

19.2 Hörbereich und Unterschiedsschwellen

	Hörbereich	Unterschiedsschwellen*
Frequenz	<ul style="list-style-type: none"> ■ gesamter Frequenzbereich umfasst 18 Hz bis 18 kHz ■ maximale Hörempfindlichkeit bei 1–4 Hz ■ Hauptsprachbereich bei 250–4000 Hz 	<p>Frequenz-Unterschiedsschwelle: bei 1000 Hz ca. 0,3% (Unterschiede der Tonhöhe von 3 Hz werden wahrgenommen)</p>
Intensität	<ul style="list-style-type: none"> ■ gesamter Bereich umfasst <ul style="list-style-type: none"> – Schalldruckpegel von <math><0 - 130\text{ dB}</math> (s.a. Tab. 19.1, S. 676) – Lautstärkepegel von 4–130 Phon (Lautstärkebereich) ■ Hauptsprachbereich bei 40–80 dB 	<p>Intensitäts-Unterschiedsschwelle: Unterschiede im Schalldruckpegel von 1 dB können unter optimalen Bedingungen wahrgenommen werden</p>

* Die hier angegebenen Unterschiedsschwellen beziehen sich auf nacheinander angebotene Töne (sukzessive Unterschiedsschwelle); für gleichzeitig gehörte Töne (simultane Unterschiedsschwelle) gelten höhere Werte.

19.2 Schallübertragung zum Innenohr

19.2.1 Formen der Schalleitung

Ein Schallsignal kann das Innenohr als Ort der Frequenz- und Intensitätsanalyse über zwei Wege erreichen:

- per **Luftleitung** über die schalleitenden Anteile des Ohres (äußerer Gehörgang und Mittelohr, s. Abb. 19.4, S. 680)
- per **Knochenleitung** – unter Umgehung der schalleitenden Anteile – über den in Schwingung versetzten Schädelknochen.

► Klinik.

19.2 Schallübertragung zum Innenohr

19.2.1 Formen der Schalleitung

Bevor Frequenz und Intensität eines Schallsignals im Innenohr analysiert werden und zu einer Hörempfindung führen können (s. u.), muss das Signal dieses komplex gebaute, flüssigkeitsgefüllte Organ erreichen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen:

- per **Luftleitung** über die beiden schalleitenden Anteile des Ohres (äußerer Gehörgang und Mittelohr, s. Abb. 19.4, S. 680)
- per **Knochenleitung**, d. h. das Innenohr wird – unter Umgehung der beiden schalleitenden Ohr-Anteile – über den in Schwingungen versetzten Schädelknochen stimuliert.

Bei beiden Wegen stellt prinzipiell der Verlust von Schallenergie ein Problem dar, der jedoch auf dem Weg der Luftleitung größtenteils durch das Mittelohr kompensiert werden kann (s. S. 680). Die Knochenleitung dagegen spielt im Rahmen des alltäglichen Hörens eine untergeordnete Rolle, da bei der Übertragung akustischer Schallsignale aus der Umgebung auf den Knochen viel Schallenergie verloren geht. Sie kann aber im Rahmen von Untersuchungen genutzt werden, bei denen ein schwingender Gegenstand direkt auf den Knochen aufgesetzt wird und die getrennte Messung von Knochen- und Luftleitung möglich ist.

► Klinik.

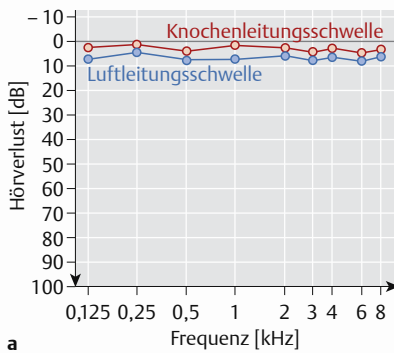
Vergleicht man die Hörempfindungen dahingehend, über welchen „Weg“ das auslösende Signal das Innenohr erreicht hat, ist eine Unterscheidung zwischen Schädigungen der unterschiedlichen Anteile des Ohres möglich:

- Ist nur die Luftleitung gestört, liegt der Schädigungsort in einem der schalleitenden Anteile des Ohres (meist Mittelohr oder äußerer Gehörgang): **Schalleitungsstörung** oder **-schwerhörigkeit**.
- Liegt dagegen die Schädigung im Innenohr selbst oder in nachgeschalteten Stationen der Hörbahn, ist die Hörempfindung in jedem Fall beeinträchtigt (**Schallempfindungsstörung** oder **-schwerhörigkeit**) – unabhängig davon, ob das Schallsignal über Luft- oder Knochenleitung auf das Innenohr übertragen wurde.

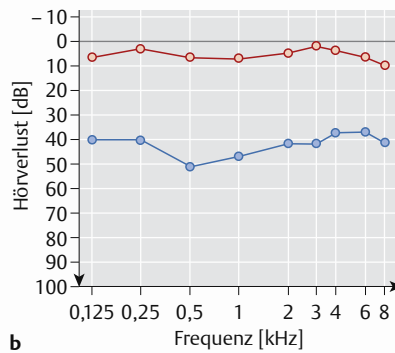
Gängige subjektive Hörprüfungen zur Differenzierung von Schalleitungs- und -empfindungsstörungen mithilfe der Bestimmung von Luft- und Knochenleitung sind die oben bereits erwähnte Schwellenaudiometrie sowie die Stimmgabelversuche nach Rinne und Weber:

Bei der **Schwellenaudiometrie** werden dem Patienten Töne nicht nur über einen Kopfhörer vorgespielt (d. h. über Luftleitung vermittelt), sondern anschließend auch über einen auf dem Mastoid aufgesetzten Tongeber (→ Knochenleitung). So entstehen zwei Hörschwellenkurven, die beim Gesunden in etwa deckungsgleich

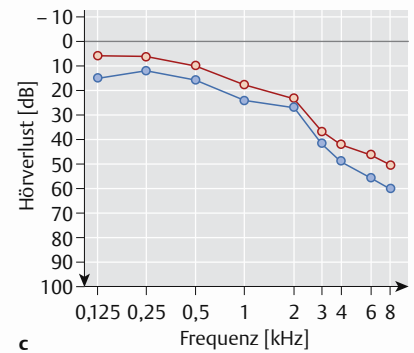
19.2 Tonaudiogramm



a Normalbefund.



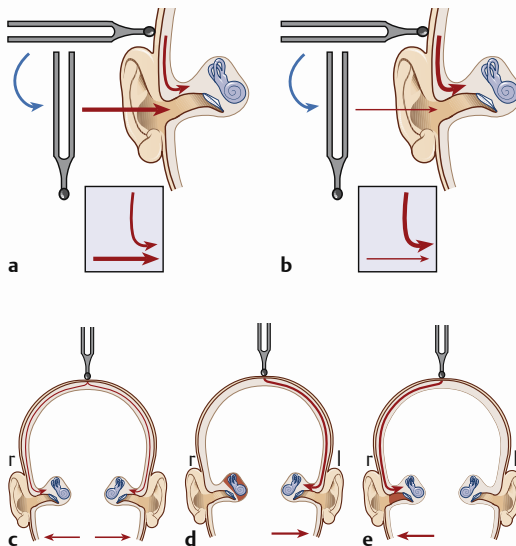
b Befund bei Schalleitungsstörung.



c Befund bei Schallempfindungsstörung.

sind (Abb. 19.2 a). Bei *Schalleitungsstörungen* weicht die über Luftleitung ermittelte Kurve gegenüber der Knochenleitungskurve nach unten ab (Abb. 19.2 b). Liegt eine *Schallempfindungsstörung* vor, verlaufen die beiden Kurven parallel und weichen je nach Schädigungsursache in bestimmten Frequenzbereichen gegenüber der Norm ab (Abb. 19.2 c).

Beim **Rinne-Versuch** wird eine schwingende Stimmgabel auf das Mastoid aufgesetzt. Sobald der Patient angibt, den über Knochenleitung vermittelten Ton nicht mehr hören zu können, hält man die noch schwingende Stimmgabel direkt vor den äußeren Gehörgang. Im Normalfall wird der nun über die Luftleitung vermittelte Ton dann wieder gehört (**Rinne positiv**, Abb. 19.3 a). Dies ist auch bei *herabgesetzter Schallempfindung* der Fall, wobei der Ton kürzer gehört wird. Bei einer *Schallei-*



19.3 Prinzipien der Tests nach Rinne und Weber

a Rinne positiv: Die Luftleitung wird lauter oder länger als die Knochenleitung wahrgenommen (Normalbefund bzw. wenn Ton vergleichsweise kürzer als im normalhörenden kontralateralen Ohr wahrgenommen wird; Hinweis auf Schallempfindungsstörung).

b Rinne negativ: Die Knochenleitung wird lauter oder länger als die Luftleitung wahrgenommen (Hinweis auf Schalleitungsstörung).

c Weber (Normalbefund): beidseits gleichlaute Wahrnehmung des Tons.

d Weber (Schallempfindungsstörung): Lateralisierung in das gesunde linke Ohr.

e Weber (Schalleitungsstörung): Lateralisierung in das kranke rechte Ohr.

tungsstörung hingegen hört der Patient den Ton aufgrund der beeinträchtigten Luftleitung nicht wieder (**Rinne negativ**, Abb. 19.3 b).

Mit dem **Weber-Versuch** nutzt man lediglich die Knochenleitung zur Untersuchung und stellt einen Vergleich zwischen beiden Ohren an: Die schwingende Stimmgabel wird zentral am Oberrand der Stirn auf den Schädel gesetzt, was beim Gesunden zur gleich lauten Hörempfindung in beiden Ohren führt (Abb. 19.3 c). Während Patienten mit einer *Schallempfindungsstörung* den Ton mit dem gesunden Ohr lauter hören (Abb. 19.3 d), wird er bei einer einseitigen *Schalleitungsstörung* mit dem kranken Ohr lauter gehört (Abb. 19.3 e). Das liegt vor allem daran, dass das gesunde Ohr wegen der intensiveren, durch das funktionierende Mittelohr verstärkten Hintergrundgeräusche an höheren Schalldruck angepasst und daher unempfindlicher ist als das kranke.

19.2.2 Impedananzpassung und Schallschutz im Mittelohr

Prinzip der Impedananzpassung: Das Mittelohr überträgt den Schall vom Außenohr (Luft) zum Innenohr (Perilymphe; Abb. 19.4). Mechanische Verstärkung durch die Kette der Gehörknöchelchen kompensiert den Energieverlust durch Reflexion (**Impedananzpassung**).

Die Paukenhöhle des Mittelohrs ist zum Gehörgang hin durch das Trommelfell verschlossen. Durch die Ohrtrumpete (Eustachische Röhre) wird Druckausgleich mit dem Rachenraum erreicht.

Die Kette der **Gehörknöchelchen** (Hammer, Amboss und Steigbügel) übertragen den Schall vom größeren Trommelfell auf das kleine ovale Fenster des Innenohrs (Abb. 19.4) und erreichen dabei eine etwa **22-fache Verstärkung des Schalldrucks**.

19.2.2 Impedananzpassung und Schallschutz im Mittelohr

Prinzip der Impedananzpassung: Im Rahmen des normalen Hörvorgangs, bei dem die Knochenleitung nur eine geringe Rolle spielt, muss das Schallsignal hauptsächlich aus der Luft auf das flüssigkeitsgefüllte Innenohr übertragen werden. Da Luft einen wesentlich geringeren Schallwellenwiderstand als Wasser hat, wird beim direkten Übertritt von Schall aus Luft in Wasser ein Großteil der Schallenergie reflektiert und damit nicht übertragen. So ginge beim direkten Übergang vom äußeren Ohr ins Innenohr über 90% der Schallenergie durch Reflexion verloren. Diesen Verlust mindert das Mittelohr (**Impedananzpassung**; Impedanz=Gesamtwiderstand), indem es als mechanischer Verstärker zwischen äußerem Gehörgang und Perilymphe des Innenohrs eingeschaltet ist (Abb. 19.4).

Die luftgefüllte Paukenhöhle des Mittelohrs steht über die Ohrtrumpete (Tuba auditiva, Eustachische Röhre, Tube) mit dem Rachen in Verbindung. Diese Verbindung ermöglicht den Ausgleich zwischen Paukenhöhle und äußerem Luftdruck. Zum äußeren Gehörgang hin ist die Paukenhöhle durch das Trommelfell begrenzt, das durch den auftreffenden Schall in Schwingungen versetzt wird.

Die mechanische Verstärkung wird durch die Kette der drei **Gehörknöchelchen** innerhalb der Paukenhöhle geleistet (Abb. 19.4): Der Hammer (Malleus) nimmt die Schwingungen vom Trommelfell des äußeren Ohres auf und überträgt sie über den Amboss (Incus) auf den Steigbügel (Stapes), der mit seiner Fußplatte über das

19.4

19.4 Lage des Mittelohrs zwischen äußerem Ohr und dem flüssigkeitsgefüllten Innenohr

