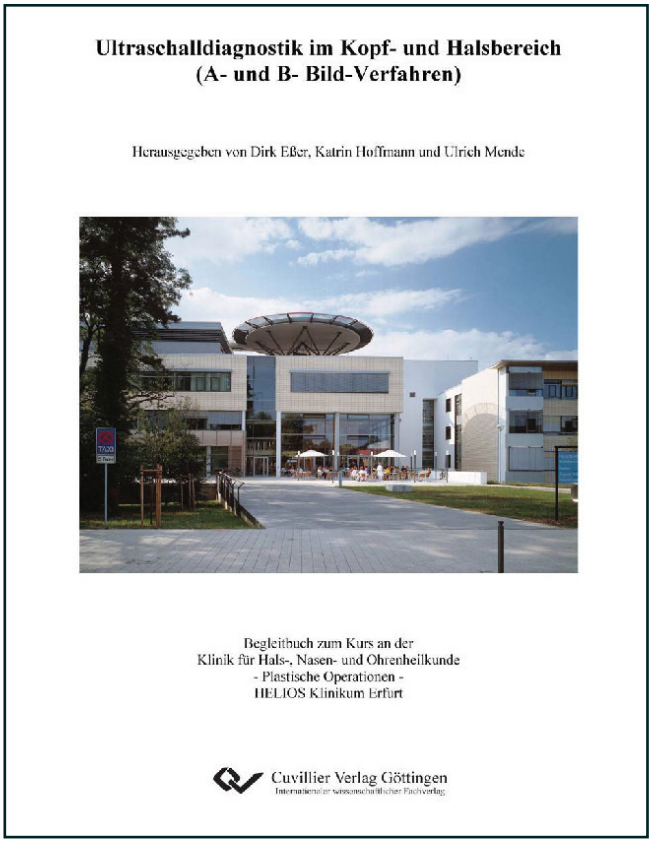
Dirk Eßer (Autor)

Ultraschalldiagnostik im Kopf- und Halsbereich (A- und B- Bild-Verfahren)



Ultraschalldiagnostik im Kopf- und Halsbereich
(A- und B- Bild-Verfahren)

Herausgegeben von Dirk Eßer, Katrin Hoffmann und Ulrich Mende

Begleitbuch zum Kurs an der
Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
- Plastische Operationen -
HELIOS Klinikum Erfurt

Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

https://cuvillier.de/de/shop/publications/885

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

1.2.1 Einführung

Der Schall mit einer Frequenz jenseits der menschlichen Hörschwelle (ab 20 kHz bis 1 GHz) wird als Ultraschall bezeichnet. In der Diagnostik werden Frequenzen zwischen 1 und 40 MHz (Spezialanwendungen bis 100 MHz) bei einer mittleren Schallintensität von 100 mW/cm^2 (Doppler bis 1,5 W/cm^2) verwendet. Mit in der Sonde angeordneten Kristallen, durch den piezoelektrischen Effekt, werden Ultraschallwellen erzeugt. Für die Schallausbreitung in einem Material ist der Widerstand, der der Ausbreitung von Wellen entgegenwirkt (Impedanz), von Bedeutung.
An der Grenzfläche zweier Stoffe mit großem Impedanzunterschied wird der Schall stark reflektiert. Damit der Schall nicht von der Luft zwischen dem Sondenkopf und der Hautoberfläche reflektiert wird, wird die Ultraschallsonde mittels eines stark wasserhaltigen Gels angekoppelt. Die Sonde sendet kurze, gerichtete Schallwellenimpulse aus, die in den Gewebeschichten unterschiedlich stark reflektiert und gestreut werden. Das Maß für die Reflexionsstärke wird als Echogenität bezeichnet.
Die Tiefe der reflektierenden Struktur kann aus der Laufzeit der reflektierten Signale rekonstruiert werden. Die Stärke der Reflexion wird vom Ultraschallgerät als Grauwert auf einem Monitor dargestellt. Strukturen geringer Echogenität sind dabei schwarze, Strukturen hoher Echogenität weiße Bildpunkte. Gering echogen sind vor allem Flüssigkeiten (z. B. Harnblaseninhalt, Blut).Hohe Echogenität besitzen Knochen, Gase und sonstige stark Schall reflektierende Materialien.

1.2.2 Schall- und Schallkenngrößen

Mechanische Schwingungen in einem elastischen Medium (Luft, Festkörper, Flüssigkeiten), die sich in Wellenform mit einer bestimmten Geschwindigkeit (**Schallgeschwindigkeit**) ausbreiten, werden als Schall bezeichnet. Die charakteristischen Größen, die die Schallausbreitung kennzeichnen, sind neben der Schallgeschwindigkeit noch die Wellenlänge und die Frequenz.

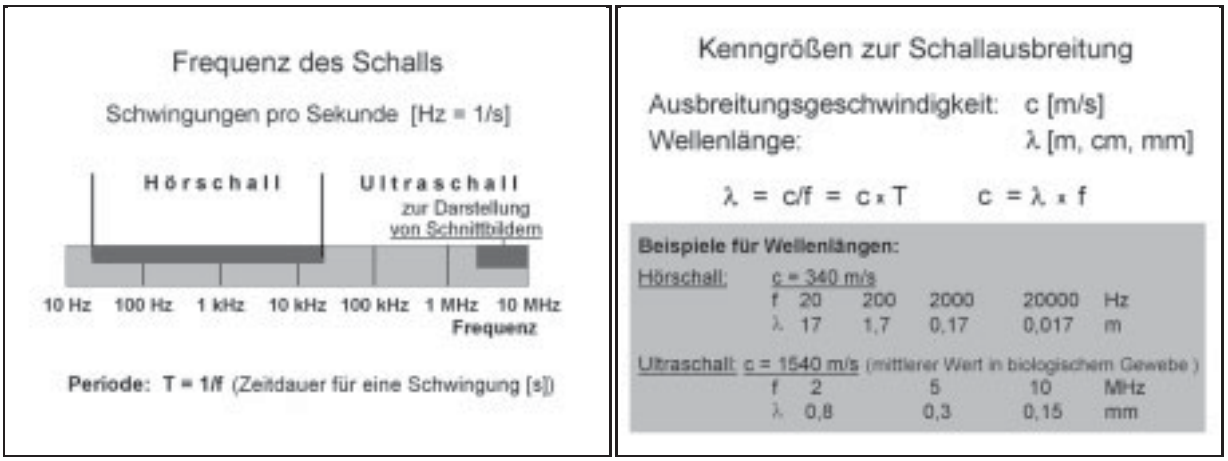


Abb. 1: *Frequenzbereiche für den hörbaren Schall und den Ultraschall (links) sowie Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit c, Frequenz f und Wellenlänge λ des Schalls (rechts) [nach Tietze 05].*

1.2.3 Schallausbreitung

Für die Schallausbreitung gibt es zwei Wellenarten:

- **Longitudinalwellen**:
  Die Mediumteilchen schwingen in Ausbreitungsrichtung (in gasförmigen, flüssigen und festen Medien möglich). Biologisches Gewebe verhält sich etwa wie ein flüssiges Medium.

- **Transversalwellen**:
  Die Teilchen können außer in Ausbreitungsrichtung auch senkrecht (quer) dazu schwingen (in festen Körpern möglich und bei Oberflächenwellen in Flüssigkeiten).

Die geringe Wellenlänge von 0,8 ... 0,15 mm im Frequenzbereich von 2 ... 10 MHz ist der entscheidende Grund für die Auswahl der Schallfrequenz, da in erster Linie die Wellenlänge die Abbildungsgenauigkeit (Auflösung) bei der Untersuchung bestimmt! Dies wird durch die Abbildung 2 (hier mit dem bekannten Versuch an Oberflächenwellen von Wasser) verdeutlicht.

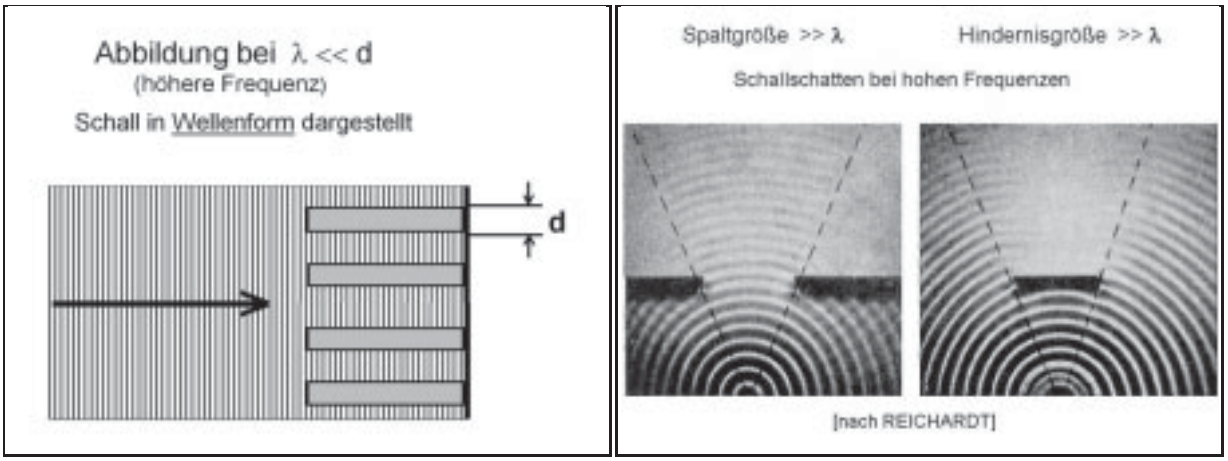


Abb. 2: *Ein ausreichend deutlicher „Schallschatten“ durch ein Hindernis im Ausbreitungsfeld des Schalls entsteht nur dann, wenn die Wellenlänge wesentlich kleiner ist als die Spalt- oder Hindernisgröße [aus Tietze 05].*

Bei der Schallausbreitung im Gewebe kann es zu:

- Reflexion
- Absorption
- Brechung
- Streuung

kommen.

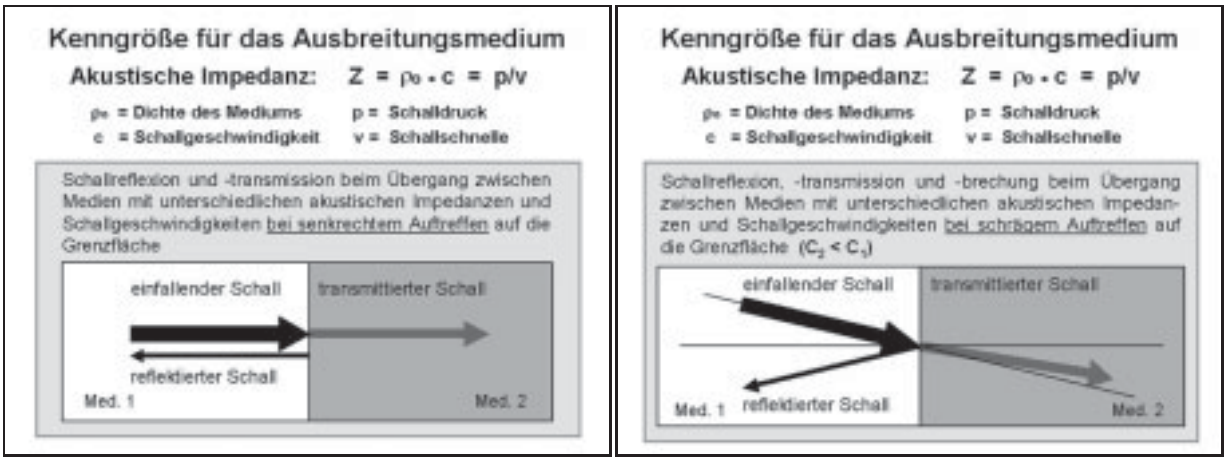


Abb. 3: *Die wichtigsten Kenngrößen für ein Schallausbreitungsmedium sowie Schallreflexion, -transmission und -brechung beim Übergang zwischen Medien mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften [Quelle: Tietze 05].*

Der **Reflexionsfaktor** beträgt

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

Grenzfall bei $Z_1 = Z_2 \quad \Rightarrow \quad \underline{R = 0}$

Grenzfall bei $Z_1 \gg Z_2 \quad \Rightarrow \quad \underline{R \approx 1}$

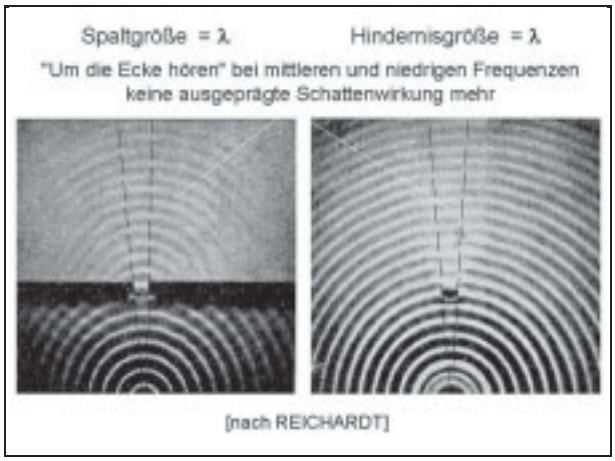


Abb. 4: *Ist die Wellenlänge des Schalls in der Größe des Hindernisses oder des Spaltes, dann ist durch die Beugung des Schalls an den Kanten keine scharfe Abbildung mehr möglich [Quelle: Tietze 05].*

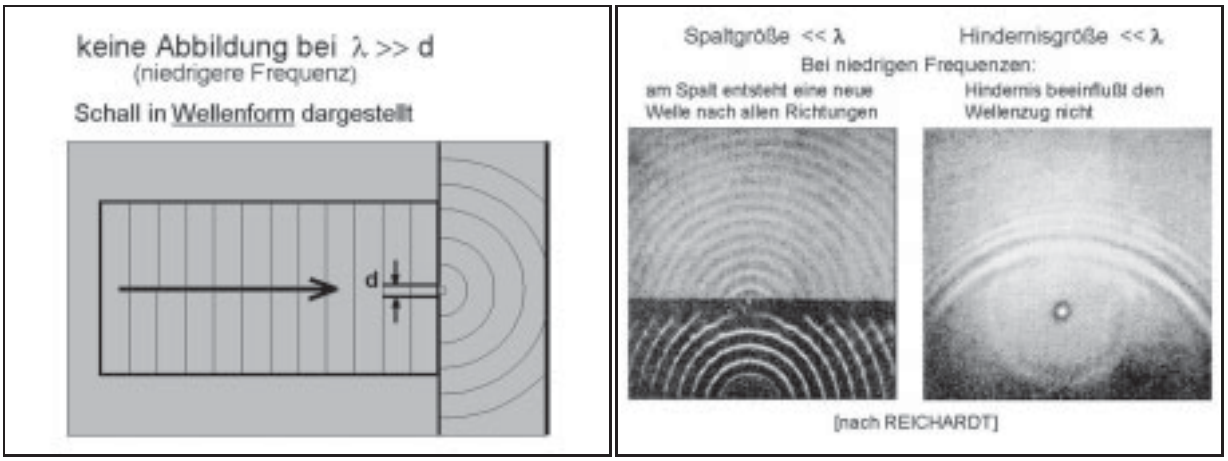


Abb. 5: *Bei einer im Vergleich zu Hindernis oder Spalt sehr großen Wellenlänge ist überhaupt keine Abbildung mehr möglich. Hinter dem Spalt entsteht eine neue Welle, die sich nach allen Richtungen ausbreitet. Das Hindernis wird von der ankommenden Welle fast vollständig „umgangen"[Quelle: Tietze 05].*

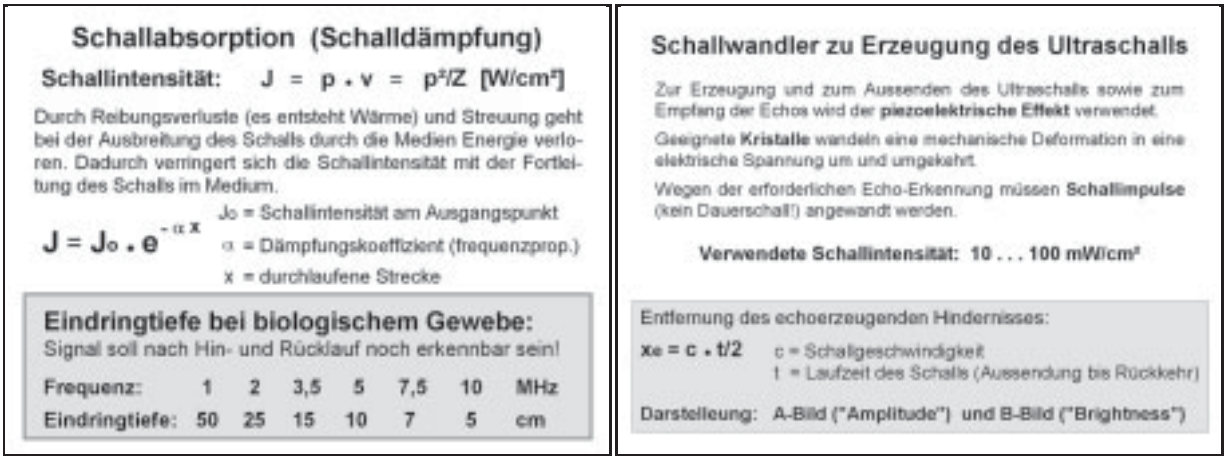


Abb. 6: *Schallabsorption und Eindringtiefe in biologisches Gewebe. Für die Schallwandler wird der piezoelektrische Effekt ausgenutzt. Um das Schallecho erkennen zu können, muß mit Schallimpulsen gearbeitet werden [Quelle: Tietze 05].*

Bereich	Frequenz-abhängigkeit	Stärke der Streuung	Beispiel
a>>λ, „Geometrischer Bereich"	f^0	stark	Gefäße
a~ λ, „Stochastischer Bereich"	verschieden	mittel	Leber
a<< λ, „Rayleigh Bereich"	f^4	schwach	Blut

a: Größe der streuenden Inhomogenitäten,
λ: Wellenlänge der US-Welle

Abb. 7: *Streubereiche für Ultraschall*

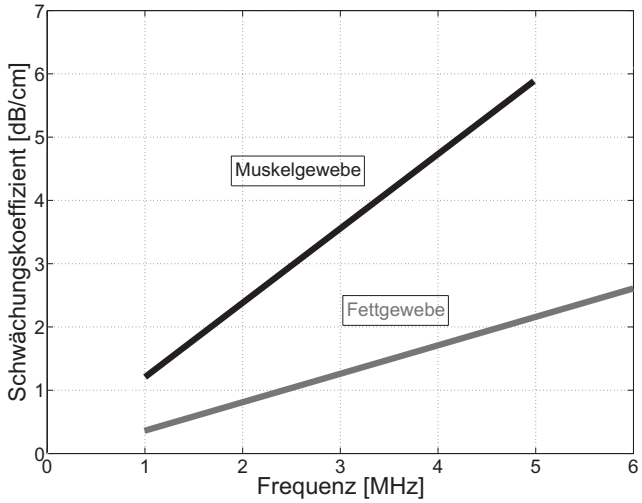


Abb. 8: *Schallabsorbtion im Gewebe*

Frequenz [MHz]	Eindringtiefe [cm]	Typische Anwendung
1	50	
3,5	15	Fetus, Leber, Herz, Niere
5	10	Gehirn
7,5	7	Prostata
10	5	Pankreas (intraoperativ)
20	1,2	Auge, Haut
40	0,6	Intravaskulär

Abb. 9: *Abhängigkeit der Eindringtiefe von der Ultraschallfrequenz*

1.2.4 Auflösung

Das Maß für die Fähigkeit eines Messgeräts nah beieinander liegende Objekte getrennt wahrnehmen zu können, wird als örtliches Auflösungsvermögen bezeichnet. Es wird zwischen Auflösungsvermögen in Richtung der Strahlachse (axial) und senkrecht zur Achse (lateral) unterschieden.

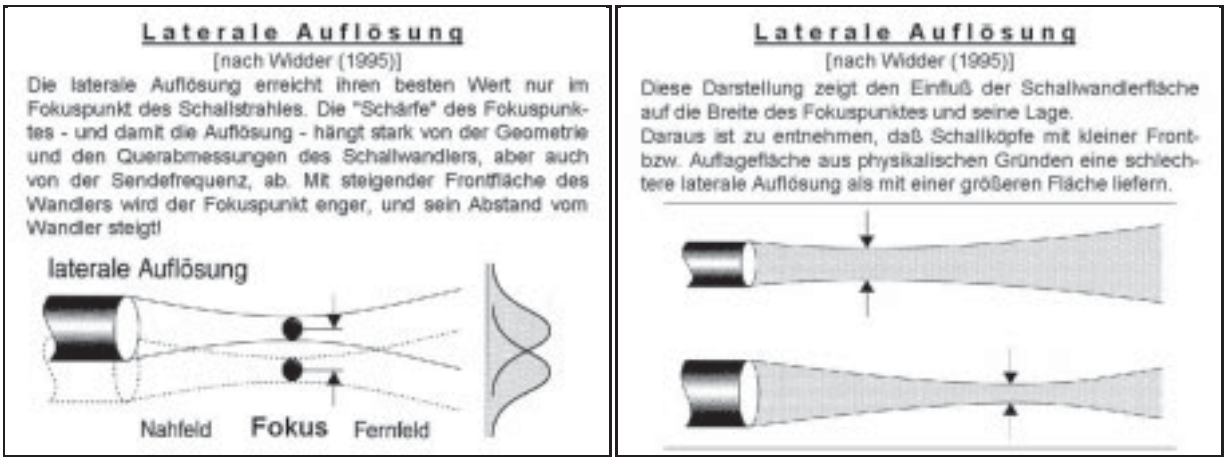


Abb. 10: *Abhängigkeit der lateralen Auflösung von der Lage des Fokuspunktes sowie der Geometrie und den Querabmessungen des Schallwandlers [Quelle: Tietze 05].*

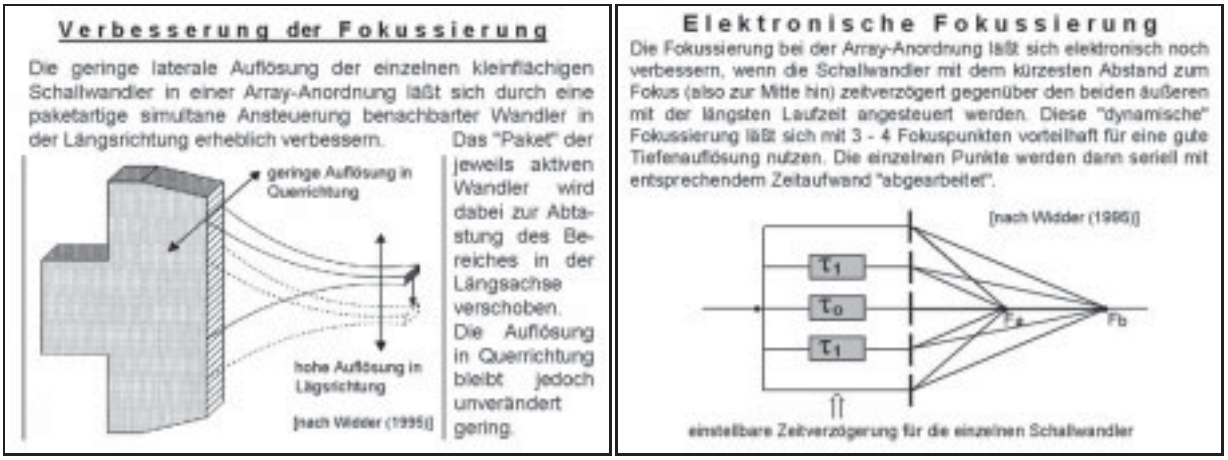


Abb. 11: *Verbesserung der Fokussierung durch eine umschaltbare Array-Anordnung von Wandlern zur Vergrößerung der Wandlerfläche in einer Richtung (links). Möglichkeit der elektronischen (dynamischen) Fokussierung, bei der mehrere Fokuspunkte gewählt werden können (rechts) [Quelle: Tietze 05].*