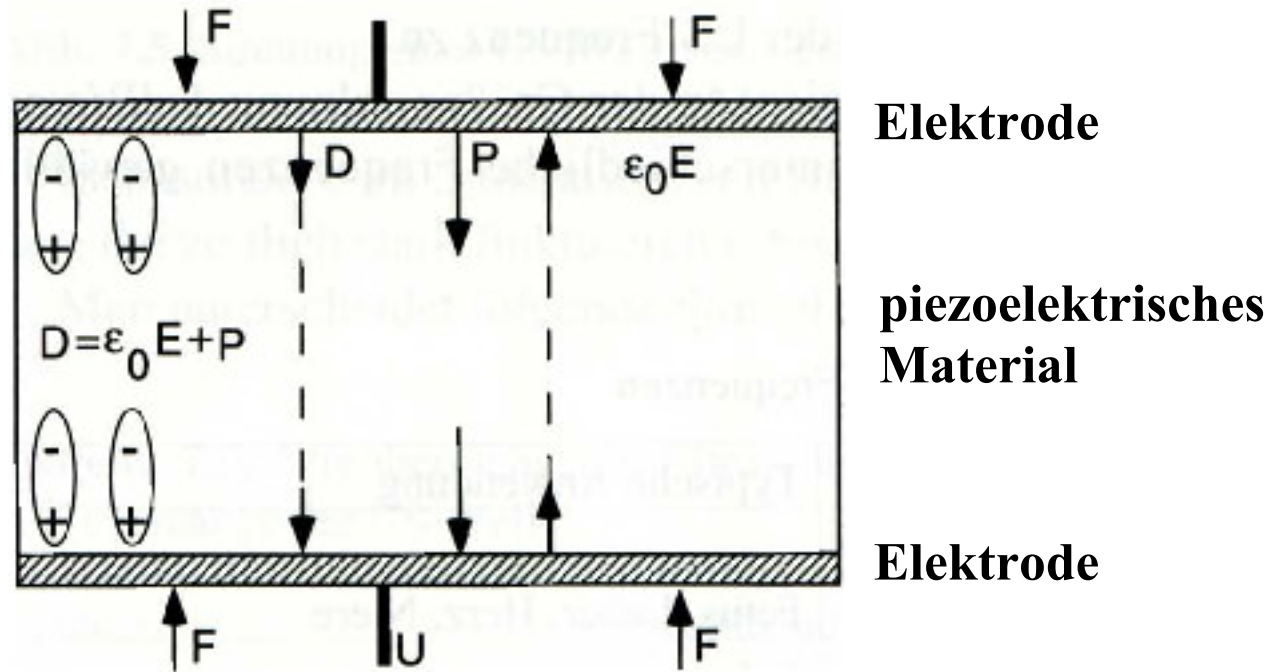
Erzeugung von Ultraschall

Ultraschallwandler = Sender und Empfänger

Sender
elektrisches Feld \vec{E}
erzeugt Dehnung

$$\frac{\Delta L}{L} = d|\vec{E}|$$

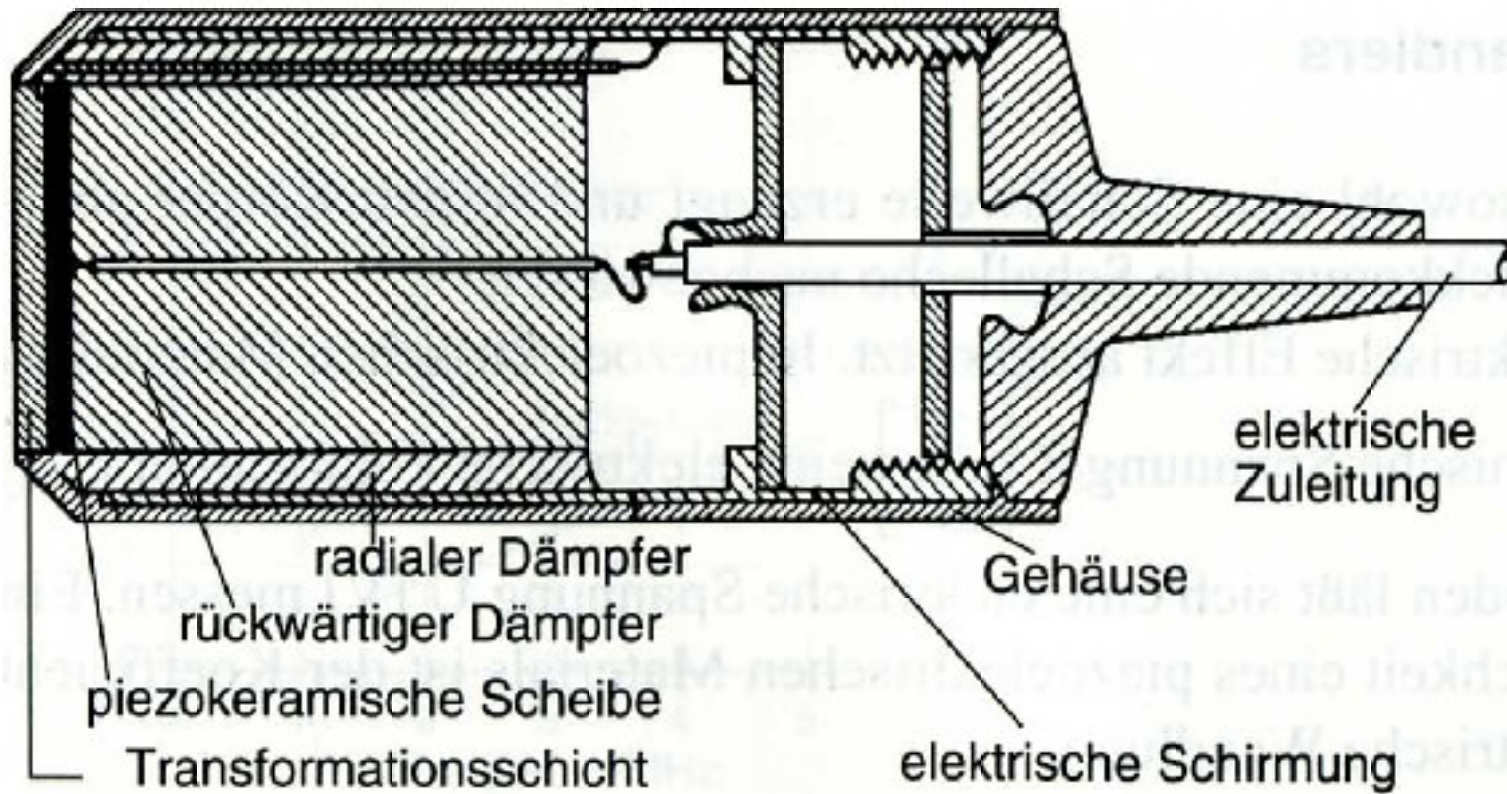
Empfänger:
mechanische Spannung S
erzeugt Polarisation P .
Daraus Spannung $U = gS$



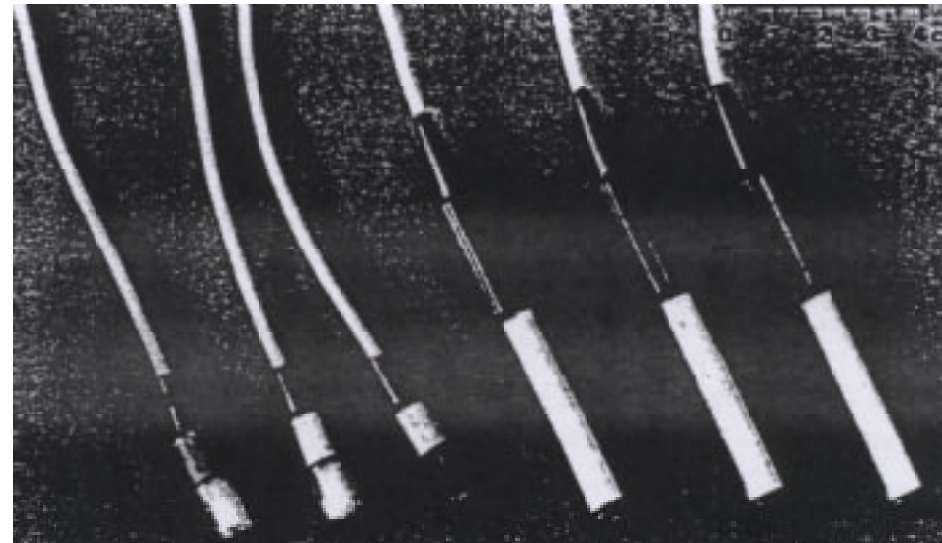
g = elektroakustischer Wandlungskoeffizient

	d [m/V]	g [Vm ² /N]
Quarz	$2.3 \cdot 10^{-12}$	$57 \cdot 10^{-3}$
Bariumtitanat	$150 \cdot 10^{-12}$	$17 \cdot 10^{-3}$
Blei-Zirkon-Titanat	$150 \dots 600 \cdot 10^{-12}$	$20 \dots 40 \cdot 10^{-3}$

Aufbau eines Wandlers



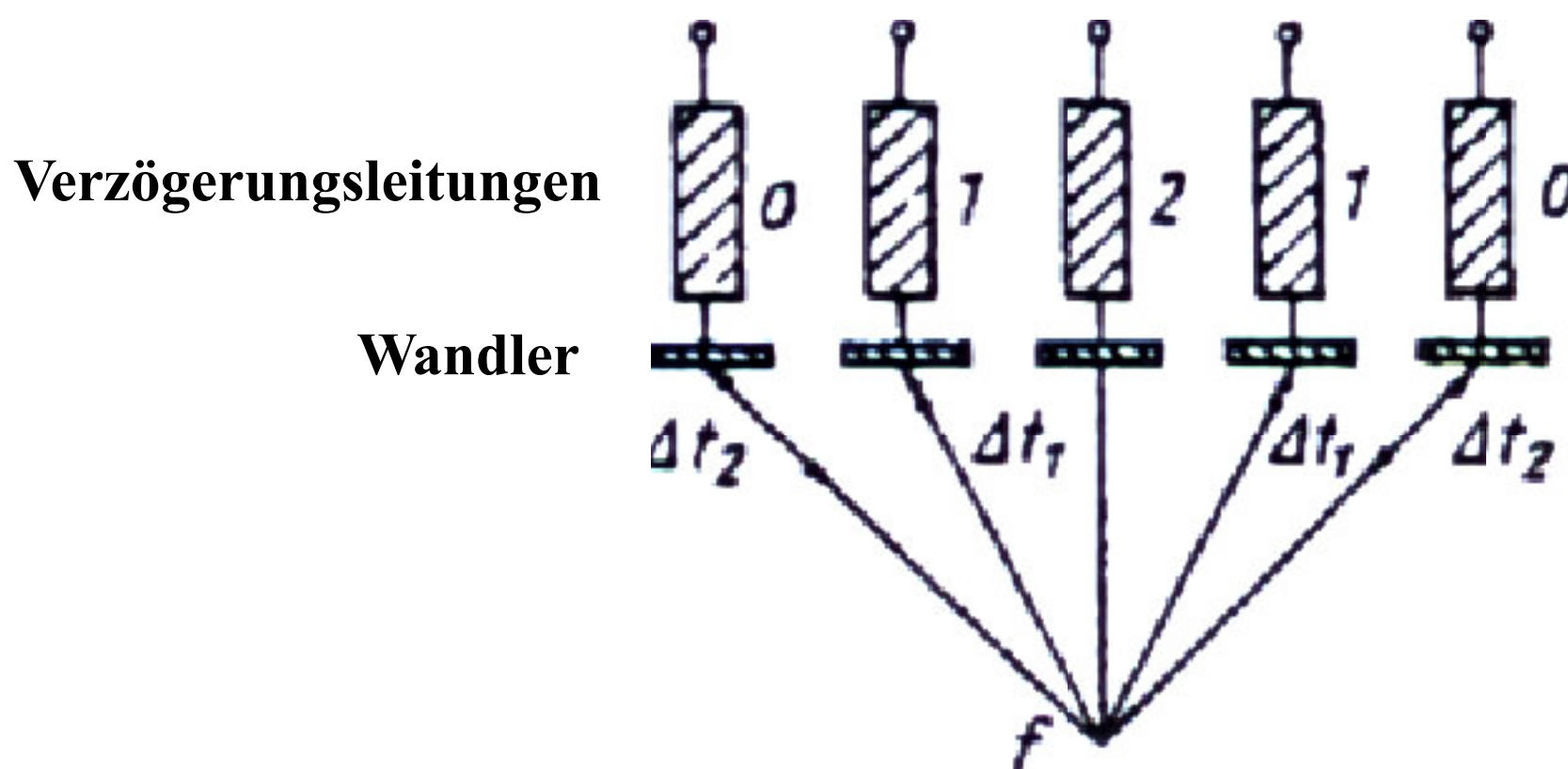
unterschiedliche Messköpfe
links: Biometrie-Messköpfe
rechts: Normalschallköpfe



Multiementwandler

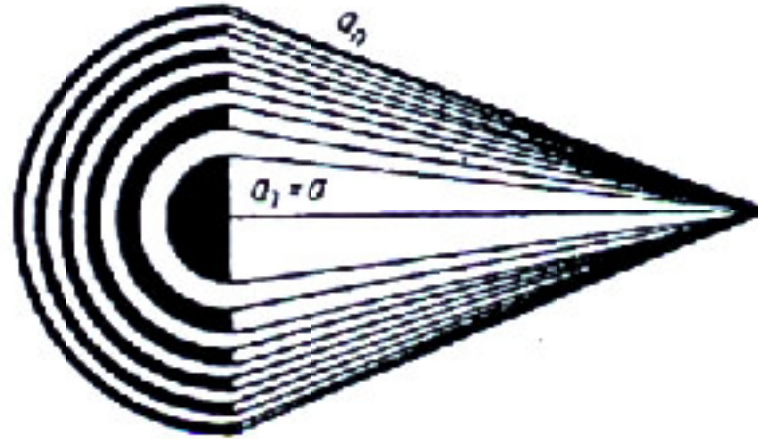
Phasenarray: Steuerung in 1 Dimension

Anregungsimpulse



Die einzelnen Elemente werden phasenverzögert angeregt.
Durch die Wahl der Verzögerung wird der Fokus festgelegt.
Fokussierung senkrecht zur Ebene kann mit Linsen erfolgen.

Fresnelsche Zonenplatte



Bsp.:

$$r_1 = 6,1;$$

$$r_2 = 8,7;$$

$$r_3 = 10,6;$$

$$r_4 = 12,2;$$

$$r_5 = 13,7;$$

$$r_6 = 15,0;$$

$$r_7 = 16,2;$$

$$r_8 = 17,3;$$

$$r_9 = 18,4;$$

$$r_{10} = 19,36;$$

$$r_{11} = 20,3;$$

$$f = 50 \text{ mm,}$$

$$\lambda = 0,75 \text{ mm,}$$

$$f = 2 \text{ MHz}$$

Radius der Ringe zur Schallabstrahlung:

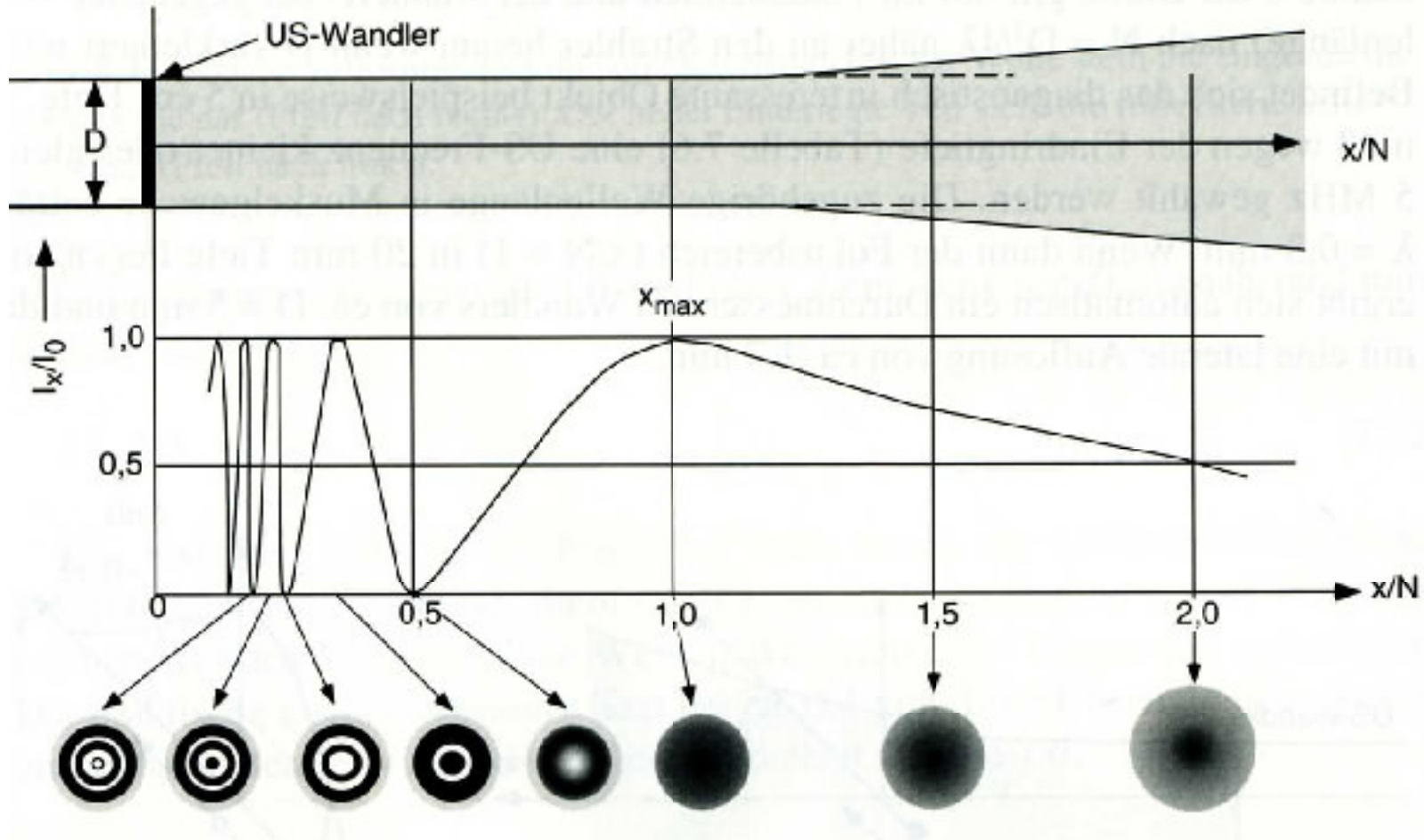
$$r_n = \sqrt{nb\lambda}$$

b = Fokusabstand

λ = Wellenlänge

Schallfeld des Wandlers

Schallfeld eines kreisförmigen Wandlers



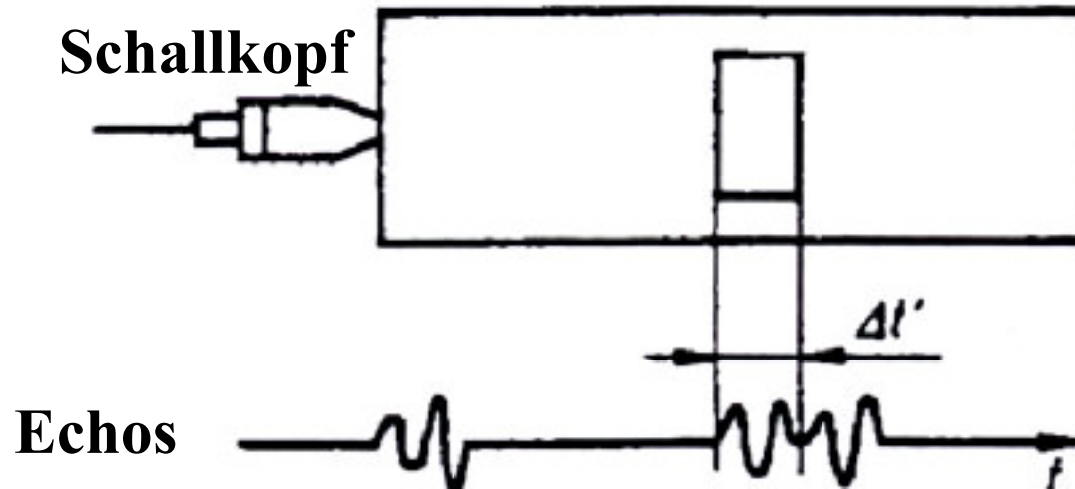
Nahbereich

Formbereich

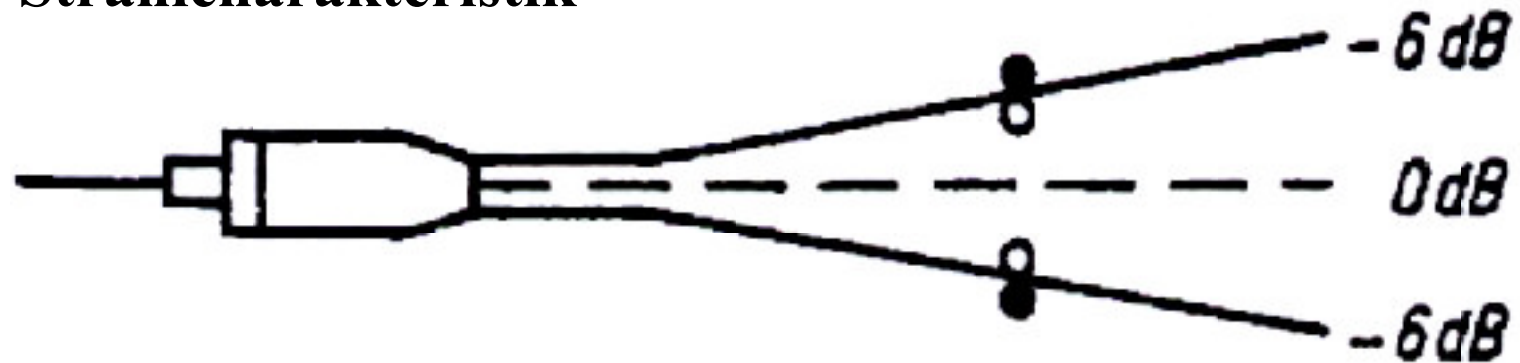
Fokusbereich

Auflösung

Axiale Auflösung



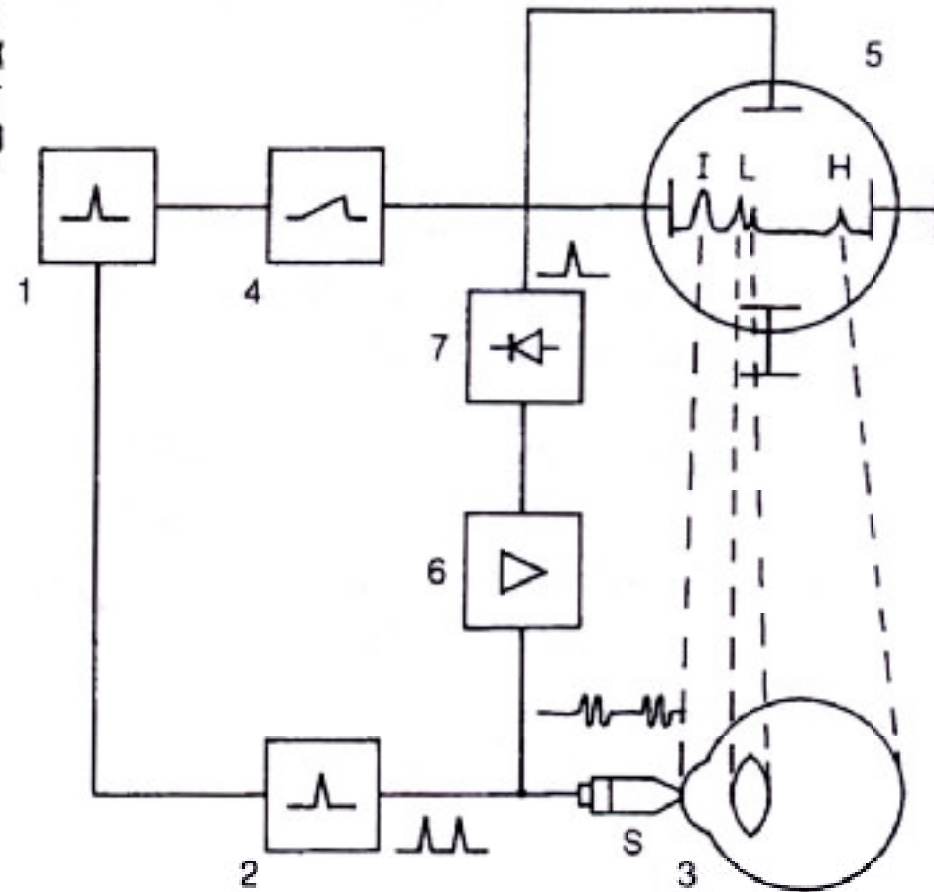
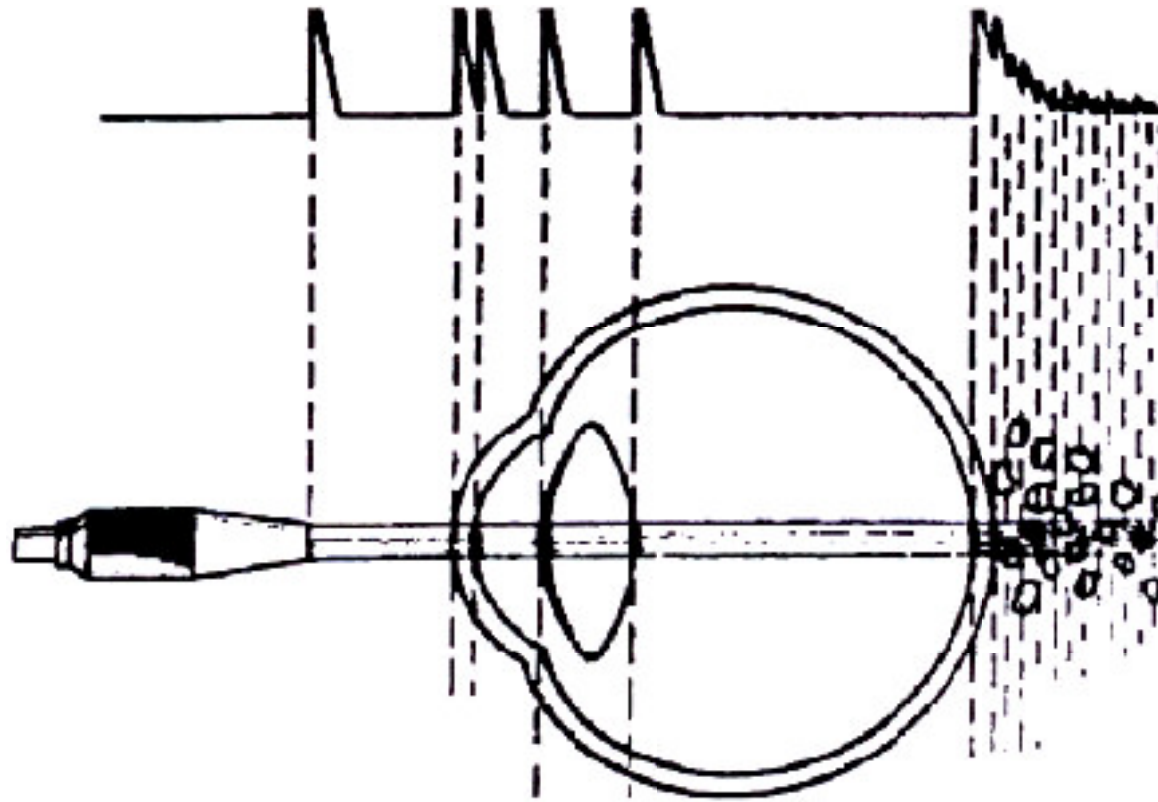
Laterale Auflösung: Strahlcharakteristik



Eindringtiefe

ν [MHz]	$\lambda(\text{Muskel})$ [mm]	Eindringtiefe [cm]	Ortsauflösung [mm]	
			lateral	axial
2	0,78	12	3	0,8
5	0,31	5	1,2	0,4
10	0,16	2,5	0,6	0,2
15	0,1	1,6	0,4	0,15

Sonogramm des Auges



2D Sonogramm

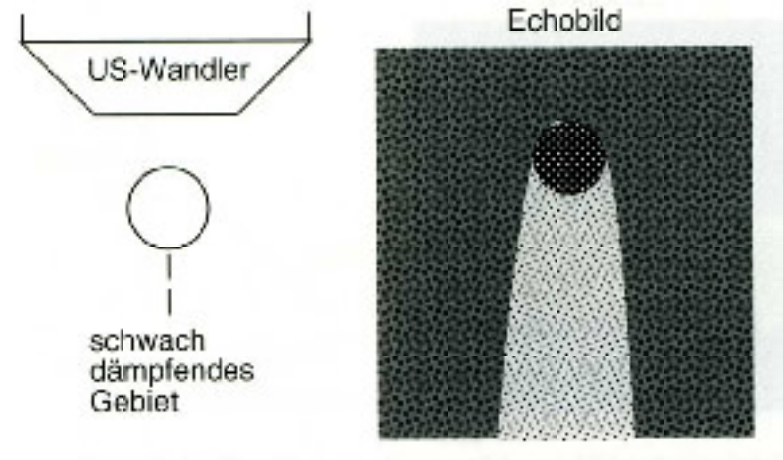


US Tomgraphie

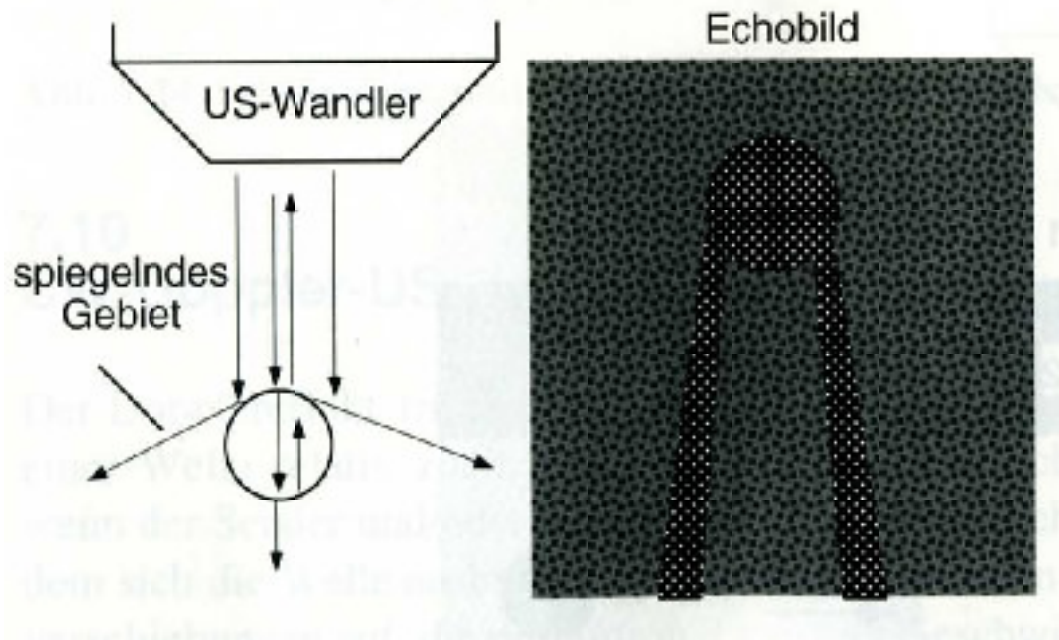


Bildfehler

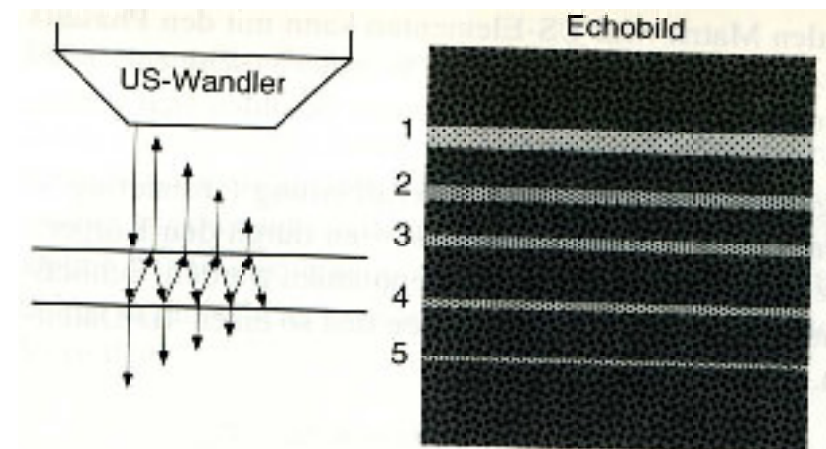
Signalerhöhung hinter schwach dämpfenden Gebieten



Abschattung hinter schrägen Kanten, die stark spiegeln

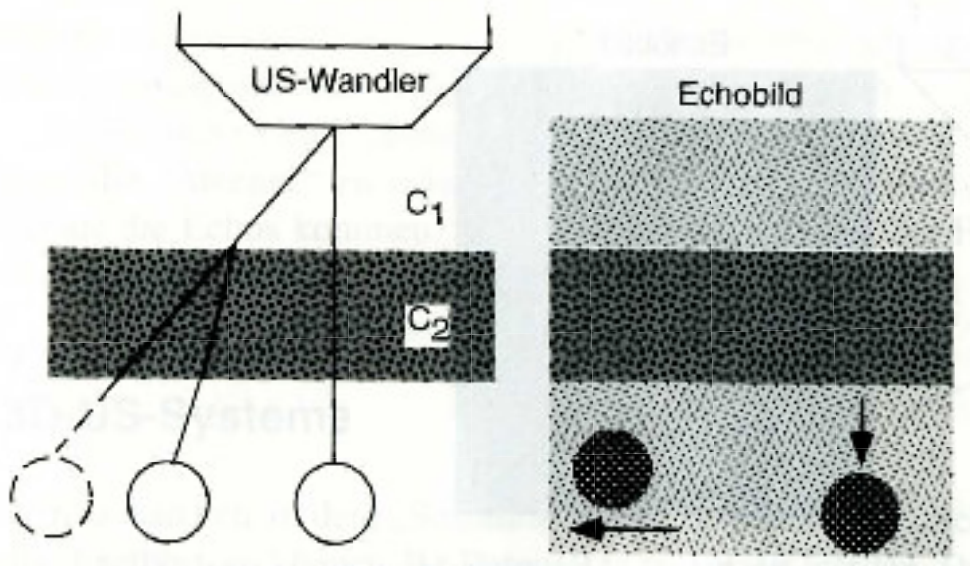
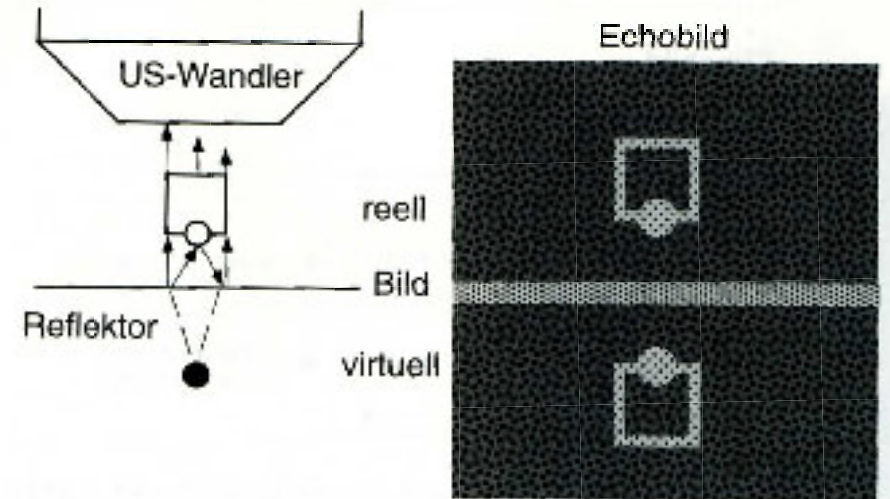


Zwei stark reflektierende, nahezu parallele Ebenen: mehrfach reflektiert



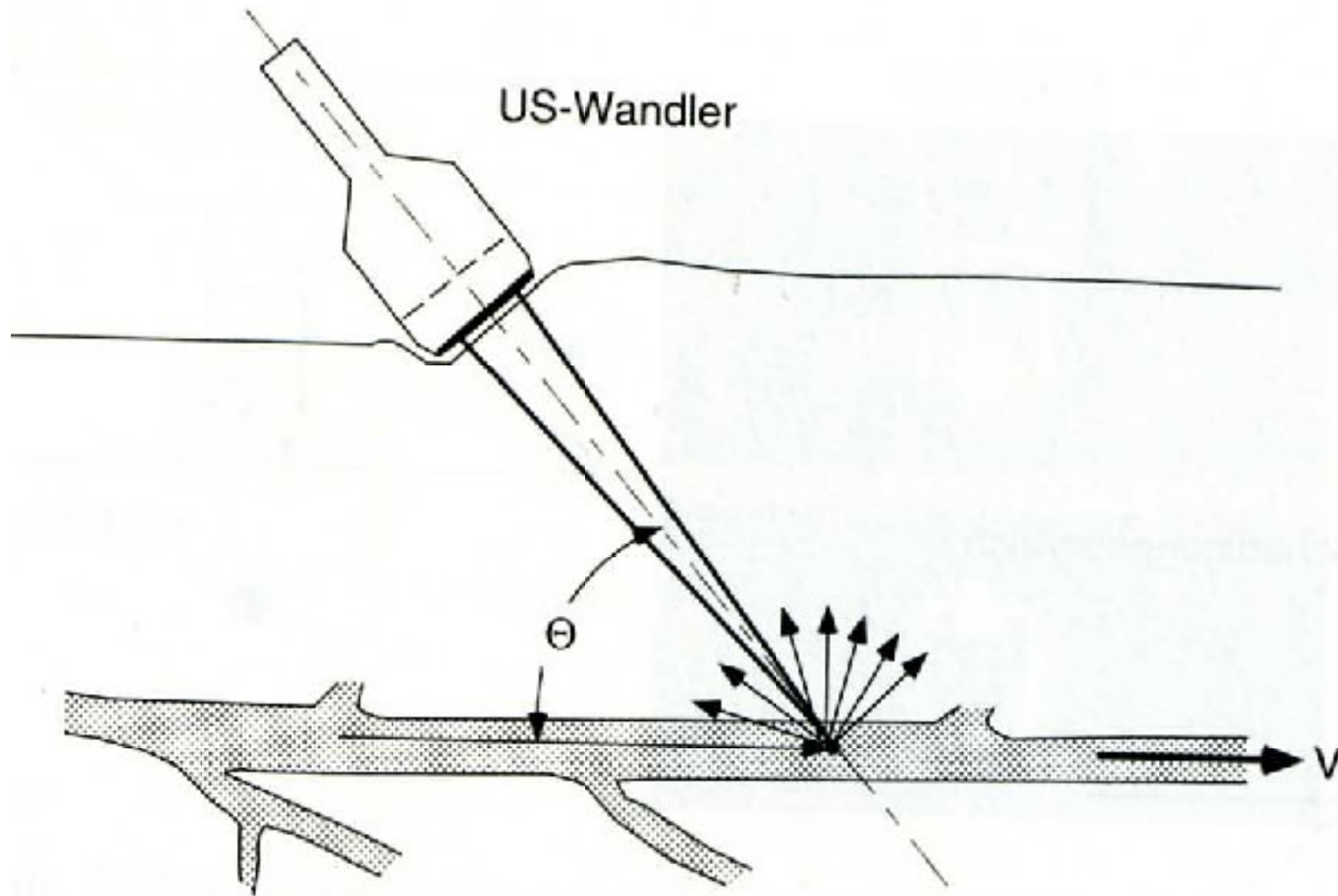
Bildfehler

**Objekte vor stark reflektierenden Flächen
-> virtuelle Bilder**



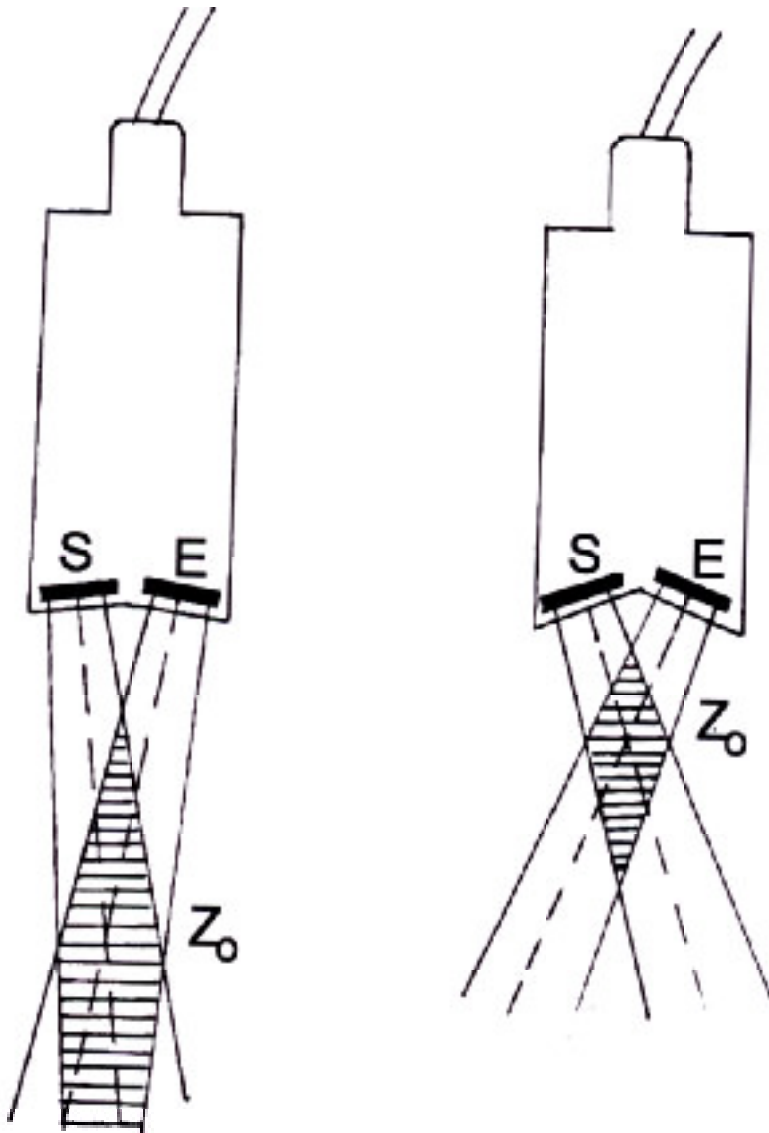
**Objekte hinter Gebiet mit
abweichender Schallgeschwindigkeit:
Verschiebung der Bilder**

Doppler - US



CW Doppler - US

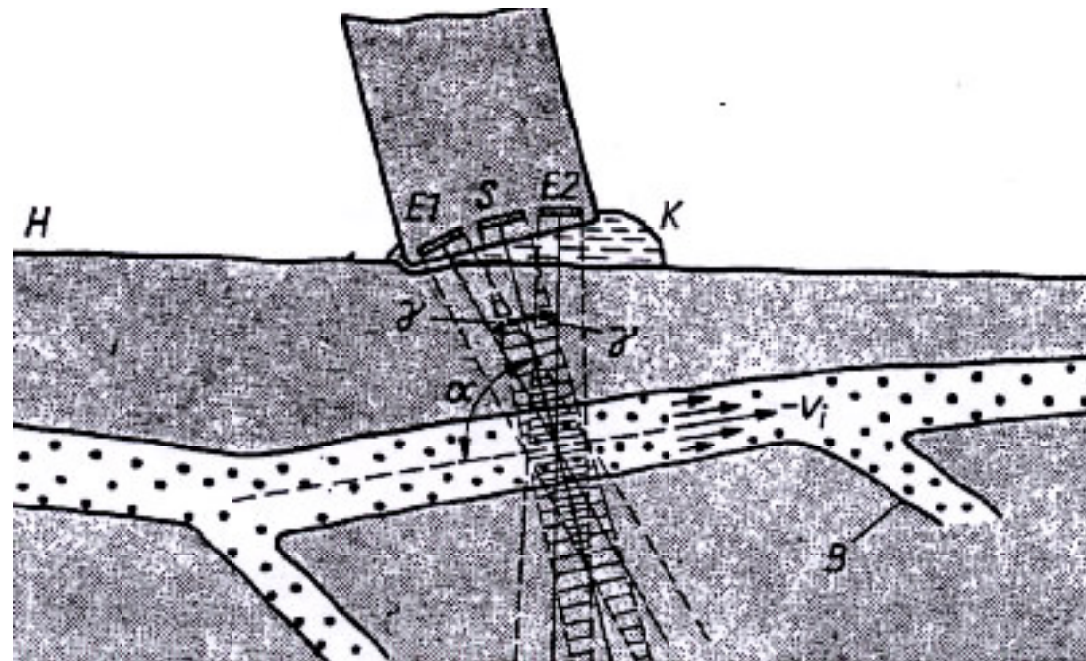
Messkopf für CW Doppler US



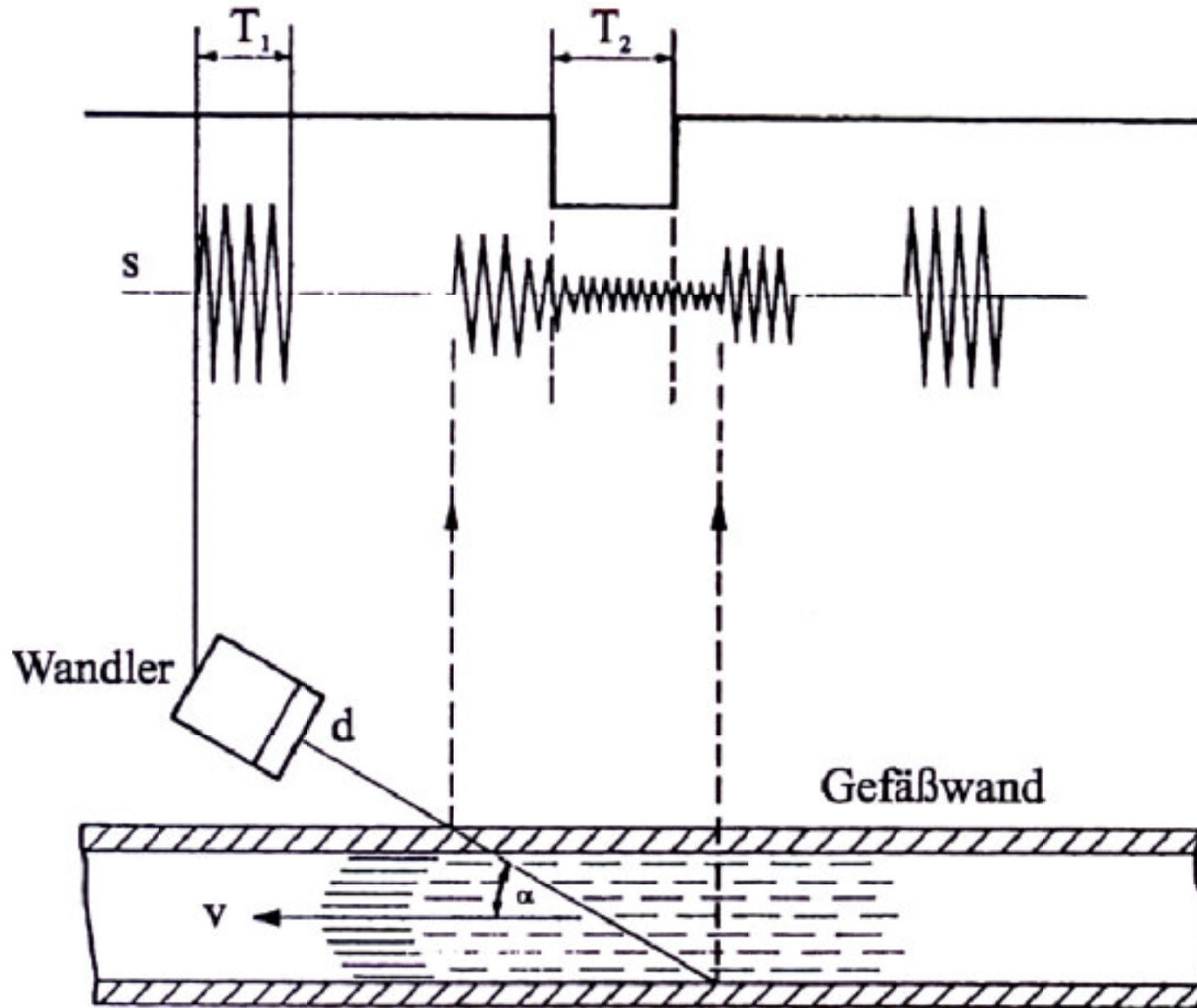
Berechnung der Geschwindigkeit:

$$v_i = \frac{c}{2f_0} \sqrt{(|\Delta f_1 + \Delta f_2|)^2 + k^2 (|\Delta f_1 - \Delta f_2|)^2}$$

mit $k = \frac{1 + \cos\gamma}{\sin\gamma}$

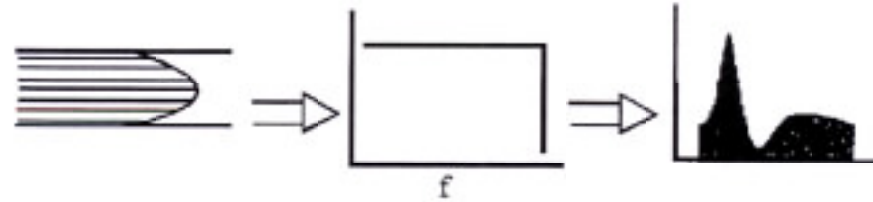


Impuls Doppler - US

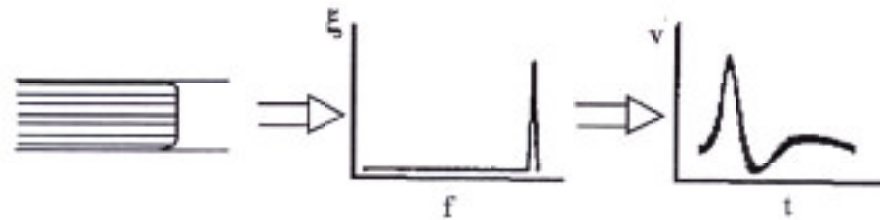


Strömungsprofile

parabolisches Profil



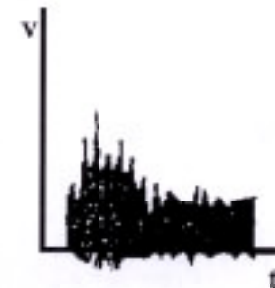
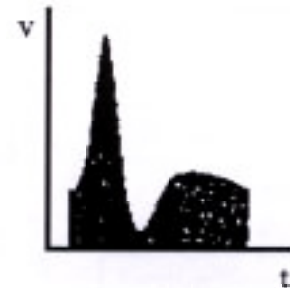
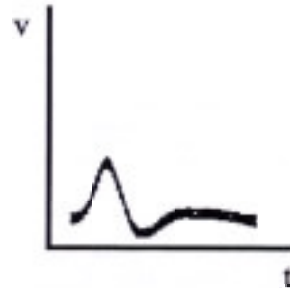
abgeflachtes Profil



Strömungsprofile

FFT

spektrale Geschwindigkeitsverteilung

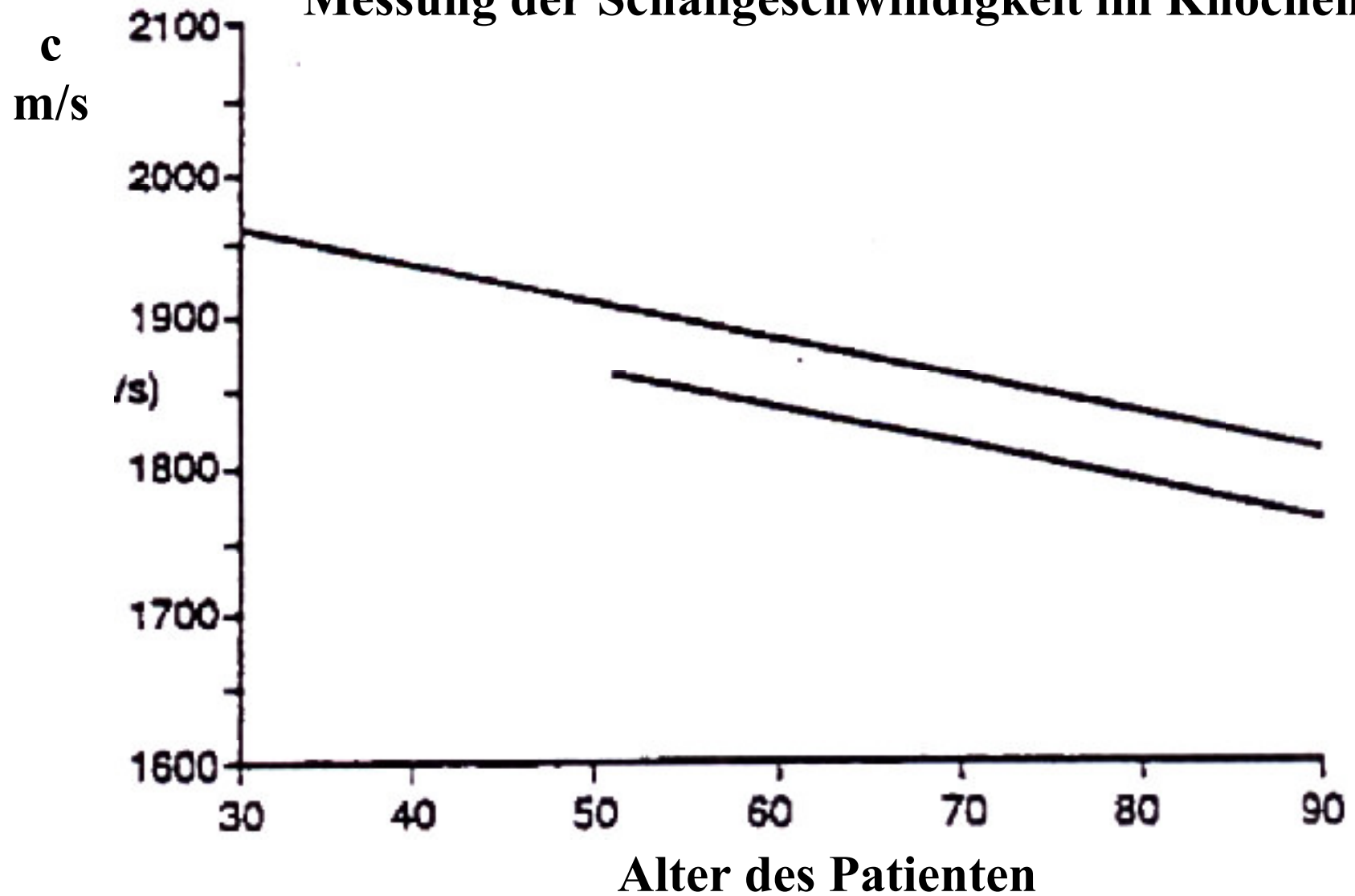


Einengung

Turbulenz

Transmissionsmessung

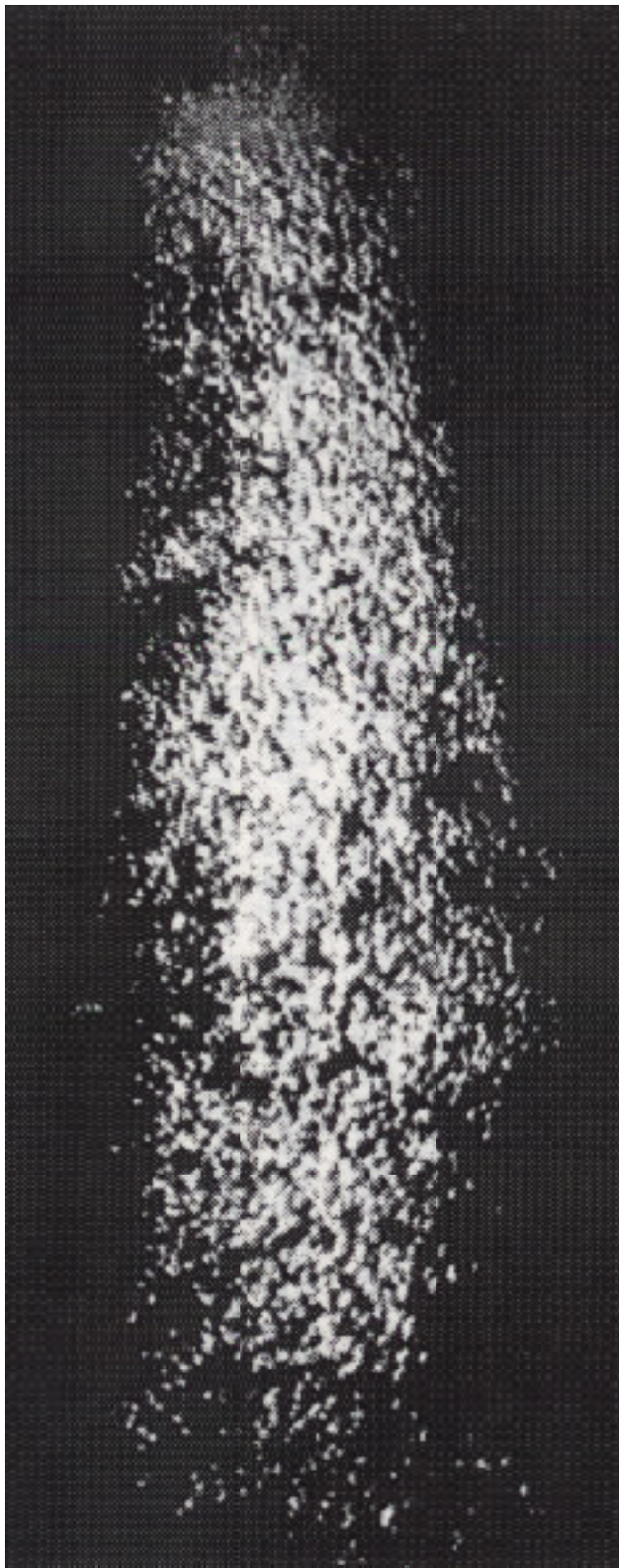
Messung der Schallgeschwindigkeit im Knochen



**Kavitationsblasen in
einem US Strahl**

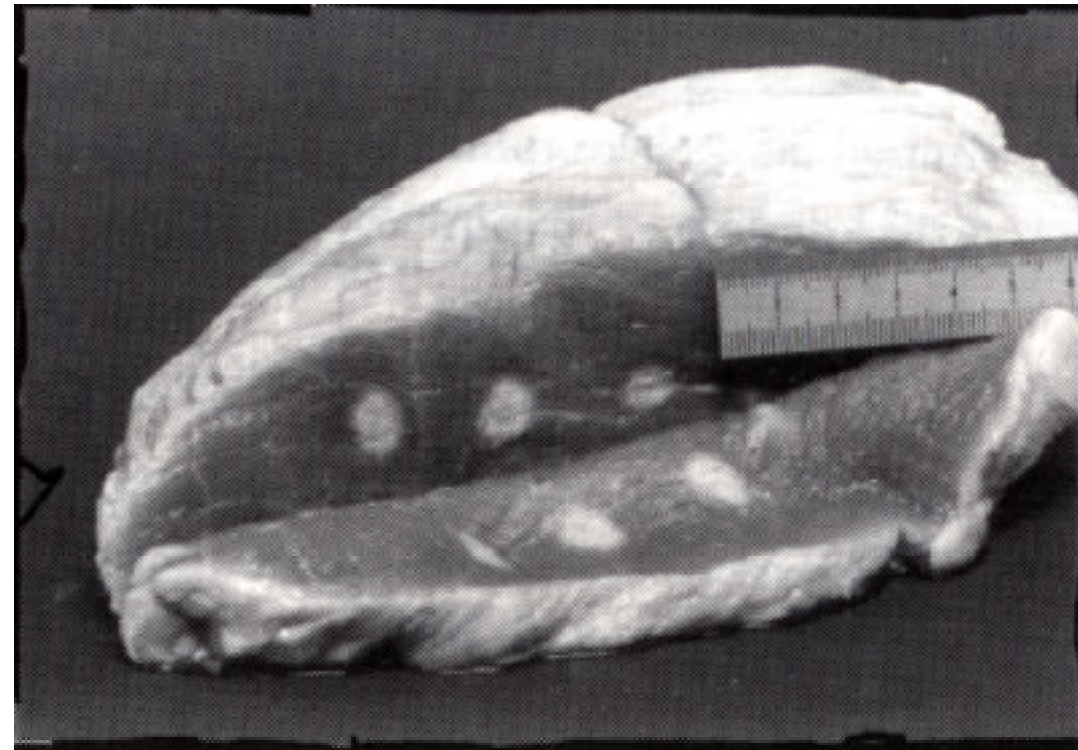
Kavitation

Kavitationan bei einer Schiffsschraube

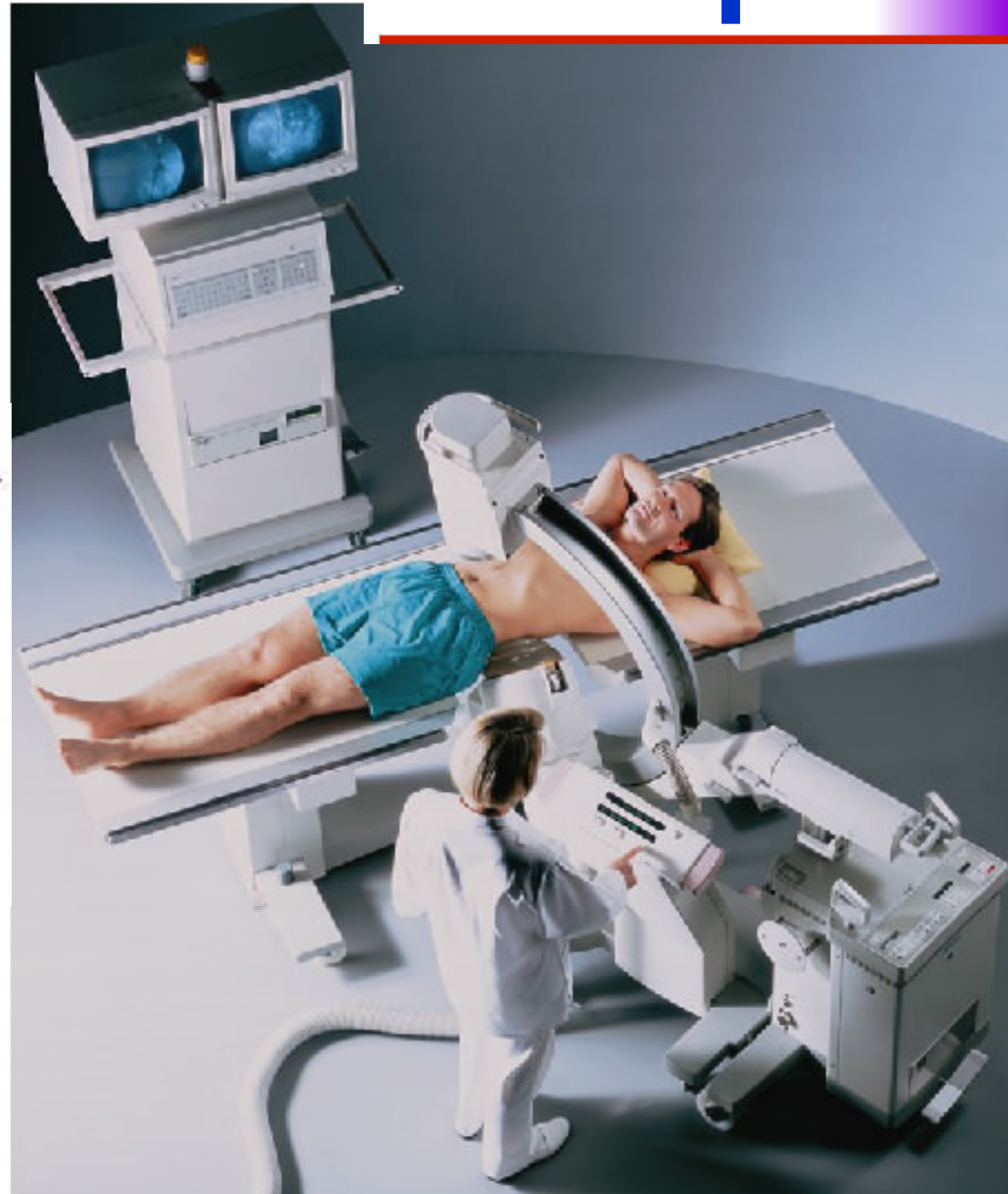
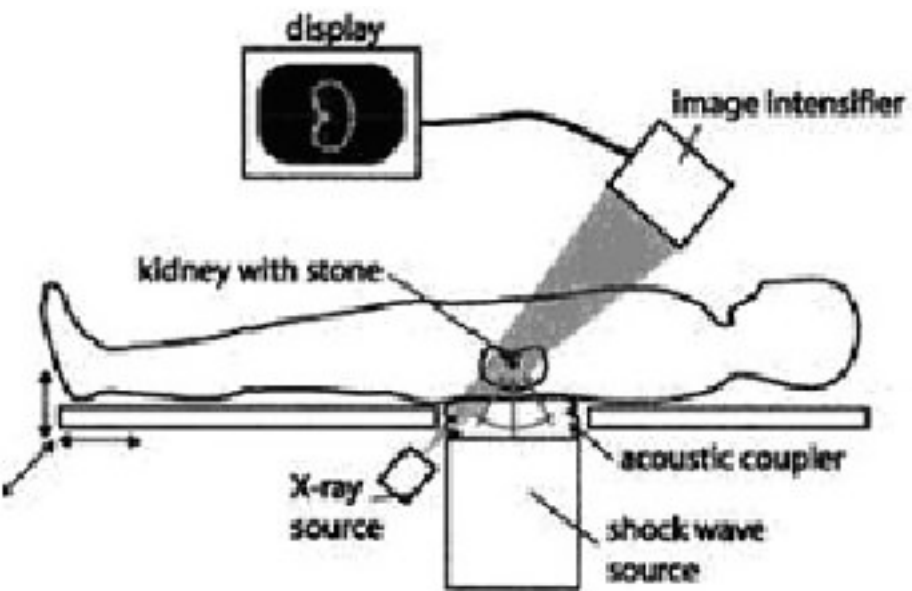


Thermische Effekte

Gewebe	Dämpfung in dB/cm
Blut	0,18
Fett	0,6
Niere	1,0
Muskel _{in Faserrichtung}	1,2
Muskel _{quer z. Faserrichtung}	3,3
Gehirn	0,85
Leber	0,9
Lunge	40,0
Knochen	20,0



Lithotripsie



Sicherheit

