

Grundlagen der Ultraschalldiagnostik

Ultraschall wird in der Natur (Fledermaus) und in technischen Bereichen (Echolot) erfolgreich zur Ortung und Messung eingesetzt. In der Medizin untersucht man seit mehr als 50 Jahren Gewebestrukturen mit Hilfe des Ultraschalls. Die Qualität des Untersuchungsablaufes (Einstellung, Schallkopfposition, Ankopplung) und der Interpretation der Befunde wird wesentlich bestimmt durch die Kenntnis und Beachtung physikalischer Gesetzmäßigkeiten und Gegebenheiten. Sie bestimmen auch die Anforderungen an die verwendeten Geräte für die Untersuchung und Dokumentation. Im folgenden Kapitel sollen die für die Ultraschalluntersuchung wichtigsten physikalischen Grundlagen dargestellt werden.

Für eine erfolgreiche Diagnostik im Ultraschallbereich sind – nicht nur auf der Basis physikalischer Grundlagen – einige Besonderheiten zu beachten. Sie beziehen sich auf:

- Gerätschaft: Auswahl, Aufstellung, Einstellung;
- Untersuchungsablauf: Vorgehen, Beurteilung, Dokumentation, Terminologie.

Kenntnisse in diesen Bereichen erleichtern das Vorgehen bei der Untersuchung, machen die Untersuchungsergebnisse reproduzierbar und steigern die Qualität des Verfahrens. In den Kapiteln 1.2 und 1.3 werden praktische Hinweise zu diesen Fragen gegeben.

1.1 Physikalische Grundlagen der Sonographie

1.1.1 Schall

Der Wiener Arzt L. Auenbrugger war der Erste, der Schall bei der Untersuchung des menschlichen Körpers einsetzte. Er empfahl die Perkussion als diagnostisches Mittel. Als älteste Schalluntersuchung lässt sie bekanntlich Rückschlüsse auf Größe und Beschaffenheit der im Körperinneren gelegenen Organe zu.

Ultraschall nutzt dieselben physikalischen Zusammenhänge in der Diagnostik, seine Anwendung ist dadurch noch erweitert, dass diese Schwingungen optisch sichtbar gemacht werden können und aufgrund ihrer kleinen Wellenlänge gut zu bündeln und damit gezielt auszurichten sind.

Die Kenntnis der physikalischen Gegebenheiten bei der Ultraschalluntersuchung ist für die Interpretation der bei der Untersuchung erhobenen Befunde von entscheidender Bedeutung. Damit ist die Diagnostik im eigentlichen Sinn nur möglich, wenn genügend physikalische Grundkenntnisse vorhanden sind. Voraussetzung für das Erkennen der diagnostischen Möglichkeiten in der Ultraschalldiagnostik, aber auch deren Grenzen, ist das Verständnis der Technik und die Kenntnis der Physik der Ultraschallvorgänge.

Schallvorgänge sind elastische Schwingungen von Materie. Im Gegensatz zur elektromagnetischen Welle (Lichtwelle) ist die Schallwelle mit longitudinaler und transversaler Ausbreitung an Materie gebunden. Sie ist eine Folge von zeitlich und räumlich sich ausbreitenden Verdichtungen und Verdünnungen in Flüssigkeiten und festen Körpern.

Die Schallerscheinungen gehören damit den Gesetzmäßigkeiten der Akustik zu. Sowohl der hörbare Schall als auch der Ultraschall

- Infraschall <16 Hz,
- Hörschall 16 Hz–16 kHz,
- Ultraschall 16 kHz–1 GHz,
- Hyperschall >1 GHz,
(1 kHz= 10^3 Hz, 1 MHz= 10^6 Hz, 1 GHz= 10^9 Hz.)

regen Materieteilchen zu elastischen Schwingungen um ihre Ruhelage in longitudinaler Richtung (Longitudinalwellen) an.

Aufgrund der elastischen Koppelung der Teilchen untereinander wird die Anregung zur Bewegung in Ausbreitungsrichtung weitergegeben. Die Materie selbst schwingt dabei nur, sie bewegt sich nicht fort. Die Schwingungen sind also an Materie gebunden, eine Fortleitung ohne Materie ist damit nicht möglich. Transitorische Wellen (z.B. elektromagnetische Wel-

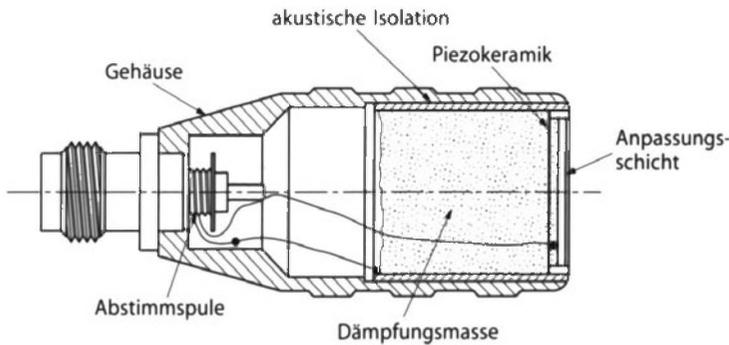


Abb. 1. Schallkopf

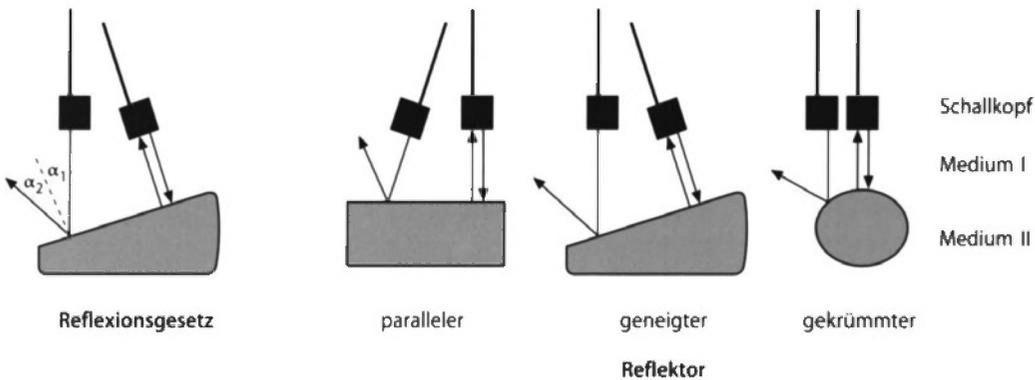


Abb. 2. Reflexionsgesetze; Darstellung durch veränderte Schallkopfpositionen und variable Reflektoren

len: Röntgen, Funk) können sich im Gegensatz dazu auch ohne Materie ausbreiten.

1.1.2

Erzeugung und Messung von Ultraschall: piezoelektrischer Effekt

Zur Erzeugung von Ultraschall nutzt man den piezoelektrischen Effekt. Elektrische Energie, von einem Hochfrequenzsender (Abb. 1) erzeugt, deformiert den piezoelektrischen Kristall und wird dadurch in mechanische Energie umgewandelt, die sich in dem zu untersuchenden Gewebe ausbreitet. Der Vorgang ist umkehrbar. Reflektierte mechanische Energie deformiert den Kristall ebenso und kann dadurch in elektrische Energie umgewandelt werden, die auf einem Oszillographen sichtbar oder mittels Printer dargestellt wird.

Der Schallkopf dient bei der Ultraschalluntersuchung damit als Sender und Empfänger, ihm kommt die größte Bedeutung zu. Er bestimmt neben der Eindringtiefe auch die axiale und laterale Auflösung durch seine Sendefrequenz und Fokussierung. Die Auflösung nimmt dabei mit steigender Frequenz (bzw. abnehmender Wellenlänge) zu.

1.1.3

Physikalische Grundgesetze der Ausbreitung einer Schallwelle

Die Ultraschallwelle kann in ihrer Ausbreitung an Grenzschichten verschiedener Medien

- reflektiert,
- gebrochen,
- absorbiert,
- gestreut,
- gebeugt,
- interferiert

werden.

1.1.3.1

Reflexion, Brechung

Die wichtigsten Eigenschaften bei der medizinischen Anwendung sind dabei die Reflexion und die Brechung.

Der Ultraschallstrahl wird reflektiert, wenn er auf ein Medium trifft, das eine andere Dichte besitzt als das davorliegende. Dabei tritt das Reflexionsgesetz (Abb. 2) in Kraft: der Einfallswinkel (α_1) zur Senkrechten (---) auf das Medium ist gleich dem Ausfallswinkel (α_2).

Tabelle 1. Schallgeschwindigkeit, Dichte und Schallwellenwiderstände in unterschiedlichen Medien

	Schallgeschwindigkeit C [m/s]	Dichte ρ [g/cm ³]	Schallwellenwiderstand Z [g/cm ² /s]
Luft	330	0,0013	0,0043×10 ⁵
Wasser	1492	0,9982	1,49×10 ⁵
Muskel	1545-1630	1,06	1,64-1,72×10 ⁵
Knochen	2700-4100	1,4-1,8	3,78-7,38×10 ⁵

Nur der Lotstrahl ist ungebrochen, nur er kehrt direkt zum Schallkopf zurück. Nach dem Brechungsgesetz (Snellius) gelten folgende Gesetzmäßigkeiten:

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{v_1}{v_2}$$

Für die praktische Anwendung bedeutet dies, daß die Lage und Position des Schallkopfes entscheidend sind für die Qualität der Diagnostik und die Erkennbarkeit zu untersuchender Strukturen. Da in der Ultraschall-diagnostik – anders als z.B. in der Elektrokardiographie – der Untersucher in der Lage ist, den Schallkopf den Gegebenheiten anzupassen, müssen die erhaltenen reflektorischen Echos den Untersuchungs-gang bestimmen.

Die hohen Schallhärtesprünge an Grenzschichten (z.B. Wangenweichteile – knöcherne Kieferhöhlen-vorderwand) müssen sich bei der Untersuchung zeigen. Nur so kann damit gerechnet werden, daß für die folgenden distalen Untersuchungsabschnitte noch genügend Schallenergie zur Verfügung steht.

Entsprechend muß mit dem Schallkopf eine Positi-on gesucht werden, die diese Voraussetzungen schaf-fen. Der Schallkopf muß je nach Form und Neigung des zu untersuchenden Reflektors einmal gekippt, einmal geneigt oder flach aufgesetzt werden.

Der geübte Untersucher wird bald in der Lage sein, bei der Untersuchung ein „typisches Echo-grammmuster“ zu erhalten, ohne wichtige Dinge da-bei zu übersehen oder unwichtige Dinge darzustellen.

Die Größe der Reflexion richtet sich nach den Wel-lenwiderständen (Z) der aufeinanderfolgenden Me-dien (Tabelle 1). Je größer der Schallhärtesprung zwi-schen den folgenden Medien, um so mehr Schallwel-lenenergie wird reflektiert, um so größer wird die Amplitude. So tritt zwischen flüssigen oder festen Medien einerseits und Luft andererseits aufgrund der großen Dichteunterschiede nahezu totale Reflexion auf.

$$\text{Reflexionskoeffizient } R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{Z_2 + Z_1}$$

1.1.3.2

Streuung, Interferenz, Absorption

Die Energie einer Ultraschallwelle wird im Verlauf ih-rer Ausbreitung durch geschichtete Medien neben der Beeinflussung durch die Reflexion und der daraus re-sultierenden Verluste durch *Streustrahlung* und *Inter-ferenz* außerdem beeinflusst durch die *Wellenfrontver-größerung* und die *Absorption*.

Die Streustrahlung und die Interferenz sind Größen, die gerade bei inhomogenen Grenzschichten, die man im Nebenhöhlenbereich häufig antrifft, eine Rolle spielen. Sie müssen durch den Untersucher möglichst klein gehalten werden, indem die Schall-geometrie berücksichtigt wird.

Die Wellenfrontvergrößerung bedeutet insbesonde-re bei großen Öffnungswinkeln eine stärkere Ab-schwächung der Energie, sie kann die Darstellung tie-fer liegender Strukturen verhindern. Dabei sind so-wohl eine breite Ausstrahlung als auch eine große Wellenfront Ursache für eine abnehmende Energie-dichte. Ihr wird begegnet, indem der ausgestrahlte Schall gebündelt und für den Untersuchungsbereich optimal fokussiert wird. Die heute handelsüblichen Geräte werden diesen Forderungen in der Regel ge-recht.

Die *Absorption* ist für die Darstellung pathologi-scher Befunde ebenfalls von besonderer Bedeutung. Beim Durchtritt einer Ultraschallwelle durch ein Me-dium entsteht eine „innere Reibung“, dadurch nimmt die Schallintensität ab.

$$\text{Dämpfung } A \text{ (dB)} = 8,7 \cdot \alpha \cdot X$$

α = Absorptionskoeffizient (Schwächungskoeffizient) des Mediums.

Beispiel: α (Wasser) = 0,002 dB/cm

α (Knochen) = 10 dB/cm

X = Dicke der Materialschicht.

Der Energieverlust, der im Verlaufe der Schallwellen-ausbreitung in einem Medium eintritt, kann durch die laufzeitabhängige Verstärkung (TCG) des Emp-fangssignals teilweise kompensiert werden. Damit können auch „spätere Echos“ noch abgebildet werden. Bei starker zusätzlicher *Brechung* und *Streuung* kann das reflektierte Signal jedoch so geschwächt werden, daß es schlecht oder nicht mehr darstellbar ist.

1.2

Praktische Hinweise zur Untersuchungstechnik

Keidel berichtete 1947 über orientierende experimentelle Untersuchungen unter Verwendung von Ultraschall in der klinischen Diagnostik. Er bemerkte: „So lässt sich also zweifellos durch Steigerung der Perkussionsfrequenz ins Ultraschallgebiet hinein mit gebündeltem Strahl eine objektive Perkussion durchführen, bei der die verschiedene Gewebisdämpfung gemessen wird. Diese Dämpfungsmessmethode im Ultraschallgebiet ist also, nach dem derzeitigen Stand der Ultraschallforschung, offenbar die zweckmäßigste.“

Ultraschall unterliegt, wie andere Schallfrequenzbereiche, in der Diagnostik denselben physikalischen Zusammenhängen. Seine Anwendung ist dadurch erweitert, dass diese Schwingungen optisch sichtbar gemacht werden können und aufgrund ihrer kleinen Wellenlänge gut zu bündeln und damit gezielt auszurichten sind.

A-Mode. Historisch das erste Ultraschallverfahren in der medizinischen Diagnostik und heutzutage klinisch ausschließlich bei der Nasennebenhöhlendiagnostik und in der Augenheilkunde verwendet, stellt der A-Mode (A-Scan, A-Bild) gewissermaßen eine Grundlage für alle anderen Verfahren der medizinischen Anwendung des Ultraschalls dar. Wie der Name andeutet, handelt es sich um eine Zeit-Amplituden-Funktion, wobei die Echos laufzeitabhängig und entsprechend der reflektierten Energie als unterschiedlich große Amplituden eindimensional dargestellt werden.

B-Mode. Die Grundlagen des B-Modus (brightness) stellen die verschiedenen Grauwerte entsprechend der Höhe der Energie der Echos als eigentliche Information dar. Die Zuordnung der Objektiefe erfolgt dabei über die Messung der Laufzeit der Ultraschallwellen im Gewebe.

M-Mode. Zur Veranschaulichung und Analyse von periodischen Bewegungsabläufen dient der M-Mode (Motion) oder TM-Mode (Time-Motion). Prinzipiell besteht dieses Verfahren aus einer einzelnen Zeile eines B-Bildes, die stationär bleibt. Man erhält so ein Bewegungs-Zeit-Diagramm, aus dem die Bewegungen direkt hervorgehen. Einsatz findet dieses Verfahren in der Echokardiographie und Stimmbanddiagnostik.

Im *A-Bild-Verfahren* (Amplituden-Zeit-Verfahren) folgt die Ausbreitung der Ultraschallsignale dem Reflexionsgesetz und dem Brechungsgesetz (Snellius). Das heißt, nur der Lotstrahl tritt ungebrochen durch die Grenzschicht. Zur Echodarstellung sollte also der Schallkopf so auf die Hautoberfläche gesetzt werden,

dass das Wellenstrahlbündel senkrecht auf den Reflektor trifft.

Im Kieferhöhlenbereich steht die knöcherne Vorderwand nicht selten in einem Winkel zur Hautoberfläche, sie ist auch selten plan und weist damit eine „ungünstige Schallphysik“ auf. Gut imprimierbare Wangenweichteile ermöglichen allerdings günstige Untersuchungsvoraussetzungen. Dadurch gelingt bei entsprechender Handhabung die Darstellung des Kieferhöhleninhaltes (s. Kap. 1.1.3.1, Abb. 2).

Im Stirnhöhlenbereich sind die anatomischen Verhältnisse günstiger. Die knöcherne Vorderwand liegt nahe der Hautoberfläche und ist als Reflektor parallel angeordnet. Die Komprimierbarkeit der Haut ist zwar eingeschränkt, insgesamt herrschen allerdings so günstige Reflexionsverhältnisse, dass mit Wiederholungsechos gerechnet werden muss (Erkennung von Wiederholungsechos s. Kap. 1.3.4).

Die Größe des „Vorderwandechos“ während der Untersuchung ist ein Maß dafür, wieviel Energie reflektiert wird. Nur wenn es groß genug ist, steht für die nachfolgenden Strukturen im Untersuchungsbereich noch genügend Schallenergie zur Verfügung, um sie darstellen zu können. Die Größe des Echos sollte nicht ausschließlich durch Erhöhung der Verstärkung erreicht werden, sondern es sollte zunächst versucht werden, durch Änderung der Schallkopfposition eine optimale Anordnung vom Applikator zum Reflektor zu erhalten. Der Erfolg zeigt sich in einer Vergrößerung der Echoamplitude. Als Richtmaß kann gelten, dass das Vorderwandecho bei der A-Bild-Untersuchung mindestens 75% der Abszisse des Abbildungsmaßstabes betragen sollte.

Im Gegensatz zu anderen diagnostischen Verfahren in der Medizin (EKG, Dopplersonographie etc.) muss der Untersucher während des Untersuchungsvorgangs den Rezeptor bewegen, um so das gesamte Areal „ab-tasten“ zu können. Durch die sektorenförmige Abtastung der Nasennebenhöhlen ist eine vollständige Beurteilung möglich. Nur so können medial, lateral und basal gelegene Veränderungen entdeckt werden.

Andererseits besteht auch die Möglichkeit, den Patienten zu bewegen und den Rezeptor zu belassen. So lässt sich beispielsweise wenig Ergussflüssigkeit durch Vorbeugen des Kopfes bei fortbestehender Schallkopfapplikation hinter dem Kieferhöhlenvorderwandecho darstellen. Gerade Veränderungen der mittleren und hinteren Nebenhöhlenabschnitte bilden klinisch früh ein Drainagehindernis, der resultierende Sekretstau kann so diagnostisch genutzt werden.

Die Ausbreitung von Ultraschall ist an Grenzflächen zu lufthaltigen Räumen nicht möglich. So ist z. B. ein kapillardünner Luftspalt zwischen Schallkopf und Wange ein nicht passierbares Hindernis. Bei schlechter Ankopplung des Schallkopfes muss die Untersuchung misslingen.

Dasselbe gilt für eine teilweise lufthaltige Nebenhöhle. Trifft der Schall nach der vorderen Kieferhöhlenwand auf eine Luftschicht, können Veränderungen dorsal davon nicht mehr dargestellt werden. Die gesamte Schallenergie wird an der Grenze zwischen den Medien Kieferhöhlenwand und Luft reflektiert.

Im *B-Bild-Verfahren* werden die Echos als verschiedene Grauwertbilder (brightness) dargestellt. Mittlerweile hat sich bei der HNO-ärztlichen Diagnostik die Sonographie im B-Bild als zusätzliches Instrument fest etabliert. Von allen Schnittbildverfahren hat sie das höchste Auflösungsvermögen, was sie für die Untersuchung der Halsweichteile und Speicheldrüsen empfiehlt. Dem Erfahrenen liefert sie ein maßstabsgetreues, zweidimensionales Schnittbild mit hohem Informationsgehalt, wobei durch „Abscannen“ einer Region sich im Verlauf der dynamischen Untersuchung ein räumlicher Eindruck ergibt. Inzwischen sind computergestützte 3D-Rekonstruktionen sonographisch untersuchter Bezirke möglich. Inwieweit dieses Verfahren Einzug in die klinische Routine erhält, wird die weitere Entwicklung dieser technisch aufwendigen Geräte zeigen.

Für die Untersuchung ist, neben profunden anatomischen Kenntnissen, auch ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen wichtig. Neben den technischen und praktischen Voraussetzungen (s. o.) bestimmen sie die Qualität und Treffsicherheit der Untersuchungsmethode.

1.3 Vermeidbare Fehler und Fehlerquellen bei der Untersuchung

Die Untersuchung mit Ultraschall erlaubt eine Verbesserung der Diagnostik und Differentialdiagnostik. Dieser Vorteil kann jedoch nur erreicht werden, wenn Kenntnisse der physikalischen Grundlagen beim Untersucher vorhanden sind und wenn ein Grundwissen über Einstellung und Handhabung der Geräte vorausgesetzt werden kann. Störfaktoren, die beim Aufstellen der Geräte in der Praxis auftreten können, sind dabei zu beachten, Fehler bei der Untersuchung sind zu vermeiden.

1.3.1 Standort des Gerätes

Bei der Standortauswahl des Gerätes ist zu beachten, dass der piezoelektrische Sender und Empfänger (Schallkopf) durch Einwirken verschiedener Störfaktoren beeinflusst werden kann. In Frage kommen dabei Hochfrequenzstörungen über das Netz. Sie können z.B. an defekten elektrischen Verbindungen

(Netzstecker, Steckdose) auftreten. Die Wärmetherapie (Ultrakurzwellen, Mikro- und Dezimeterwellen) und die Elektrochirurgie (Elektrokaustik) sollten nicht in räumlicher Nähe durchgeführt werden. Artefakte bei der Ultraschalluntersuchung (Streifen, Flimmern, Störechos) sind bei Nichtbeachtung vorprogrammiert.

1.3.2 Apparatetechnische Ausstattung

Die apparatetechnische Ausstattung muss die Mindestvoraussetzungen erfüllen, die in den gültigen Richtlinien der Kassenärztlichen Vereinigung für die jeweilige Anwendungsklasse festgelegt sind (s. Kap. 10). Die Einhaltung dieser Forderungen werden vom Hersteller der Geräte gewährleistet und auf Anforderung dem Eigner schriftlich bestätigt. Diese Bestätigung ist Voraussetzung für die Genehmigung zur Durchführung sonographischer Leistungen in der kassenärztlichen Praxis. Sie muss mit dem Antrag auf Genehmigung bei der Landes-KV mit eingereicht werden (s. Kap. 10.1.1).

1.3.3 Untersuchungssituation und Einstellung des Gerätes

Bei der Ultraschalldiagnostik mit dem *A-Bild* im Nasennebenhöhlenbereich sollte der Patient aufrecht sitzen. Der Untersucher sitzt frontal zum Patienten und fixiert die Untersuchungshand, z.B. mit einem Finger, am Kopf des Patienten, um ein Abgleiten des Schallkopfes z.B. zum Auge zu vermeiden. Der Schallkopf wird nach Erhalt eines „organtypischen Echos“ (Grenzecho Schallkopf/Haut, Echos der Weichteile, Grenzecho Nebenhöhlenwand/Nebenhöhleninhalt) unter Beachtung der Darstellbarkeit und der Amplituden sektorförmig über den gesamten Untersuchungsbereich geführt. So wird vermieden, dass randständige Befunde übersehen werden und kleine Luftbrücken das Eindringen des Ultraschalls zum Nebenhöhleninhalt verhindern.

Die Grundeinstellung der Geräte sollte täglich neu durchgeführt werden. Zu beachten ist dabei die Grundverstärkung (gain), die laufzeitgerechte Abbildung (Untersuchungsstrecke/Abszissenmaßstab auf dem Oszillograph) und die laufzeitabhängige Verstärkung (TCG). Letztere ist bei den meisten Geräten in einer festen Beziehung an den einzustellenden Untersuchungsbereich (Stirnhöhle, Kieferhöhle, Siebbein) gekoppelt. Sie ist besonders wichtig für die Erkennung später Echos (s. Kap. 1.1). Sie muss außerdem beim vermeintlichen Auftreten von Wiederholungsechos beachtet werden.

Mit der Grundverstärkung sollte ein noch vorhandenes Rückwandecho im Nebenhöhlenbereich um 30 dB zu verstärken sein. Der Schwellwertregler muss zu

Beginn der Untersuchung so eingestellt werden, dass kleine störende Echos unterdrückt sind. Die initiale Impulszacke, die den Beginn der Messstrecke markiert, muss sich deutlich darstellen. Die laufzeitabhängige Verstärkung sollte den Ausgleich einer Schallabschwächung entlang des gesamten Ausbreitungsweges erlauben.

Der Tiefenausgleich wird von der Homogenität bzw. Inhomogenität des Gewebes bestimmt, er sollte deshalb auch variabel anpassbar sein. So kann sowohl in der A-Bild- als auch in der B-Bild-Sonographie erreicht werden, dass gleiche Strukturen gleiche Echos ergeben, unabhängig von deren Entfernung vom Schallapplikator. Voraussetzung für die Nutzung einer solchen Regelung, die qualitativ optimale Darstellungen erlaubt, ist allerdings eine große Erfahrung in der Ultraschalldiagnostik. Für den weniger Erfahrenen birgt sie die Gefahr, unbedeutende Echos zu verstärken, Wiederholungsechos zu provozieren oder wichtige Echos zu unterdrücken. Die Untersuchungsdauer mit flexibler Einstellung des Tiefenausgleichs verlängert sich deutlich, auch bei großer Erfahrung des Untersuchers.

In der B-Bild-Sonographie gilt es dabei insbesondere folgende Zusammenhänge zu beachten:

- Auflösung, Eindringtiefe,
- Schallfeldcharakteristik,
- elektronische Fokussierung,
- time gain compensation (TGC),
- processing,
- Artefakte,
- distaler Schallschatten,
- Wiederholungsechos,
- lateral shadowing.

Auflösung und Eindringtiefe. Die Zusammenhänge zwischen Frequenz des Senders und den daraus resultierenden diagnostischen Möglichkeiten sind vorgegeben. Je höher die Frequenz, um so besser ist die Auflösung, die Eindringtiefe andererseits wird geringer. Diese Tatsache muss berücksichtigt werden bei der Auswahl des Schallkopfes beim jeweiligen Untersuchungsobjekt. Eventuell müssen Vorlaufstrecken hilfreich eingesetzt werden.

Schallfeldcharakteristik. Im Gegensatz zum Ideal einer wirklich linearen Ausbreitung der Schallwellen besteht in der Realität eine räumliche Ausbreitung (Schallkeule) (Abb. 3a), die durch den Begriff der „Schallfeldcharakteristik“ näher beschrieben wird. Senkrecht zur Ausbreitungsrichtung ändert sich die Breite des Schallfeldes erheblich, wobei insgesamt 3 Bereiche unterschieden werden:

- Nahfeld,
- Fokusbereich,
- Fernfeld.

Durch unterschiedliche Laufzeiten kommt es schallkopfnah zu starken Interferenzen derart, dass sich verschiedene Impulse auslöschen können. In diesem Nahfeld gelegene Strukturen können besser dargestellt werden, wenn die Breite des Schallkopfes (Apertur) und die Sendefrequenz zunehmen. Praktisch kann dieses wichtige Problem durch Verwendung einer Vorlaufstrecke umgangen werden, in der das Nahfeld gewissermaßen „versteckt“ wird.

Mit wachsender Distanz vom Schallkopf kommen die Impulswellen immer mehr in Phase durch eine Abnahme der Laufwegdifferenzen. In dieser Zone liegt die optimale Auflösung, wobei die Apertur umgekehrt proportional zur Fokusbreite steht. Außerdem liegt der Fokusbereich um so tiefer, je größer die Schallkopfbreite ist. Ultraschallgeräte haben häufig die Option, die Fokustiefe zu verändern bzw. in mehreren Tiefen eine Bündelung des Schallfeldes durch einen Mehrfachfokus zu erreichen. Dies wird z.T. durch Zusammenschaltung einzelner Piezoelemente des Wandlers zu einer Gruppe und damit einer anderen Apertur technisch realisiert.

Im Bereich des Fernfeldes kommt es zu einer zunehmenden Verbreiterung des Schallfeldes, wobei der Öffnungswinkel um so kleiner, je höher die Frequenz des Schallkopfes ist.

Elektronische Fokussierung (Abb. 3b). Das Schallfeld eines ebenen Schallwandlers besitzt einen *natürlichen Fokus*, dessen Lage in der Tiefe von der Apertur und der Wellenlänge abhängt. In der Scanebene wird der Fokus durch zusätzliche elektronische Fokussierung (*Beam Former*) vorgezogen und schärfer. Dadurch wird die laterale Auflösung deutlich besser. Die elektronische Fokussierung wird bei allen Array-Typen angewendet.

Beim Senden mit einer Gruppe von Arrayelementen hat der vom mittleren Element ausgehende Puls den kürzesten Laufweg, und die beiden äußeren Elemente den längsten. Der Unterschied im Laufweg beträgt s. Der Laufzeitunterschied ist

$$\tau_0 = s/c$$

Die Fokussierung wird erreicht, wenn die von den Einzelementen ausgehenden Sendepulse den Zielpunkt gleichzeitig (gleichphasig) erreichen. Dazu muss der Sendzeitpunkt des mittleren Elementes gegenüber dem Sendzeitpunkt für die beiden äußeren Elemente um τ_0 verzögert werden. Für die dazwischen liegenden Elemente gelten entsprechend kürzere Verzögerungszeiten. Je feinstufiger die Verzögerungen

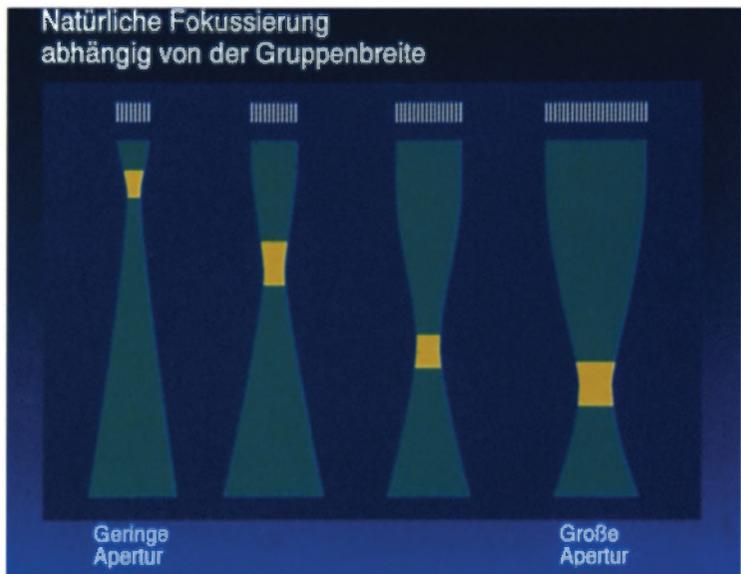


Abb. 3 a. Schallkeule (Auflösung)
 (Abdruck der Abb. 3 a,b, 4 a, 5 a, 6 a, 7 a
 mit freundlicher Genehmigung der Firma
 Siemens)

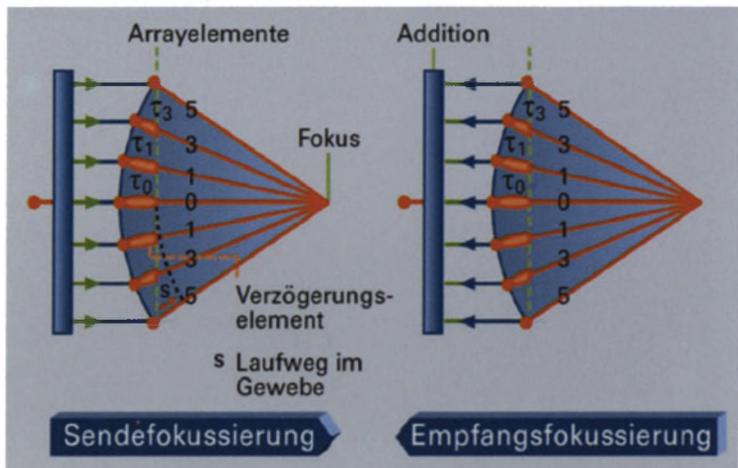


Abb. 3 b. Elektronische Fokussierung

gerungszeiten τ_i programmiert werden können, desto höher ist die Phasenauflösung der einzelnen Echosignale, und desto höher ist die Präzision der Fokussierung. Mit digitalen Hochleistungs-Systemen können Phasenunterschiede von wenigen Nano-Sekunden ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) aufgelöst werden.

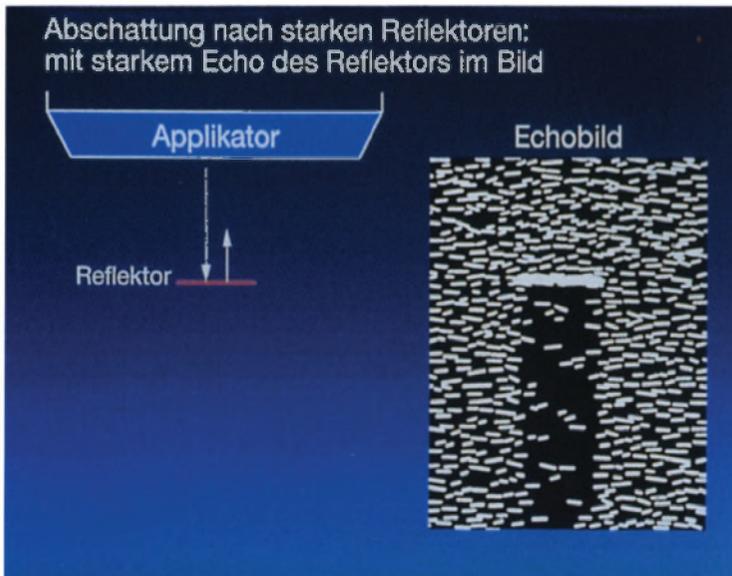
Beim Echoempfang gilt dieselbe Betrachtung. Da das Echo vom Zielpunkt das zentrale Element zuerst erreicht, muss das Signal solange verzögert (gespeichert) werden, bis alle Elemente der Gruppe erreicht sind, bevor die Einzelsignale zeitgleich und phasenrichtig zum Summensignal addiert werden können.

Außerhalb der Scanebene (*Schichtdicke*) kann die Fokussierung mit einzeiligen Arrays nicht variiert werden. Sie ist mit Hilfe einer akustischen Linse auf eine feste Tiefe eingestellt.

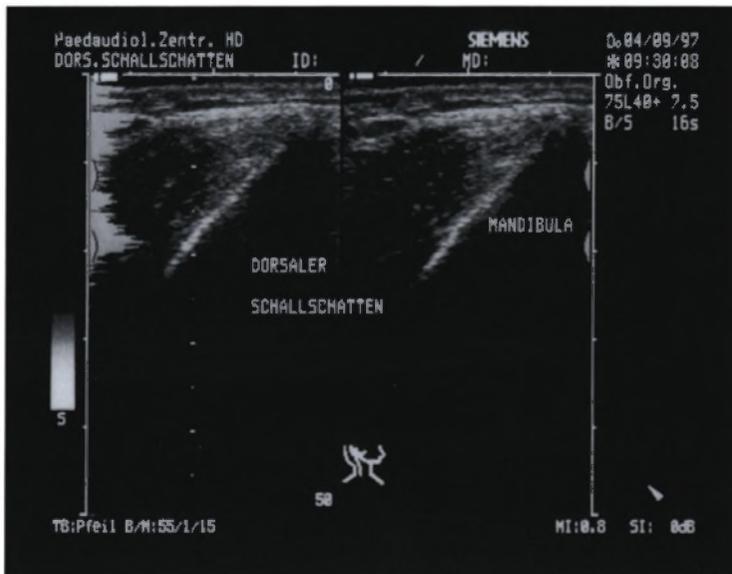
TGC. Die Schallwellen erfahren auf ihrem Weg durch das Gewebe eine Dämpfung durch eine „innere Reibung“, was sich u. a. durch eine Aufwärmung des Ge-

webes durch Ultraschall bei Verwendung entsprechender Energien und Einwirkzeiten bemerkbar macht. Damit werden Echos tiefer liegender Objekte auf ihrem Weg zur Sonde zurück mehr abgeschwächt als schallkopfnahe. Da die Energie der Echos durch entsprechende Grauwerte dargestellt wird, hätte dies auf dem Bildschirm eine völlig inhomogene Bildhelligkeit zur Folge. Dies auszugleichen, ist Aufgabe des zeitabhängigen Tiefenausgleichs, der *time gain compensation*. Es ist deshalb in der praktischen Ausführung außerordentlich wichtig, die TGC-Regler den individuellen Untersuchungsbedürfnissen anzupassen.

Processing. Während die Echosignale jeden beliebigen Wert annehmen konnten, werden sie beim Einlesen in den Speicher des Ultraschallgerätes digitalisiert. Dies bedingt zwangsläufig einen Verlust von Information. Die Reduktion der analogen Werte auf die digitale Form des Speichers wird anhand einer manipulierbaren Kennlinie durchgeführt. Dieser Vorgang



a



b

Abb. 4 a, b. Schallschatten

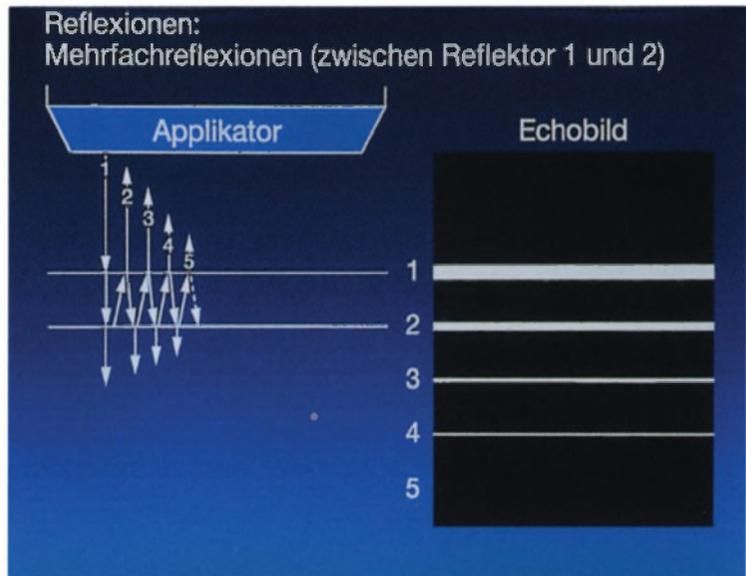
wird als Preprocessing bezeichnet. Bei diesem mathematischen Prozess ist es möglich, die Differenzierung schwächerer Echosignale auf Kosten der stärkeren durch eine Kantenanhebung zu betonen.

Die graphische Umsetzung der in den Speicher eingelesenen Daten auf dem Bildschirm kann über das sog. Postprocessing noch moduliert werden, wobei allerdings kein wesentlicher Informationsgewinn zu erzielen ist.

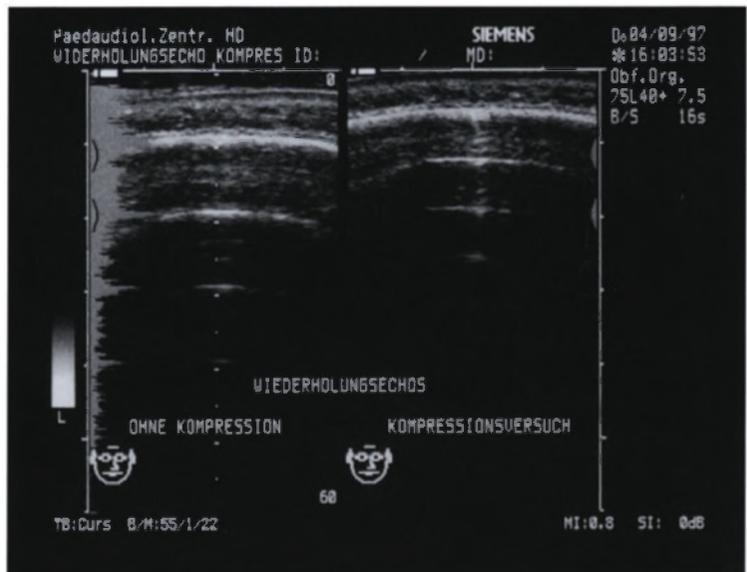
Artefakte. Bei der sonographischen Untersuchung können Bildartefakte entstehen, die bei der Interpretation erkannt werden müssen, um Fehler zu vermeiden. Bildartefakte treten dadurch auf, dass die Schallwellen in ihrer Ausbreitung (konstante Geschwindigkeit, Dämpfung, Beschaffenheit des Reflektors, Interferenz etc.) wesentlich beeinflusst werden. Dadurch

treten teilweise erhebliche Abweichungen von einer idealisierten Schallgeometrie auf, die als Bildfehler (Artefakte) imponieren. So ist es keinesfalls so, dass der Impuls nur in einer Richtung das Gewebe durchläuft. Vielmehr werden die Schallwellen mehrfach durch Reflexion und/oder Brechung in ihrer Richtung abgelenkt. Bei starken Reflektoren (großer Schallhärtesprung) kann es zu Mehrfachreflexionen kommen. Der Ultraschallanwender kann Artefakte durch eine falsche Geräteeinstellung begünstigen, indem er z. B. die Sendeleistung, TGC usw. nicht adäquat justiert. Artefakte können aber auch bei der Diagnostik hilfreich sein und die Interpretation mancher Strukturen erleichtern (z. B. Zyste: distale Schallverstärkung).

Distaler Schallschatten. Dieses Phänomen kommt bei großen Schallhärtesprünge, z. B. Knochen, Speichel-



a



b

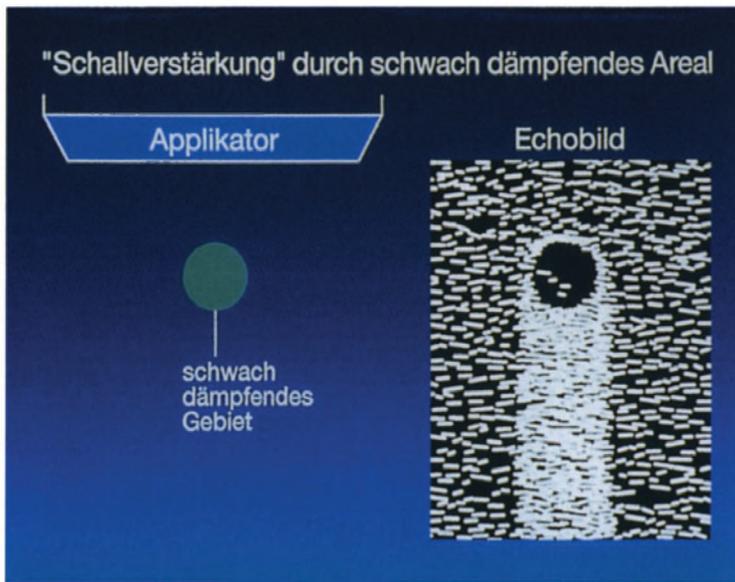
Abb. 5 a, b. Mehrfachreflexionen

steinen, vor. Der überwiegende Anteil des Impulses wird an der Struktur reflektiert, sodass diese entsprechend echoreich (hell) zur Darstellung gelangt, während dorsal der Struktur keine Impulse mehr im Gewebe ankommen. Deshalb wird diese Zone echoleer, also dunkel auf dem Monitor angezeigt (Abb. 4).

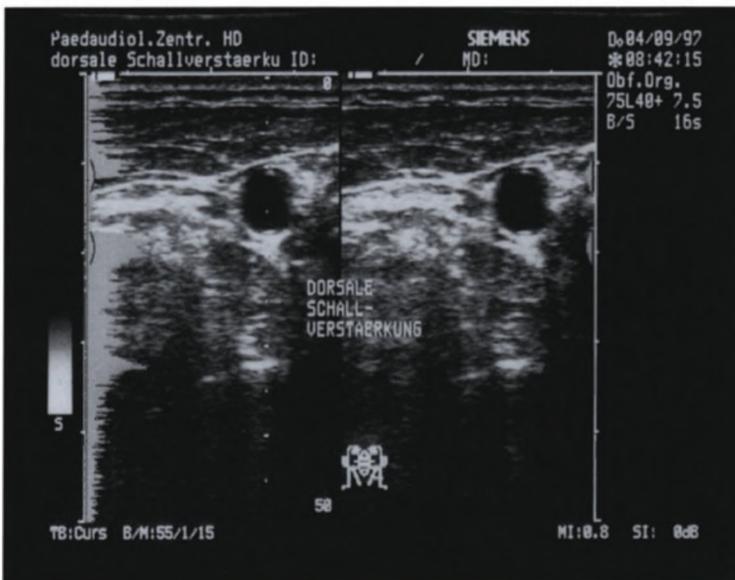
Wiederholungsechos. Mehrfachreflexionen zwischen Grenzflächen mit verschiedenen akustischen Widerständen können auf dem Bildschirm parallele Linien erzeugen, die charakteristischerweise in ihrer Amplitude zunehmend schwächer werden und immer denselben Abstand zueinander haben. Zur Erkennung dieses Phänomens kann man die Tatsache nutzen, dass bei Verringerung der Distanz Schallkopf-Grenzfläche durch Kompression des Gewebes der Abstand der Wiederholungsechos entsprechend reduziert wird (Abb. 5).

Distale Schallverstärkung. Dieser Artefakt ist charakteristisch für zystische Gebilde mit einem homogenen Inhalt geringer akustischer Impedanz (Flüssigkeit). Beim Durchtritt der Ultraschallwellen durch das die Zyste umgebende Gewebe werden diese mehr abgeschwächt, so dass dorsal der echoleeren Raumforderung die Impulse mehr Energie aufweisen als die der Umgebung. Entsprechend echoreicher erfolgt die Darstellung dieser Zone auf dem Monitor (Abb. 6).

Lateraler Schallschatten. Bei nicht parallel zum Schallkopf orientierten Grenzflächen werden die Schallwellen, die auf den gekrümmten Anteil dieser Fläche seitlich auftreffen, vom Wandler weg reflektiert und gehen damit auch nicht beim Bildaufbau ein. Folge ist eine scheinbar unregelmäßige Randstruktur, z. B. eines kugeligen Tumoren. Dies sollte



a



b

Abb. 6a,b. Schallverstärkung

nicht mit einer unscharfen Begrenzung und damit als Zeichen möglicher Malignität verwechselt werden (Abb. 7).

1.3.4 Fehlerhafte Befundung

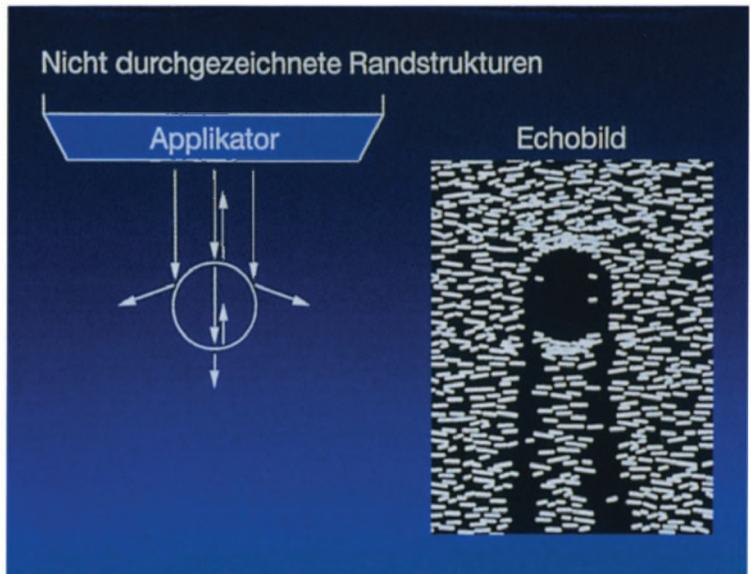
1.3.4.1 A-Bild-Verfahren

Falsch-positive Befunde müssen erwartet werden, wenn bei der Untersuchung die Grenzen des untersuchten Organs mit dem Schallkopf verlassen werden. Dies gilt im Kieferhöhlenbereich bei allen angrenzenden Strukturen. Fehlinterpretationen sind bei der Beschallung des Unterkiefers, des Orbitabodens, der medialen Kieferhöhlenwand oder der lateralen Wangenweichteile

möglich. Im Stirnhöhlenbereich führt die Beschallung des Septum interfrontalium sinuum zu schwer interpretierbaren Echos. Auch hier gilt es, wie bei der Kieferhöhle, die Organgrenzen einzuhalten. Aplasien müssen erkannt oder vermutet werden, um andere bildgebende Verfahren für die Diagnostik einsetzen zu können.

Wiederholungsechos sind in der Regel problemlos als solche zu identifizieren. Sie folgen in gleichmäßigem Abstand dem Primärecho und haben abnehmende Amplituden. Bei Kompression der Weichteile mit dem Schallkopf nähert sich das Wiederholungsecho aufgrund der Laufzeit der Schallwelle um den doppelten Betrag gegenüber dem Primärecho.

Falsch-negative Befunde können bei Erkrankungen mittlerer und dorsaler Nebenhöhlenabschnitte erhoben werden, wenn eine lufthaltige Struktur vorgela-



a



b

Abb. 7 a, b. Lateral shadowing

gert ist. Dies gilt auch für solitäre Befunde wie Nebenhöhlenzysten oder -polypen, wenn es konsekutiv nicht zu Belüftungsstörungen und Sekretstau gekommen ist. Aufgrund der anatomischen Situation muss dieses Problem am ehesten bei der Untersuchung der Siebbeine mit dem A-Bild erwartet werden.

1.3.4.2

B-Bild-Verfahren

Ein besonderes Problem stellt die Umsetzung der konventionellen Anatomie in die „Sonoanatomie“ insofern dar, als es gerade im Kopf-Hals-Bereich Schwierigkeiten bereitet, diese Region aus zunächst ungewohnten Winkeln zu betrachten. Wie bei der Computertomographie gibt es zwar bestimmte Standardschnitte, aber bereits durch eine minimale Verän-

derung der Schallkopfposition lassen sich theoretisch unendlich viele Schnittebenen konstruieren, die hohe Ansprüche an das räumliche und anatomische Vorstellungsvermögen des Untersuchers stellen. Die sonographische Untersuchung gerade des Kopf-Hals-Bereiches setzt mit seiner Vielzahl von Strukturen große Erfahrung des Anwenders voraus, der allein die Qualität seiner Befunde limitiert.

Als Parameter für die Geräteeinstellung ist, neben dem Tiefenausgleich (TGC), die Sendeleistung am wichtigsten, um bei verschiedenen Patienten mit unterschiedlichen anatomischen Verhältnissen vergleichbare Befunde zu erhalten. Diese Größen sind zu Beginn jeder Untersuchung für jeden Patienten individuell zu optimieren. Zweckmäßig ist außerdem eine der Untersuchungstiefe angepasste Auswahl der Fokussierung. Bei manchen Geräten besteht die Mög-

lichkeit der Mehrfachfokussierung, was aber einen langsameren Bildaufbau zur Folge hat und teilweise die Kriterien der Real-time-Sonographie dann nicht mehr erfüllt. Durch Veränderung der Kennlinien des Preprocessings läßt sich der subjektive Eindruck des Bildes auf dem Monitor variieren: Es kann „härter“ oder „weicher“ dargestellt werden. Dies stellt eine Gefahr für den ungeübten Untersucher dar, Befunde differenzierter zu interpretieren.

Frequenzen von 5–7,5 MHz erlauben es, insbesondere Speicheldrüsen gut darzustellen, die Auflösung ist damit gut. Für bestimmte, oberflächennahe Veränderungen sind noch höherfrequente Wandler sinnvoll. Als Abtastverfahren sollte der kleindimensionierte Linearapplikator bevorzugt werden, der bei guter Übersicht eine problemlose Ankopplung ermöglicht. Zur Untersuchung der Fossa retromandibularis, der Nasennebenhöhlen, aber auch bei stark konvexen Oberflächen, ist der Einsatz eines Sektor- oder eines Konvexschallkopfes zu empfehlen. Allerdings ist die differente Bildgeometrie beim Sektorschallkopf, aufgrund eines scheinbaren Verzerrungseffektes, zunächst für den Betrachter gewöhnungsbedürftig. Die Aussagekraft im Nahfeld ist zusätzlich sehr eingeschränkt. In diesen Situationen, oder auch bei schlechter Ankopplung, ist die Verwendung von Vorlaufstrecken zweckmäßig.

Die Untersuchung des Larynx mit seinen Binnenstrukturen ist schwierig, und die Aussagekraft der Sonographie an diesem Organ bei der Routinediagnostik begrenzt. Prinzipiell ist eine Darstellung der Epiglottis, Taschenfalten und Stimmlippen möglich, eine diagnostische Wertung ist aber in der Regel nur dem sehr Erfahrenen vorbehalten. Zur Klärung der Frage der Stimmlippenbeweglichkeit kann eine Achse des M-Mode – in manchen Geräten optional – durch das im B-Mode dargestellte Stimmband gelegt werden. Praktisch steht als „akustisches Fenster“ das Lig. cricothyroideum zur Verfügung, da es bei direkter Beschallung des Schild- oder Ringknorpels zur Totalreflexion kommen würde. Häufig gelingt es, die Stimmbänder und echorichereren Aryknorpel beim Wechsel zwischen der Respirations- und Phonationsstellung der Stimmlippen durch Artikulation einer Konsonanten-Vokal-Verbindung (z.B. „Hi-Hi“) darzustellen. Während diskrete Befunde häufiger der sonographischen Diagnostik im Bereich des Larynx entgehen, gelingt der Nachweis der Weichteilinfiltration fortgeschrittener Larynx- und Hypopharynxkarzinome recht zuverlässig.

Bösartige Tumoren können in jeder Größe, Form und Textur auftreten; wichtigstes Kriterium, als Hinweis auf einen malignen Prozess, ist die schlechtere Abgrenzbarkeit zur Umgebung, die aber gerade bei den kleinen Neoplasien – selbst bei dem histologisch ausgesprochen infiltrativ wachsenden adenoidzysti-

schen Speicheldrüsenkarzinom – initial sehr scharf sein kann, und damit ein gutartiges Geschehen vortäuscht. Man hüte sich dabei vor der Versuchung, histologische Diagnosen mit der Sonographie zu stellen. Der Ultraschallbefund ist in der Zusammenschau von Anamnese und klinischem Befund zu werten.

1.3.5

Dokumentation

Die Qualität einer Untersuchung (s. Kap. 10.2) wird besonders durch die Erstellung einer technisch einwandfreien bildlichen und einer präzisen schriftlichen Dokumentation ausgewiesen. Auch wenn kein pathologischer Befund vorliegt, besteht Dokumentationspflicht.

Die technischen Möglichkeiten der heute verwendeten Dokumentationssysteme sind so groß, dass auch kleine pathologische Strukturen sowie – bei geringen Schallhärtesprüngen zwischen den Reflektoren – kleine Amplituden auf dem Monitor dargestellt werden können.

Bei der Dokumentation muss darauf geachtet werden, dass eine organ- und befundspezifische Darstellung gewählt wird und dass anhand dieser Aufzeichnung auch die Befundbeschreibung nachvollziehbar ist (s. Kap. 1.3.6). Nur so ist es möglich, Kontrolluntersuchungen zu bewerten und den Befund über die Zeit zu kontrollieren. Außerdem ist dies eine unabdingbare Voraussetzung für die Bewertung durch einen Befundbetrachter, der bei der Untersuchung nicht zugegen war (s. Kap. 10.2.2.3).

1.3.6

Terminologie

Die Gestaltung der Befunddokumentation obliegt dem Vertragsarzt, er ist in der Wahl der Dokumentation frei. Diese generelle Freiheit wird im Bereich der Ultraschalldiagnostik allerdings durch die Erfordernisse der Qualitätskontrollen eingeschränkt (s. Kap. 10.2.2). Die Befunddokumentation hat neben der Bildokumentation so zu erfolgen, dass eine Qualitätskontrolle durch einen Dritten jederzeit möglich ist.

Die Dokumentationspflicht im Rahmen der Ultraschalldiagnostik umfasst die Bilddokumentation (s. Kap. 10.2.2.1–10.2.2.3) und die schriftliche Befundung. Die Kenntnis vermeidbarer Fehler und Fehlerquellen (s. Kap. 1.3.1–1.3.4) im A- und B-Bild-Verfahren ist für eine gute Bilddokumentation unabdingbare Voraussetzung. Für eine präzise und allgemein verständliche Beschreibung ist eine logische Terminologie in der schriftlichen Befundung erforderlich. Eine solche Terminologie muss auf physikalischen Grundkenntnissen (s. Kap. 1.1) basieren und zugleich auf die Phänomenologie der Sonogramme abgestimmt sein. Sie sollte

praktische und klinische Belange berücksichtigen und nicht zuletzt den Forderungen entsprechen, die für die Gestaltung der für den kassenärztlichen Bereich gültigen Dokumentationen von Ultraschalluntersuchungen (s. Kap. 10.2.2) gelten.

Die schriftliche Dokumentation einer sonographischen Untersuchung muss enthalten:

- Angaben zu Patient und Institution,
- Untersuchungsdatum,
- Indikation zur Untersuchung,
- Angaben zu Gerät und Schallkopf,
- Untersuchungsablauf (Position des Patienten, Geräteeinstellung, Maßstab, B-Bild: Schnittebene, Bildränder, optionale Bilddetails),
- Befundumfang, untersuchte Region (alle untersuchten Organe müssen benannt sein),
- Befundbeschreibung (Mindestanforderungen)
 - NNH: Schallcharakteristik und Beschreibung des Objektes,
 - Hals- und Halsorgane: Halsweichteile und Gefäßscheide, Lymphknoten,
 - Muskulatur, Mundboden, Zungengrund,
 - ggf. bei positivem Befund: Zuordnung oder Abgrenzung von parenchymatösen Organen, Kompressibilität und Verschieblichkeit,
 - Ausbreitung zu Gefäßen und Organen, Differenzierung,
 - Speicheldrüsen: Volumen und Konsistenz (Grauwert, Homogenität).

Dies bedeutet für die unterschiedlichen Untersuchungsverfahren:

- A-Bild: Stärke (Amplitude), Größe (zeitliche Dauer), Dichte (Abstand der Echos), Gleichmäßigkeit (Uniformität);
- B-Bild: Stärke, Größe, Abstände, Grenzechos, Nachbarschaftsechos (relative Schallverstärkung, Schallauslöschung), Binnenechogenität (Intensität, Homogenität), ggf. Artefakte, Topographie des Befundes unter besonderer Berücksichtigung therapeutischer Strukturen;
- Befundinterpretation (Berücksichtigung der prinzipiellen Grenzen der sonographischen Untersuchungsmöglichkeiten).

Die Qualität der Befundbeschreibung bestimmt nicht nur die Befundinterpretation durch den ausführenden Arzt, sondern auch die Bewertung der Qualität der Untersuchung durch Dritte, z.B. bei einer Qualitätskontrolle (s. Kap. 10.2.2.3) durch die Sonographiekommission der KV.

Mit dem **A-Mode-Verfahren** untersucht der Arzt im Nebenhöhlenbereich. Die Umsetzung der piezoelektrischen Signale geschieht dabei in der Amplitudendarstellung (A-Mode). Zur Beschreibung einzelner Echos dienen die Parameter Stärke und Größe. Ein

Echomuster ist durch den Abstand der Echos voneinander (Dichte) und deren Gleichmäßigkeit in der Verteilung (Uniformität) gekennzeichnet. Die Stärke eines Echos ist durch seine Amplitude (stark-mittelschwach) definiert, die Größe durch dessen zeitliche Dauer (grob-fein). Die Anordnung der Echos zueinander kann dicht, mitteldicht oder locker sein, sie können auch vereinzelt auftreten (z.B. Zyste). Schließlich kann eine gleichmäßige von einer ungleichmäßigen Verteilung unterschieden werden (Abb. 8).

Die gefundenen Echomuster können mit 5 verschiedenen Echogrammen typisiert werden (s. Abb. 9, Kap. 2.3). Da es sich bei der Sonographie um ein dynamisches Untersuchungsverfahren handelt, muss darauf geachtet werden, dass ein befundspezifisches Bild für die Dokumentation festgehalten wird. Für die Beurteilung durch Dritte (Qualitätskontrolle) sind sonst Fehlinterpretationen und damit vermeidbare Missverständnisse vorprogrammiert.

Die piezoelektrischen Signale werden im *B-Mode*-Verfahren durch Helligkeitsmodulation (brightness) dargestellt. Die abgebildeten Echos (Bildechos) sind nicht mehr identisch mit den ursprünglichen Echosignalen (Ultraschall). Sie stellen aber eine repräsentative Projektion der reflektierten akustischen Echosignale dar. Sie haben eine große Menge an Informationsgehalt, den es bei der Beschreibung und Interpretation zu erkennen und zu nennen gilt.

Die Echos im B-Bild-Verfahren können sein:

- mehr oder weniger hell,
- schwach bis stark,
- verschieden groß,
- fein bis grob.

Die Stärke (Helligkeit), die Größe (Flächengröße), der Abstand (Dichte) und die Gleichmäßigkeit der Verteilung (Uniformität) der dargestellten Echos beschreiben das Reflexionsverhalten der beschallten Struktu-

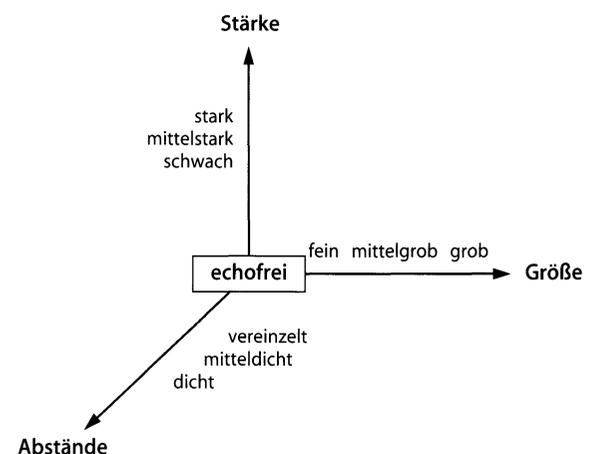


Abb. 8. Echocharakteristika

ren. Die Beschreibung dieser Größen geschieht analog zu denen im A-Mode-Verfahren. Die Skala endet jeweils bei echofrei, wenn kein Echo nachweisbar ist. Daneben bedient man sich bei der Beschreibung der Lage der Echos der anatomischen Lagebezeichnungen. Wichtig ist dabei eine gut erkennbare Darstellung der Grenzechos, der Nachbarschaftsechos und der Binnenechos.

Echos entstehen sowohl an sog. Spiegelreflektoren als auch an streuenden Elementen. Eine Schallabschwächung kann durch Reflexion, Absorption, Streuung, Brechung und Beugung (s. Kap. 1.1.3) im untersuchten Medium und an den Grenzflächen stattfinden. Sie muß durch einen entsprechend eingeregelteten Tiefenausgleich kompensiert werden. Schwach reflektierende oder echofreie Zonen nach abschwächendem Gewebe werden als kompletter Schatten (z. B. nach Unterkiefer, Trachea) bezeichnet. Als Verstärkung bezeichnet man die Echostruktur in Arealen hinter weniger abschwächenden Untersuchungsobjekten (z. B. distale Verstärkung nach Zysten, Lymphomen).

Umschriebene Veränderungen müssen im schriftlichen Befund genau definiert werden:

- Lage (anatomische Termini),
- Form (Bezug: einfache geometrische Körper),
- Größe (reproduzierbar in metrischem Maßstab),
- Oberfläche kann bei Organen beschrieben werden (eben/uneben),
- Echomuster (s. o.),
- Abgrenzbarkeit gegenüber dem umgebenden Gewebe (gut/schwer),
- Begrenzung (regelmäßig/glatt/unregelmäßig).

Zusätzliche Anmerkungen in der Ultraschallbefundbeschreibung sind bei einer eingeschränkten oder fehlenden Bewegung bei gleichzeitiger Palpation, bei Pulsationen oder bei Formveränderungen anzufügen. Die Kompressibilität von untersuchten Strukturen durch Andrücken des Schallkopfes und die Verschieblichkeit zweier Schallstrukturen gegeneinander sind wichtige zusätzliche Hinweise für die Beurteilung, sie verbessern somit die Ergebnisqualität.

Die Dokumentation einer sonographischen Untersuchung besteht aus Wort und Bild. Für eine präzise

und allgemein verständliche Beschreibung der Befunde ist eine logische Terminologie erforderlich. Nur sie macht es möglich, zu einem späteren Zeitpunkt Untersuchungsbefunde am selben Patienten vergleichbar zu machen mit früher erhobenen Befunden. Wie schwer dies werden kann, muß u. U. derjenige erfahren, der eine Untersuchung bei einem Patienten vornimmt, welcher die Institution für die Folgediagnostik gewechselt hat und dabei als einzigen Befund ein Bild und eine Befundbeschreibung einer Ultraschalluntersuchung vorlegt, die zuvor von einem anderen Arzt durchgeführt wurde. Allein aufgrund der schwer nachvollziehbaren Schnittebene ist die Folgediagnostik erheblich erschwert. Nur ein normiertes Vorgehen (Strukturqualität) und eine hohe Prozeß- und Ergebnisqualität (s. Kap. 10.4) erlauben es, Probleme für den Untersucher und letztendlich auch resultierende Folgen für den Patienten zu minimieren.

1.4 Stellenwert der Ultraschalldiagnostik

Gegenüber anderen diagnostischen Verfahren liegt der Vorteil bei der Ultraschalluntersuchung einerseits in einer geringen Invasivität, andererseits in einer guten Validität.

Nach eigenen Erfahrungen beläuft sich die Fehlerquote beim Vergleich der Ergebnisse radiologischer und endoskopischer Untersuchungen in der Nasennebenhöhlendiagnostik auf 17%. Bei 846 untersuchten Patienten mußte in 142 Fällen das Ergebnis der radiologischen Diagnostik nach dem Einsatz anderer bildgebender und endoskopischer Untersuchungen korrigiert werden. Bei erkrankten Patienten reduziert sich die Fehlbeurteilungsquote durch Hinzunahme von Ultraschall in der Diagnostik um 6%.

Die Ultraschalluntersuchung ist biologisch inert. Damit erlangt sie bei Patienten, denen man eine Strahlenbelastung nicht zumuten kann, besondere Bedeutung.

Auf Patientinnen in der Schwangerschaft trifft dies genauso zu wie auf Patienten, die im Verlaufe der konservativen Behandlung oder postoperativ kontrolliert werden.