

A

Ohr

*A. Berghaus,
mit Beiträgen von G. Böhme*

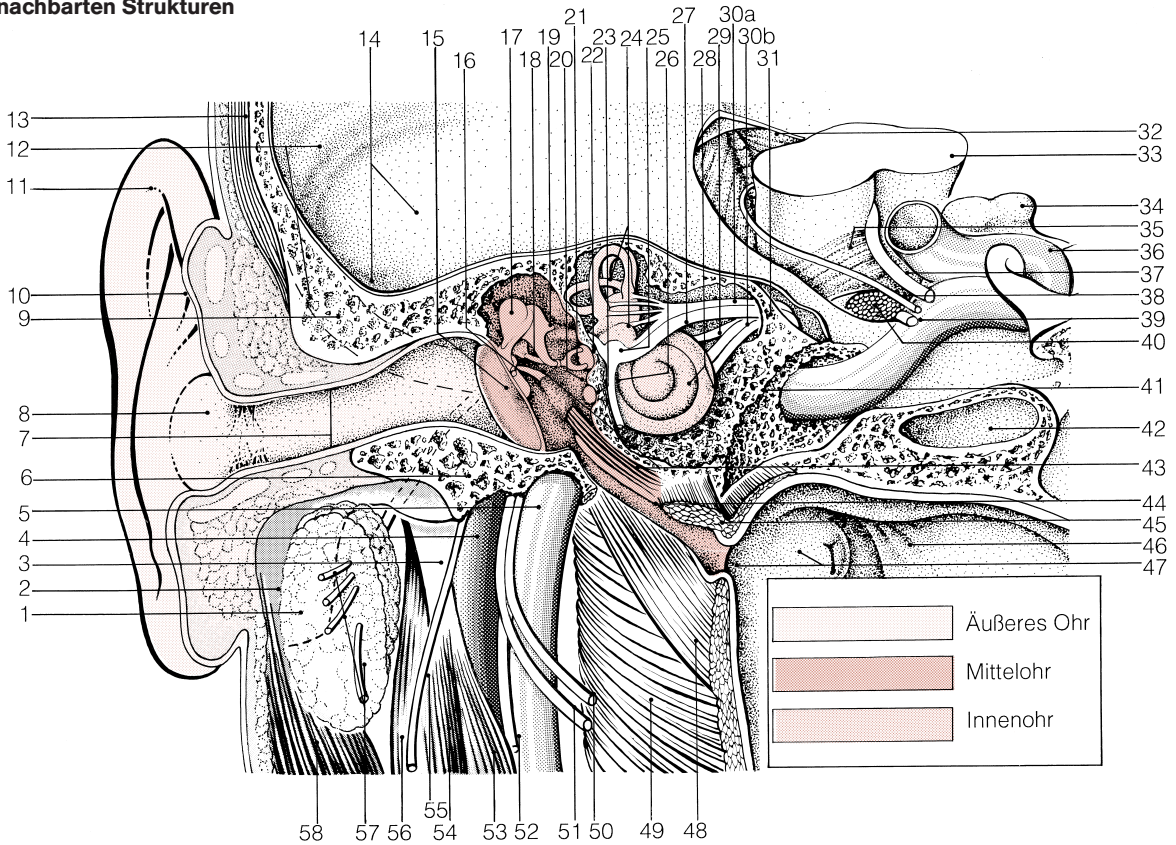
1 Anatomie

A. Berghaus

Definition ►

Definition. Das Ohr ist die Einheit aus Organen und Körperteilen, die dem Gehör dient. Im Innenohr tritt die Funktion des Gleichgewichts hinzu (siehe Synopsis 1).

Synopsis 1: Anatomie des Ohres mit benachbarten Strukturen



- | | | |
|---------------------------------------|--|--|
| 1 – Glandula parotis | 22 – ovales Fenster mit Steigbügel Fußplatte | 41 – Os temporale, Pars petrosa |
| 2 – Processus mastoideus | 23 – rundes Fenster | 42 – Sinus sphenoidalis (Keilbeinhöhle) |
| 3 – Processus styloideus | 24 – Utriculus, Sacculus, Bogengänge | 43 – M. tensor tympani |
| 4 – V. jugularis interna | 25 – Ganglion geniculi | 44 – Tuba auditiva Eustachii |
| 5 – A. carotis interna | 26 – N. petrosus major | 45 – M. tensor veli palatini |
| 6 – Os temporale, Pars tympanica | 27 – N. facialis (VII) im inneren Gehörgang | 46 – Vomer |
| 7 – äußerer Gehörgang | 28 – Cochlea | 47 – pharyngeales Tubenostium, Nasopharynx |
| 8 – Cavum conchae | 29 – A. labyrinthi | 48 – M. levator veli palatini |
| 9 – Os temporale, Pars squamosa | 30 – N. vestibularis | 49 – M. constrictor pharyngis sup. |
| 10 – Anthelix | a) N. vestibularis | 50 – N. glossopharyngeus (IX) |
| 11 – Helix | b) N. cochlearis | 51 – N. hypoglossus (XII) |
| 12 – Sinus sigmoideus | 31 – Porus acusticus internus | 52 – N. vagus (X) |
| 13 – M. temporalis | 32 – Kleinhirn | 53 – M. styloglossus |
| 14 – Dura mater, hintere Schädelgrube | 33 – Hirnstamm | 54 – M. stylopharyngeus |
| 15 – Trommelfell | 34 – Sella turcica | 55 – N. accessorius (XI) |
| 16 – Chorda tympani | 35 – Pons (Brücke) | 56 – M. stylohyoideus |
| 17 – Malleus (Hammer) | 36 – A. carotis interna | 57 – N. facialis (VII) in der Glandula parotis |
| 18 – M. stapedius mit Sehne | 37 – N. oculomotorius (III) | 58 – M. sternocleidomastoideus |
| 19 – Incus (Amboß) | 38 – N. trochlearis (IV) | |
| 20 – Promontorium, Paukenhöhle | 39 – N. abducens (VI) | |
| 21 – Stapes (Steigbügel) | 40 – N. trigeminus (V) | |

1.1 Äußeres Ohr

Man unterscheidet

- das **äußere Ohr**,
- das **Mittelohr** und
- das **Innenohr**.

Das äußere Ohr fängt mit der **Ohrmuschel** die Schallwellen auf und leitet sie durch den **äußeren Gehörgang** zum **Trommelfell**.

Das **Mittelohr** liegt im Felsenbein und ist umgeben von lufthaltigen, mit Schleimhaut ausgekleideten Räumen und »Zellen«, die durch die Ohrtrompete (**Tuba auditiva**) mit dem Nasenrachenraum verbunden sind.

Der wichtigste Raum des Mittelohres ist die **Paukenhöhle**, die die Gehörknöchelchen enthält: **Hammer**, **Amboß** und **Steigbügel**. Sie übertragen die Schallwellen vom Trommelfell auf das ovale Fenster und damit auf das Innenohr.

Mit der Paukenhöhle stehen zahlreiche lufthaltige Zellen in Verbindung, die in ihrer Gesamtheit als »Pneumatisation des Felsenbeins« bezeichnet werden. Von besonderer Bedeutung sind die Warzenfortsatzzellen (**Mastoidpneumatisation**).

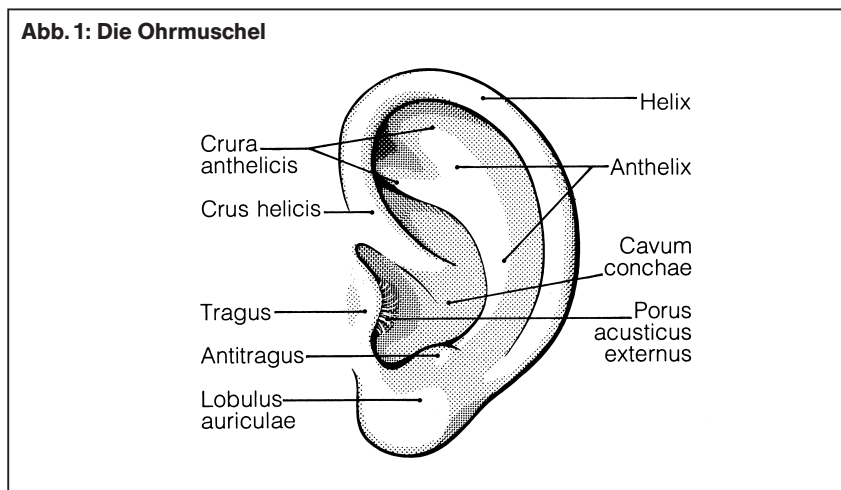
Äußeres Ohr, Trommelfell und Mittelohr werden funktionell als **Schalleitungsapparat** zusammengefaßt und als solcher der Einheit aus Innenohr, Hörnerv und Hörbahn gegenübergestellt, die der **Schallempfindung** dient.

Das **Innenohr** liegt in der Felsenbeinpyramide. Es besteht aus einem System von mit Lymphe gefüllten Räumen (»**Labyrinth**«) in einer Kapsel aus festem, elfenbeinartigem Knochen. Anatomisch und entwicklungsgeschichtlich ist das Innenohr eine Einheit, die aber zwei funktionell unterschiedliche Organe enthält, nämlich das **Gehör- und das Gleichgewichtsorgan**.

1.1 Äußeres Ohr

Zum äußeren Ohr zählen die **Ohrmuschel** und der **äußere Gehörgang** bis zum Trommelfell.

Die Ohrmuschel (Auricula) ist eine Hautfalte, die durch elastischen Knorpel gestützt wird. Lediglich das **Ohr läppchen** (Lobulus auriculae) ist knorpelfrei und enthält nur Fettgewebe. Die Muschelform des äußeren Ohres unterstützt die Schallaufnahme. Jede normale Ohrmuschel zeigt regelmäßig bestimmte Faltungen (siehe *Abbildung 1*).



Die **Helix** ist die »Ohrkrempe«, der eingerollte Rand der Ohrmuschel. Die **Anthelix** liegt innerhalb der Helix und hat angedeutete Ypsilonform. Das **Cavum conchae** ist eine Vertiefung in der Mitte der Ohrmuschel. Der **Porus acusticus externus** ist der Eingang zum äußeren Gehörgang.

Der **Tragus** ist eine knorpelige Erhebung vor dem Porus acusticus externus. Er trägt häufig kleine Haarbüschel.

An der Außen- und Hinterfläche der Ohrmuschel finden sich rudimentäre, kleine **Muskeln**, die geringgradig die Position der Muschel verändern oder sie

Man unterscheidet

- **äußeres**,
- **Mittel-** und
- **Innenohr**

Der Schall gelangt von der **Ohrmuschel** durch den **äußeren Gehörgang** zum **Trommelfell**.

Die lufthaltigen Räume des **Mittelohres** stehen mit dem Nasenrachenraum über die **Tube** in Verbindung.

Der Schalltransport erfolgt in der **Paukenhöhle** über **Hammer**, **Amboß** und **Steigbügel** zum ovalen Fenster, von dort auf das Innenohr.

Die **Mastoidpneumatisation** hat besondere Bedeutung für die Mittelohrfunktion.

Bis zum ovalen Fenster findet eine **Schalleitung** statt, vom Innenohr aus wird die **Schallempfindung** vermittelt.

Das **Innenohr** mit **Hör- und Gleichgewichtsorgan** (»**Labyrinth**«) hat eine besonders feste Knochenkapsel. Es enthält Lymphe.

1.1 Äußeres Ohr

Zum äußeren Ohr gehören **Ohrmuschel** und **äußerer Gehörgang** bis zum Trommelfell.

Die Ohrmuschel wird durch elastischen Knorpel gestützt. Lediglich das **Ohr läppchen** ist knorpelfrei. Jede Ohrmuschel zeigt bestimmte Faltungen (s. *Abb. 1*).

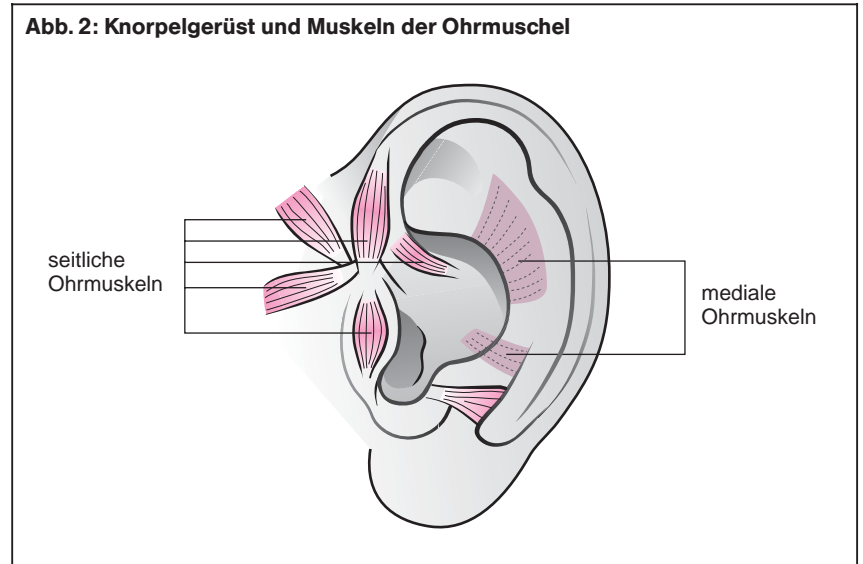
Man unterscheidet **Helix**, **Anthelix**, **Cavum conchae**, **Porus acusticus externus** (= Öffnung zum äußeren Gehörgang) und Ohr läppchen. Vor dem Gehörgangseingang erhebt sich der **Tragus**.

Die äußeren **Ohrmuskeln** sind nur noch rudimentär ausgebildet und

haben beim Menschen keine Funktion (s. Abb. 2).

versteifen können. Bei vielen Tieren ist die ursprüngliche Bedeutung dieser Muskeln erhalten, nämlich die Verbesserung des Richtungshörens. Beim Menschen spielen sie praktisch keine Rolle mehr (siehe Abbildung 2).

Abb. 2: Knorpelgerüst und Muskeln der Ohrmuschel



Der **äußere Gehörgang** ist ungefähr 3,5 cm lang und im äußeren Drittel knorpelig, sonst knöchern. In den medialen zwei Dritteln ist die Haut sehr dünn und liegt dem knöchernen Kanal unmittelbar an.

Die Wände des knöchernen Gehörgangs werden von der **Pars tympanica**, der **Pars petrosa**, und der **Pars squamosa** des **Schläfenbeins** gebildet. Vorne besteht eine Beziehung zum **Kiefergelenk**, hinten zum **Mastoid**.

Haare gibt es nur im äußeren Teil des Gehörgangs.

Das **Zerumen** (Ohrschmalz) wird von Zeruminaldrüsen gebildet.

1.1.1 Nerven- und Gefäßversorgung des äußeren Ohres

Die Ohrmuskeln werden vom N. facialis innerviert. An der **sensiblen Versorgung** des äußeren Ohres sind der **N. auricularis magnus**, **N. auriculotemporalis**, **R. auricularis n. vagi** und Fasern des **N. intermedius** beteiligt.

Die **arterielle Versorgung** stammt von den Aa. auricularis profunda und posterior sowie der A. temporalis superficialis.

Der **Lymphabfluß** vom äußeren Ohr erfolgt in Richtung zur Ohrspeicheldrüse und zum Warzenfortsatz, aber auch in die Halslymphknoten.

Der **äußere Gehörgang** (Meatus acusticus externus) ist ungefähr 3,5 cm lang und mehrfach gekrümmt. Er reicht bis zum Trommelfell und ist mit Haut ausgekleidet. Im äußeren Drittel ist der Gehörgang knorpelig und mit Fett, Bindegewebe und Muskeln gepolstert. Der Gehörgangsknorpel ist eine Fortsetzung des Ohrmuschelknorpels. Er grenzt vorne an die Ohrspeicheldrüse. In den medialen zwei Dritteln ist der Gehörgang knöchern, die Haut ist hier sehr dünn und liegt dem knöchernen Kanal unmittelbar an.

Boden und Vorderwand des knöchernen, äußeren Gehörgangs werden von der **Pars tympanica**, die Hinterwand von der **Pars petrosa**, das Dach von der **Pars squamosa** des **Schläfenbeins** gebildet. Die Vorderwand des knöchernen Gehörgangs ist an der Bildung des **Kiefergelenkes** beteiligt. Die Hinterwand und das Dach grenzen an die pneumatisierten Räume des Mittelohres, vor allem das **Mastoid**.

Die Haut des äußeren Gehörgangs besitzt ein geschichtetes, verhorntes Plattenepithel mit Talgdrüsen und **Haaren**, die zum knöchernen Teil hin spärlicher werden und medial ganz fehlen. In der Subkutis liegen die Ohrschmalzdrüsen (Glandulae ceruminosae), die neben den Haarbalgen münden. Sie produzieren das **Zerumen**, den Hauptbestandteil des Ohrschmalzes.

1.1.1 Nerven- und Gefäßversorgung des äußeren Ohres

Die Ohrmuskeln werden vom N. facialis innerviert. Die **sensible Versorgung** der Hinterfläche der Ohrmuschel erfolgt durch den **N. auricularis magnus**, die der Vorderfläche der Ohrmuschel, des äußeren Gehörgangs und von Anteilen der Außenfläche des Trommelfells durch den **N. auriculotemporalis**. Der **R. auricularis n. vagi** innerviert ebenfalls teilweise die Außenfläche des Trommelfells, außerdem hinten unten angrenzende Teile des äußeren Gehörgangs. An der sensiblen Innervation des Gehörgangs im hinteren oberen Bereich sind auch Fasern beteiligt, die mit dem N. facialis gemeinsam verlaufen (**N. intermedius**).

Die **arterielle Versorgung** des äußeren Ohres stammt von der A. auricularis posterior, der A. auricularis profunda und der A. temporalis superficialis.

Der **Lymphabfluß** vom äußeren Ohr erfolgt vor allem in Richtung zur Ohrspeicheldrüse und zum Warzenfortsatz, aber auch in die Halslymphknoten. Er erreicht die Lnn. parotidei, die vor dem Ohr liegen, sowie die hinter dem Ohr liegenden Lnn. retroauriculares und die Lnn. cervicales superficiales und profundis.

1.2 Mittelohr

1.2.1 Trommelfell (Membrana tympani)

Das Trommelfell ist eine Membran, die die Schallwellen auffängt und das »Fenster« zum Mittelohr darstellt. Es trennt den Gehörgang vom Mittelohr.

Das gesunde Trommelfell ist **perlgrau** und rund-oval, in der Mitte trichterförmig zum Nabel (**Umbo**) eingezogen. Der Umbo ist das untere Ende des Hammergriffs, der von vorn oben nach hinten unten verläuft und als »**Hammerstreifen**« sichtbar ist.

Das Trommelfell wird in **vier Quadranten** eingeteilt (vorne oben und unten, hinten oben und unten). Die Einteilung folgt einer Linie entlang dem Hammerstreifen und einer Senkrechten darauf durch den Umbo. Vom Nabel aus nach vorne unten entsteht durch auffallendes Licht beim normalen Trommelfell ein dreieckiger **Lichtreflex** (siehe Synopsis 2a, b).

1.2 Mittelohr

1.2.1 Das Trommelfell

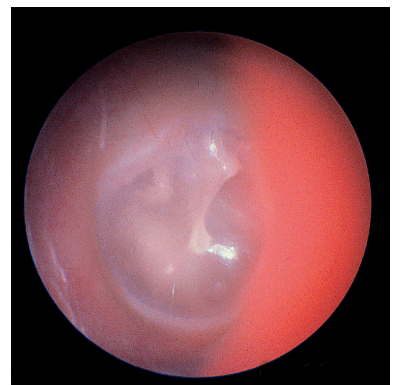
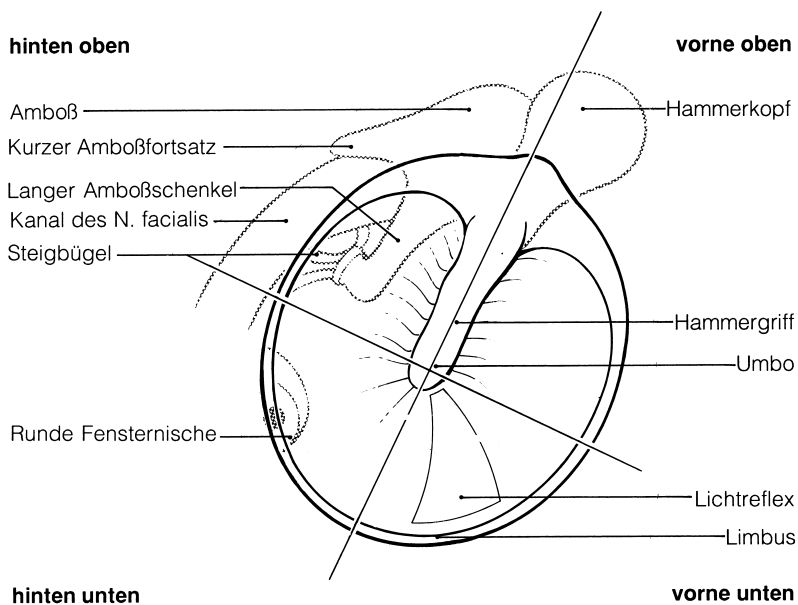
Das Trommelfell fängt die Schallwellen auf. Es trennt den Gehörgang vom Mittelohr.

Am normalen **perlgrauen** Trommelfell erkennt man den **Hammerstreifen** und den zentralen **Umbo**.

Das Trommelfell teilt man in **vier Quadranten** ein.

Der **Lichtreflex** liegt im vorderen, unteren Quadranten (s. Syn. 2a, b).

Synopsis 2a: Trommelfell mit Quadranteneinteilung



Synopsis 2b: Normalbefund des Trommelfells

Am oberen Ende der Hammerzeichnung springt der kurze Fortsatz des Hammers knopfartig nach außen vor. Von dieser Stelle ziehen zwei Falten nach vorn bzw. hinten oben. Sie bilden die Trennlinie zwischen dem schlaffen Teil des Trommelfells, der **Pars flaccida (Shrapnell-Membran)**, und dem gespannten Teil, der **Pars tensa**.

Die **Pars tensa** besteht aus drei Schichten: äußere (platteneitheliale) Schicht; mittlere Schicht (zwei bindegewebige Lagen, davon eine mit zirkulärem und eine mit radiärem Faserverlauf) und innere Schicht (Schleimhaut). In der **Pars flaccida** dagegen fehlt die mittlere, fibröse Schicht.

Die mittlere Faserschicht der Pars tensa verdickt sich am Rand zu einem etwas erhabenen **Limbus (Anulus fibrocartilagineus)**, der in einer Rinne des Os tympanicum eingebettet ist.

Durch das Trommelfell hindurch ist im hinteren oberen Quadranten der lange Schenkel des **Amboß** erkennbar. Gelegentlich kann man bei sehr zarten Trommelfellen auch das Amboß-Steigbügel-Gelenk oder gar den **Steigbügel** selbst sehen.

Die Spannung des Trommelfells wird durch den **M. tensor tympani** eingestellt, der am Hammer angreift.

Oben im Trommelfell liegt die kleine **Pars flaccida (Shrapnell-Membran)**, wogegen der übrige, weitaus größere, untere Teil des Trommelfells von der **Pars tensa** gebildet wird.

Die **Pars tensa** besteht aus drei, die **Pars flaccida** aus zwei Schichten.

Der etwas erhabene Trommelfellrand heißt **Limbus**.

Ist das Trommelfell zart, kann man den langen **Amboßschenkel** und evtl. den **Steigbügel** hindurchsehen sehen.

Der **M. tensor tympani** stellt die Trommelfellspannung ein.

1.2.2 Die Paukenhöhle

Die **Paukenhöhle** ist der größte und wichtigste Raum des Mittelohres.

• Wände der Paukenhöhle

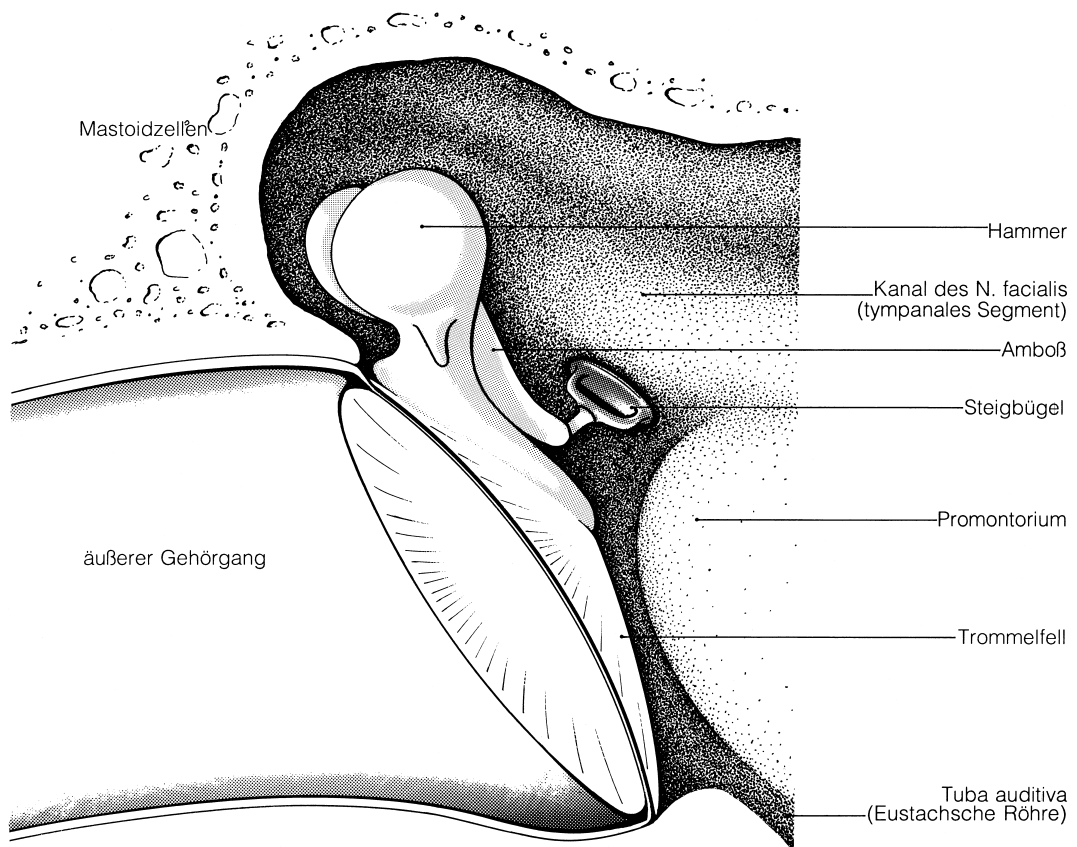
Vorne grenzt sie an den **Karotiskanal**, hinten an den Warzenfortsatz, unten an den **Bulbus v. jugularis** und medial an das **Labyrinth** (s. Abb. 3).

1.2.2 Die Paukenhöhle (Cavum tympani)

Sie gehört zu dem von Schleimhaut ausgekleideten Raumsystem des Mittelohres in der Pars petrosa des Schläfenbeins und ist ihr größter und wichtigster Raum.

• **Wände der Paukenhöhle.** Die vordere Wand (Pariet caroticus) ist dem **Kanal der A. carotis interna**, die hintere (Pariet mastoideus) dem **Processus mastoideus**, die untere (Pariet jugularis) der **Fossa jugularis** mit dem **Bulbus v. jugularis** und die mediale Wand (Pariet labyrinthicus) dem **Labyrinth** benachbart (siehe Abbildung 3).

Abb. 3: Einblick in die Paukenhöhle von ventral



Über dem Dach der Paukenhöhle liegt die **mittlere Schädelgrube**, seitlich das Trommelfell.

Die **drei Etagen** der Paukenhöhle:

- **Epitympanon**
- **Mesotympanon**
- **Hypotympanon**

Die Paukenhöhle steht mit der **Pneumatisation des Warzenfortsatzes** in Verbindung.

• Inhalt der Paukenhöhle

In der Paukenhöhle finden sich die **Gehörknöchelchenkette** mit **Hammer**, **Amboß** und **Steigbügel** sowie die Mittelohrmuskeln und die Chorda tympani.

Die obere Wand, das Paukenhöhlendach (Pariet tegmentalis, **Tegmen tympani**), trennt die Paukenhöhle von der mittleren Schädelgrube. Die laterale, vom Trommelfell gebildete Wand (Pariet membranaceus), trennt sie vom äußeren Gehörgang.

Aus praktischen Gründen wird die Paukenhöhle in **drei Etagen** gegliedert:

- **Epitympanon** (oberhalb des Trommelfells)
- **Mesotympanon** (hinter dem Trommelfell)
- **Hypotympanon** (unterhalb des Trommelfells).

Die Paukenhöhle steht über das Antrum mastoideum mit der **Pneumatisation des Warzenfortsatzes** in Verbindung, die dem Mittelohr zuzurechnen ist.

• Inhalt der Paukenhöhle

Das Cavum tympani enthält u.a. die Gehörknöchelchen (Ossicula), die die gelenkig verbundene **Gehörknöchelchenkette** bilden. Malleus (**Hammer**), Incus (**Amboß**) und Stapes (**Steigbügel**), die beiden Mittelohrmuskeln (M. tensor tympani und M. stapedius), einige Bänder und die Chorda tympani.

Der **M. tensor tympani** setzt am Hammer an. Seine Funktion ist die Änderung der Spannung des Trommelfells. Der **M. stapedius** greift über eine Sehne am Steigbügelköpfchen an. Er wird vom N. facialis innerviert und kann die Stapessehne versteifen.

Der **Kanal des N. facialis** zieht am Steigbügel vorbei und ist zusammen mit dem **Promontorium** (Ausbuchtung der unteren Schneckenwindung) an der Bildung der Nische zum ovalen Fenster beteiligt.

Das **ovale** und das **runde Fenster** sind gegen das Innenohr beweglich. Im ovalen Fenster sitzt die Fußplatte des Steigbügelfußplatte, dahinter liegt das Vestibulum des Innenohres. Das runde Fenster begrenzt die Scala tympani der Hörschnecke gegen das Mittelohr durch eine Membran.

Durch die Pauke zieht ferner die **Chorda tympani**, ein Geschmacksnerv, dessen Fasern sich dem N. facialis angliedern.

Über die Eustachi-Röhre (**Tuba auditiva**, Ohrtrumpete) besteht eine Verbindung vom Mittelohr zum Nasenrachenraum. Die Tuba auditiva ist ein knorpeliges Rohr mit großer funktioneller Bedeutung für die Belüftung der Mittelohrräume.

Die Öffnung und Schließung der Tube wird durch die Mm. tensor und levator veli palatini gesteuert.

• **Nerven und Gefäße der Paukenhöhle.** Die Schleimhaut der Paukenhöhle wird sensibel vom **Plexus tympanicus** versorgt, der auf dem Promontorium liegt. Beteiligt sind dabei auch die Nn. caroticotympatici vom sympathischen Geflecht der A. carotis interna. Der M. stapedius wird vom N. facialis, der M. tensor tympani vom N. trigeminus versorgt.

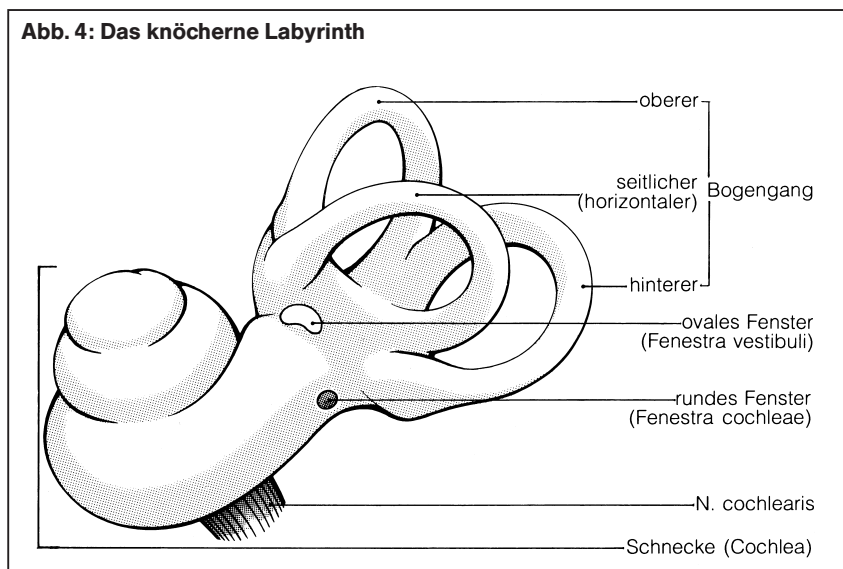
Die arterielle Versorgung der Paukenhöhle wird aus der A. maxillaris, der A. stylomastoidea (aus A. auricularis posterior), der A. meningea media, der A. carotis interna und der A. pharyngea ascendens gespeist. Die aus diesen Stromgebieten versorgten **Aa. tympanicae** bilden untereinander viele Verbindungen.

Der **venöse** Abfluß erfolgt zum Plexus pharyngeus, zur V. meningea media und in die Sinus durae matris.

Die **Lymphabflußbahnen** kommunizieren mit denen des äußeren Ohres und des Trommelfells und münden in Lymphknoten vor dem Gehörgang, unter der Ohrmuschel und in der Gl. parotis, aber auch in submandibulären sowie oberflächlichen und tiefen Halslymphknoten.

1.3 Innenohr

Das **Hörorgan** (Cochlea) und das **Gleichgewichtsorgan** im knöchernen Labyrinth der Felsenbeinpyramide werden gemeinsam als »Innenohr« bezeichnet (siehe Abbildung 4 und Synopsis 3).



Der **M. tensor tympani** setzt am Hammer an, der **M. stapedius** am Steigbügel.

Fazialiskanal und **Promontorium** bilden die Nische zum ovalen Fenster.

Das **ovale** und das **runde Fenster** liegen zwischen Mittel- und Innenohr. Im ovalen Fenster sitzt die Fußplatte des Steigbügels, im runden Fenster eine Membran.

Die **Chorda tympani** schließt sich dem N. facialis an.

Die funktionell wichtige Verbindung der Paukenhöhle zum Nasenrachenraum wird durch die **Tuba auditiva** hergestellt, über die das Mittelohr belüftet wird.

M. tensor und M. levator veli palatini steuern die Tubenöffnung.

• **Nerven und Gefäße der Paukenhöhle**

Die Paukenschleimhaut wird hauptsächlich vom **Plexus tympanicus** sensibel versorgt, die Binnenohrmuskeln von Ästen des N. facialis und N. trigeminus.

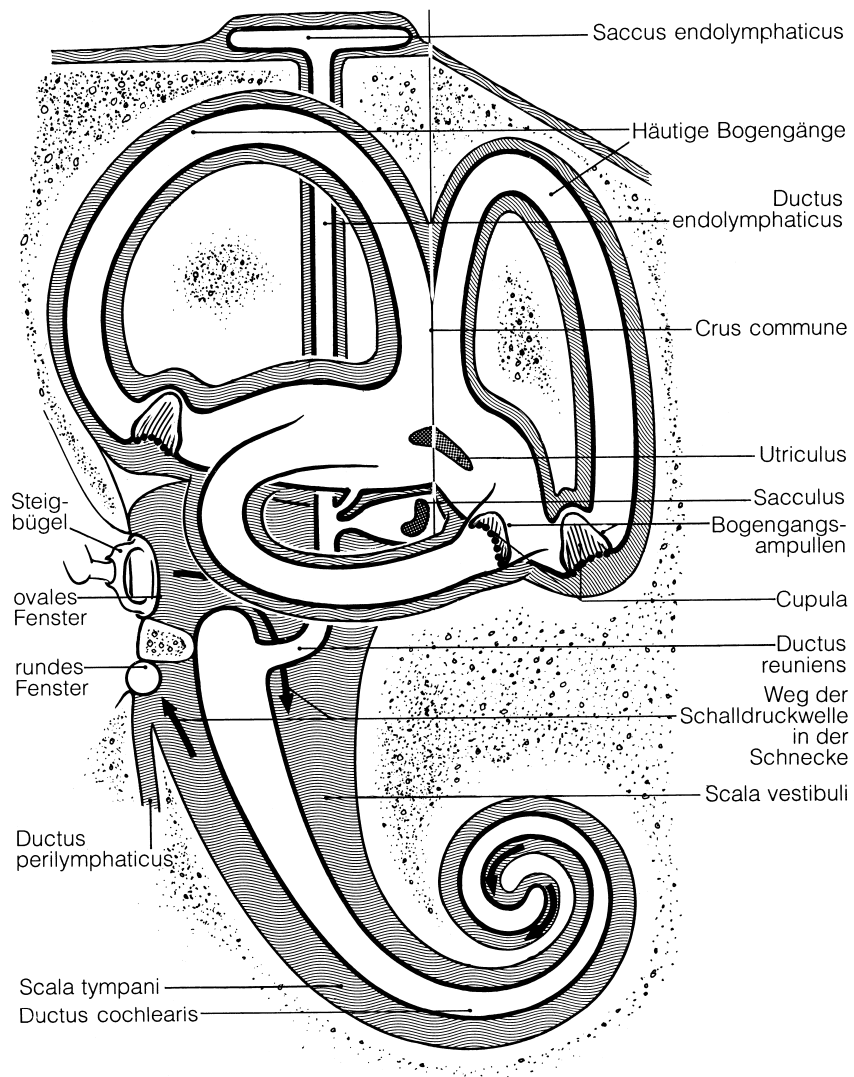
Die **Aa. tympanicae** entstammen mehreren Hauptstromgebieten.

Der **venöse** Abfluß erfolgt zum Plexus pharyngeus, zur V. meningea media und in die Sinus durae matris. Die **Lymphbahnen** des Mittelohres stehen mit denen des äußeren Ohres und des Trommelfells in Verbindung.

1.3 Innenohr

Das **Innenohr** umfaßt das **Hör-** und das **Gleichgewichtsorgan** (s. Abb. 4 u. Syn. 3).

Synopsis 3: Schema der Innenohrräume



Im **häutigen** Labyrinth findet sich **Endolymphe**, außerhalb **Perilymphe**.

Zum **häutigen Labyrinth** gehören die drei **Bogengänge**, das **Vestibulum** und die **Hörschnecke**.

Der Endolymphschlauch endet über den **Ductus endolymphaticus** im **Saccus endolymphaticus**; der Perilymphschlauch steht mit dem Subarachnoidalraum in Verbindung.

Der Elektrolytaustausch zwischen **Endolymphe** (kaliumreich) und **Perilymphe** (kaliumarm) erfolgt durch eine zelluläre Kalium-Natrium-Austauschpumpe.

Die Sinnesapparate befinden sich im **häutigen** Labyrinth, das mit **Endolymphe** gefüllt ist. Dieses liegt, von **Perilymphe** umspült, im **knöchernen** Labyrinth.

Das **häutige Labyrinth** besteht aus drei **Bogengängen** (Ductus semicirculares), dem **Vestibulum** (Vorhof) mit **Sacculus** und **Utriculus** sowie der **Schnecke** (Cochlea) mit dem Ductus cochlearis (häutige Schnecke).

Der Endolymphschlauch endet über den **Ductus endolymphaticus** (Aquaeductus vestibuli) in einer Duraduplikatur (**Saccus endolymphaticus**). Perilymphe und Subarachnoidalraum stehen durch den Ductus perilymphaticus (Aquaeductus cochleae) in Verbindung.

Die **Endolymphe** ist kaliumreich und natriumarm, die **Perilymphe** kaliumarm und natriumreich. Über eine zelluläre Kalium-Natrium-Austauschpumpe, die für konstante Ionenkonzentrationen verantwortlich ist, erfolgt ein Elektrolytaustausch im Bereich des Sacculus und des Utriculus sowie in der Stria vascularis der Cochlea.

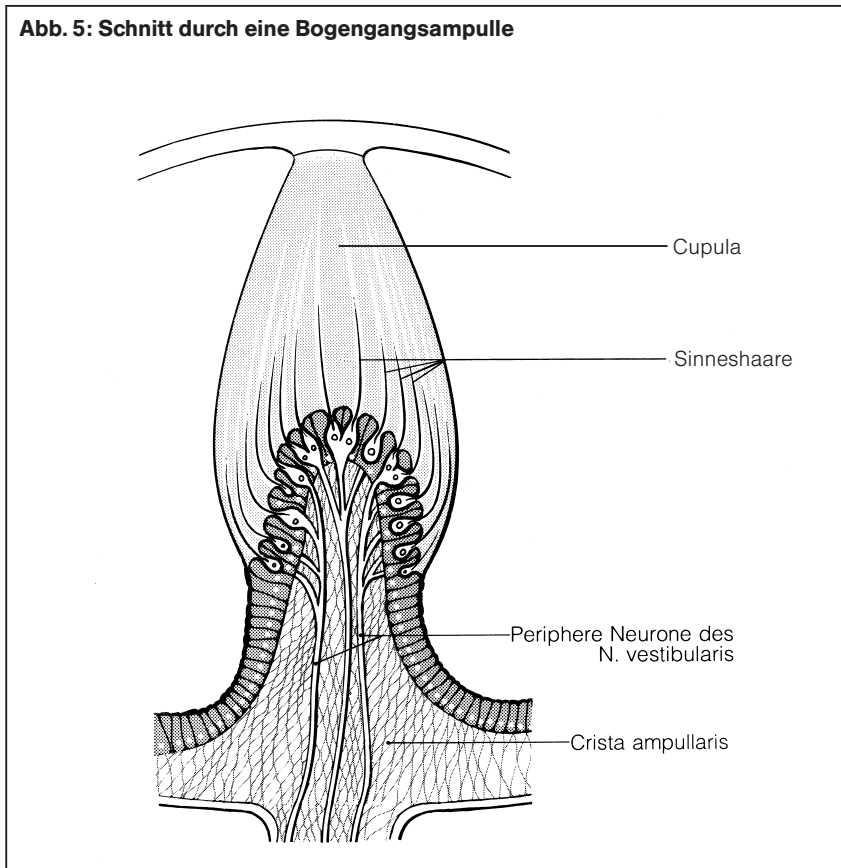
1.3.1 Das Gleichgewichtsorgan

Die **drei** Bogengänge stehen im rechten Winkel zueinander und werden nach ihrer Lage im Felsenbein als **vorderer**, **hinterer** und **seitlicher Bogengang** bezeichnet. Jeder Bogengang ist an einem Ende kolbig zur Ampulle erweitert (siehe *Abbildung 5*).

1.3.1 Das Gleichgewichtsorgan

Im Felsenbein liegen ein **vorderer**, ein **hinterer** und ein **seitlicher Bogengang** (s. *Abb. 5*).

Abb. 5: Schnitt durch eine Bogengangsampulle



In der **Ampulle** befindet sich eine gegen das Lumen vorragende Leiste, die **Crista ampullaris**. Die Crista trägt an ihrer Oberfläche ein Epithel, das die Sinneszellen mit Sinneshärcchen enthält. Diese ragen in eine gallertige Masse, die **Cupula**. Von jeder Ampulle führt ein Nervenbündel zum N. vestibulocochlearis (VIII. Hirnnerv).

Durch Strömungsbewegungen der Endolymphe wird die Cupula bewegt. Die Abwinkelung der Sinneshaare durch Auslenkung der Cupula ist der adäquate Reiz für diese Sinneszellen und führt zu einer Drehempfindung.

Der Vorhof (Vestibulum) ist der »Vorraum« zu den Bogengängen. Das Vestibulum hat dem ganzen Gleichgewichtsorgan den Namen »**Vestibularapparat**« gegeben.

Das Vestibulum grenzt an das ovale Fenster, in welchem der Steigbügel mit seiner Fußplatte sitzt, und enthält **Utriculus** und **Sacculus**. Utriculus und Sacculus haben je ein ovales Sinnesfeld, die **Macula** (siehe *Abbildung 6*). Die Macula utriculi liegt horizontal, die Macula sacculi steht senkrecht zur Körperachse. Das Neuroepithel der Macula ist dem der Crista ampullaris ähnlich. Die Härcchen der Sinneszellen reichen in eine gallertige Membran, der feine Kalkkristalle (**Statolithen**, **Otolithen**) aufgelagert sind. Die Maculae sprechen auf jede Änderung der Schwerkraft bzw. **lineare Beschleunigung** an.

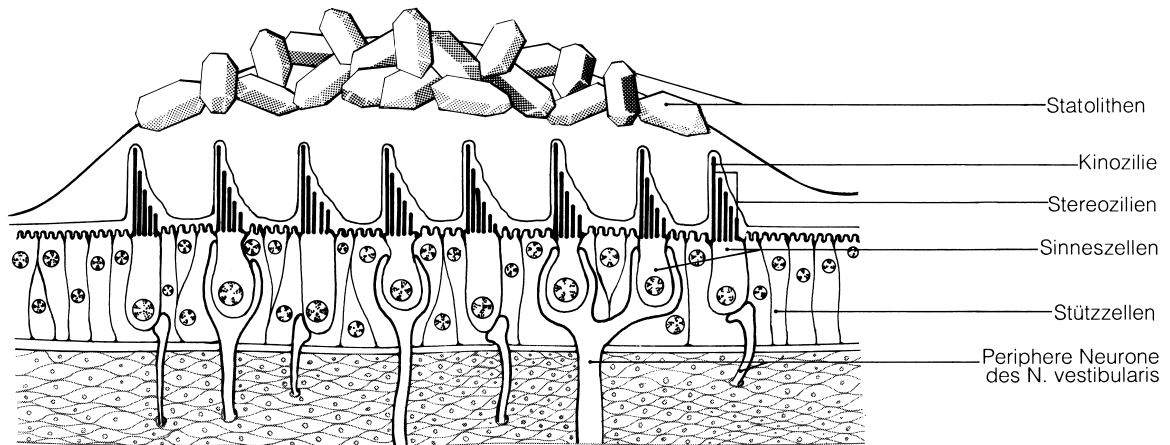
Das periphere Gleichgewichtsorgan besteht aus dem labyrinthären Anteil und dem N. vestibularis bis zu seinem Eintritt in den Hirnstamm (**Kleinhirnbrückenwinkel**).

In den **Ampullen** der drei Bogengänge sitzt je eine **Cupula**, in die die Sinneshaare hineinragen. Von jeder Ampulle führen Nerven zum N. vestibulocochlearis (VIII. Hirnnerv). Die Abwinkelung der Sinneshaare durch Strömungen der Endolymphe ist der adäquate Reiz, der zu einer Drehempfindung führt.

Der **Vestibularapparat** ist nach dem Vorhof so benannt.

Im Vestibulum liegen der **Utriculus** (horizontal) und der **Sacculus** (vertikal). Beide haben eine **Macula** mit Sinneszellen, deren Härcchen in eine gallertige Masse gebettet sind (s. *Abb. 6*). Aufgelagert sind **Otolithen**, deren Bewegung zur Abwinkelung der Sinneshärcchen führt. Die Maculae reagieren auf **lineare Beschleunigung**. Das periphere Gleichgewichtsorgan besteht ferner aus dem N. vestibularis bis zum **Kleinhirnbrückenwinkel**.

Abb. 6: Schnitt durch eine Macula statica



1.3.2 Cochlea und innerer Gehörgang

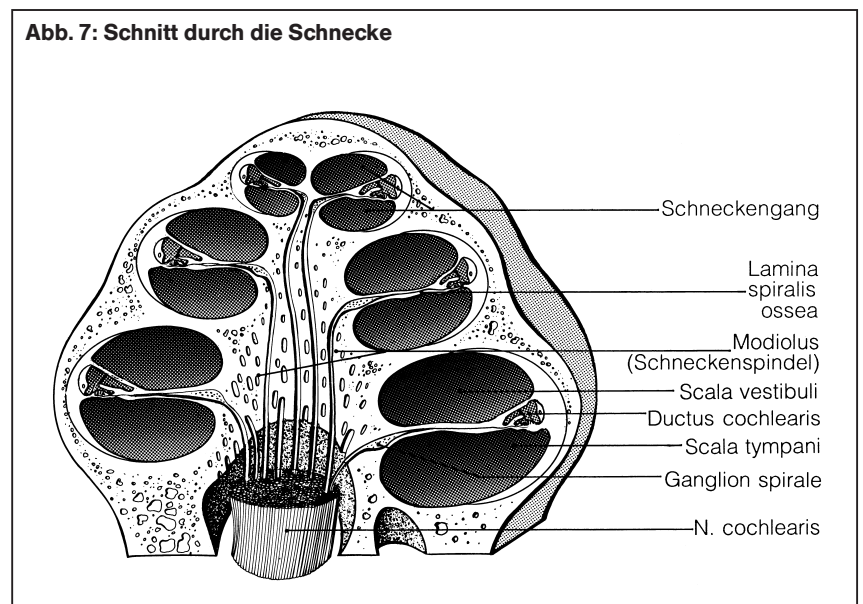
• Cochlea

In der Cochlea liegt das **Hörorgan**. Die Schnecke hat zweieinhalb Windungen, der **Schneckengang** ist ca. 32 mm lang. Er windet sich um den **Modiolus**. Die Basis ist dem inneren Gehörgang zugewandt (s. Abb. 7 u. 8).

1.3.2 Cochlea und innerer Gehörgang

• **Cochlea.** Die Cochlea (Schnecke) enthält die Sinneszellen des **Hörorgans**. Der Gang der Cochlea (**Schneckengang**) des Erwachsenen hat zweieinhalb Windungen mit einer Gesamtlänge von ca. 32 mm. Er windet sich um eine kegelförmige Achse, die Schneckenspindel (**Modiolus**). Die Basis der Schnecke ist dem inneren Gehörgang, die Spitze der Pauke zugewandt (siehe Abbildungen 7 und 8).

Abb. 7: Schnitt durch die Schnecke



Die drei gangartigen Räume in der Schnecke sind:

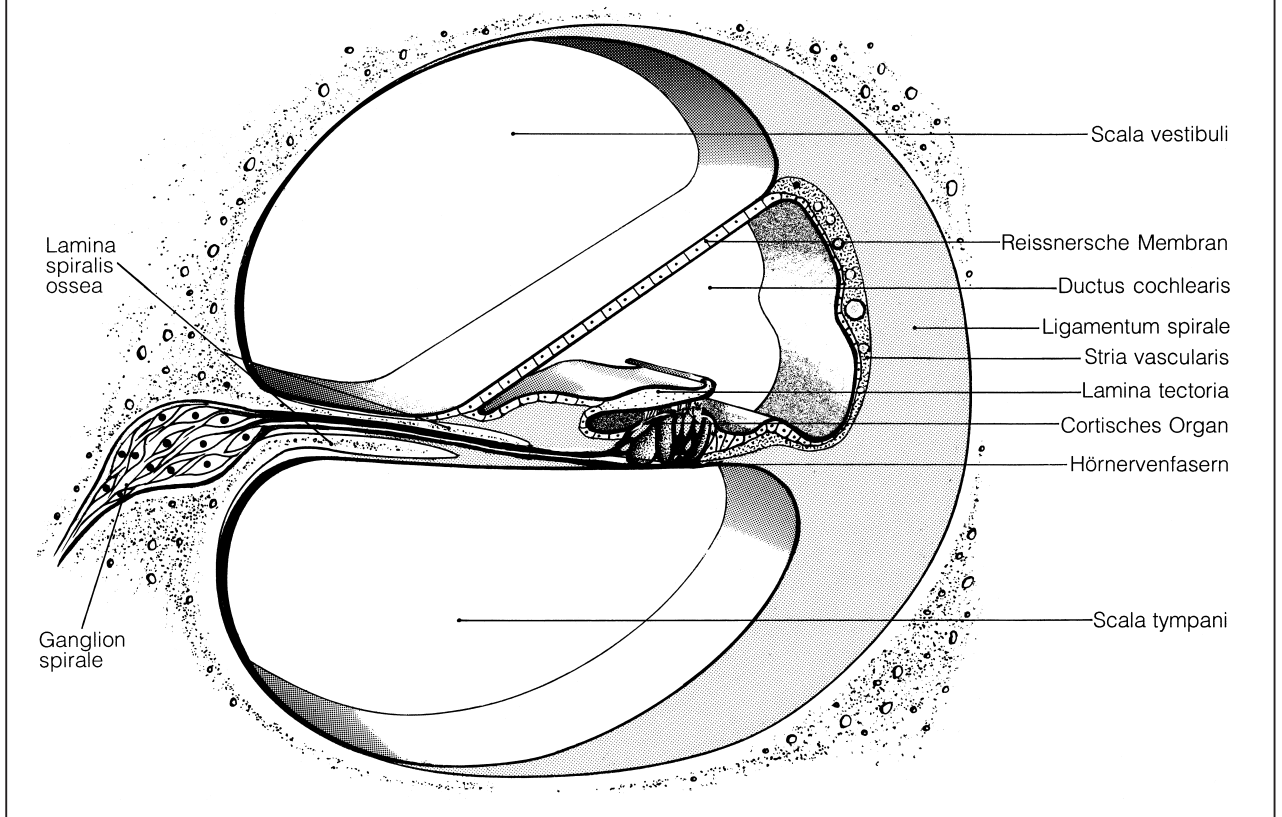
- **Scala vestibuli**,
- **Scala tympani** und
- **Ductus cochlearis**, der mit **Endolymphe** gefüllt ist und zwischen Scala vestibuli und Scala tympani liegt.

Die Cochlea wird durch drei gangartige Räume unterteilt:

- Die **Scala vestibuli** öffnet sich gegen den Vorhof;
- Die **Scala tympani** schließt gegen das Mittelohr mit dem runden Fenster ab;
- Der **Ductus cochlearis** (»Scala media«) ist mit **Endolymphe** gefüllt und liegt zwischen Scala vestibuli und Scala tympani.

Scala vestibuli und Scala tympani, die mit **Perilymphe** gefüllt sind, stehen an der Schneckenspitze durch das **Helicotrema** in Verbindung.

Abb. 8: Schnitt durch den Schneckengang



Der **Ductus cochlearis** (Scala media) wird von der Scala vestibuli durch die Reissnersche Membran, von der Scala tympani durch die **Basilarmembran** getrennt. Auf dieser liegt das **Corti-Organ**, das eigentliche **Hörorgan** (Abbildung 9). Es erstreckt sich in seinem Verlauf von der Basalwindung bis zur Kuppelwindung der Schnecke und besteht aus Sinneszellen (**Haarzellen**) und verschiedenen Stützzellen.

Die 17000 Sinneszellen des Corti-Organs verteilen sich auf eine Reihe innerer und drei Reihen äußerer Haarzellen.

95% der Fasern des N. cochlearis sind mit den inneren, nur 5% mit den äußeren Haarzellen verbunden.

• **Innerer Gehörgang.** Die Nervenfasern von den Sinneszellen des Gehör- und Gleichgewichtsorgans ziehen als **N. vestibulocochlearis (VIII. Hirnnerv)** durch den **inneren Gehörgang** (Meatus acusticus internus) zum Hirnstamm.

Der innere Gehörgang enthält außerdem die Gefäße für das Innenohr (**A. und V. labyrinthi**), den **N. facialis (VII)** und den **N. intermedius**, einen Begleitnerv des N. facialis mit sensiblen und sensorischen Fasern (siehe Synopsis 4).

1.4 Zentrale Hör- und Gleichgewichtssysteme

• **Zentrale Hörbahn.** Das afferente Hörsystem (= Reizleitung zum Hörzentrum) umfaßt einen **peripheren** Teil, die Pars cochlearis des N. vestibulocochlearis, und einen **zentralen** Teil, die zentrale Hörbahn sowie subkortikale und kortikale Hörzentren (siehe Synopsis 5). Die anatomisch-morphologische Grenze zwischen peripherer und zentraler Hörbahn befindet sich an der Eintrittsstelle des N. cochlearis in den Hirnstamm im Bereich des Kleinhirnbrückenwinkels.

Der Abschnitt der Hörnervenbahn oberhalb der Cochlea wird auch »**retrocochleärer**« Bereich genannt. Hier ansetzende Hörstörungen werden deshalb als »retrocochleäre« Hörschäden bezeichnet.

Scala vestibuli und Scala tympani (mit **Perilymphe** gefüllt) stehen durch das **Helicotrema** in Verbindung. Das Hörorgan (**Corti-Organ**) liegt auf der **Basilarmembran** des **Ductus cochlearis** (s. Abb. 9). Es besteht aus Sinneszellen (**Haarzellen**) und Stützzellen.

95% der Fasern des Hörnervs sind mit den inneren Haarzellen verbunden.

• Innerer Gehörgang

Durch den inneren Gehörgang ziehen der **N. vestibulocochlearis (VIII)**, **A. u. V. labyrinthi**, **N. facialis (VII)** und **N. intermedius** (s. Syn. 4).

1.4 Zentrale Hör- und Gleichgewichtssysteme

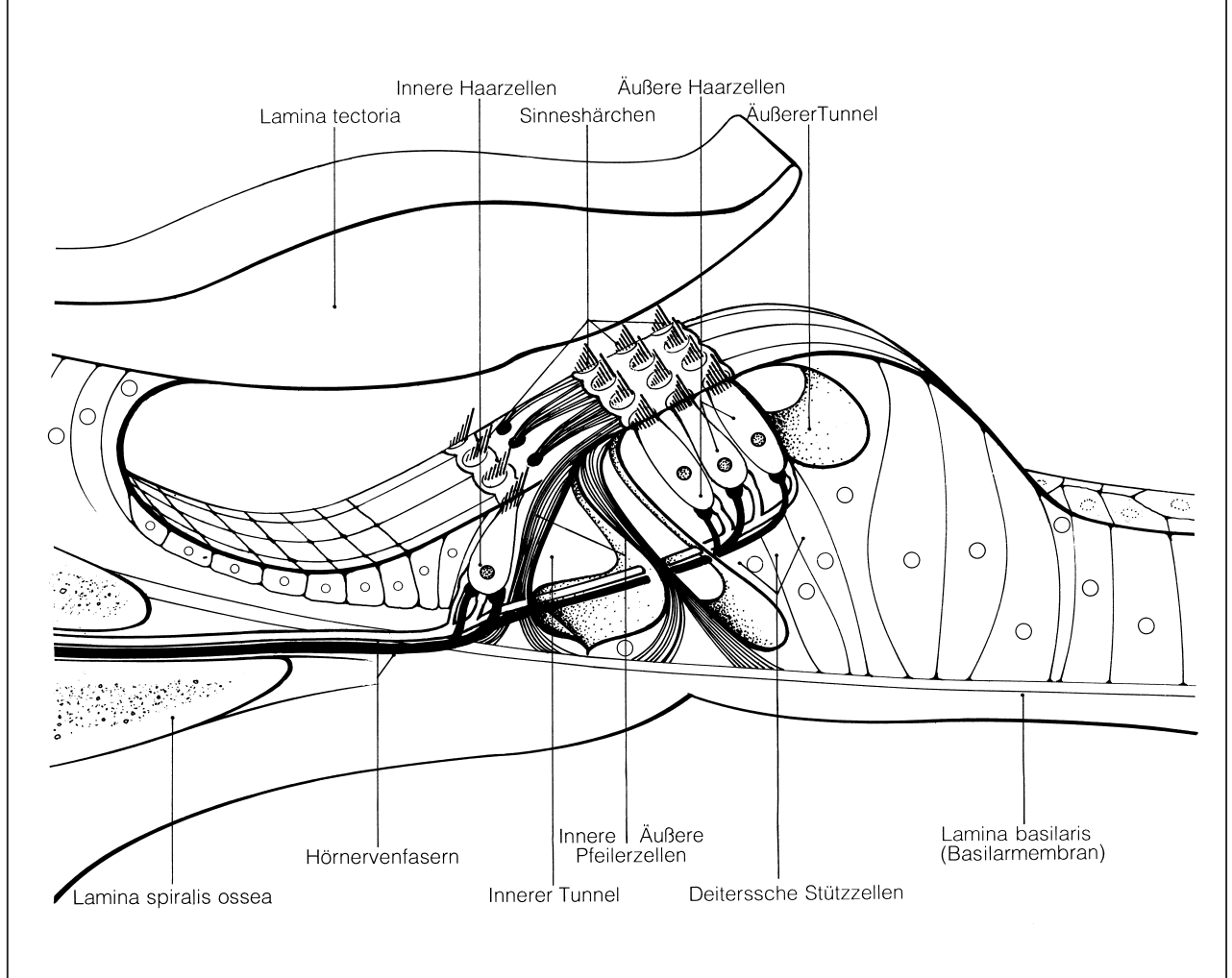
• Zentrale Hörbahn

Die Pars cochlearis des N. vestibulocochlearis stellt den **peripheren** Teil der Hörbahn dar (s. Syn. 5).

Die **zentrale** Hörbahn beginnt nach dem Eintritt des N. cochlearis in den Hirnstamm.

Der **retrocochleäre** Bereich der Hörbahn ist oberhalb der Cochlea lokalisiert.

Abb. 9: Das Corti-Organ



Die aufsteigenden Nervenfasern ziehen zum **Nucleus cochlearis dorsalis**, die absteigenden zum **Nucleus cochlearis ventralis**.

Merke ►

Weitere Schaltstellen der zentralen Hörbahn sind:

- **Lemniscus lateralis**
- **Colliculus inferior**
- **Corpus geniculatum mediale**
- **Hörrinde**

• **Zentrales Gleichgewichtssystem**
Die Grenze zwischen dem peripheren und dem zentralen Gleichgewichtssystem liegt in Höhe der Gleichgewichtskerne.

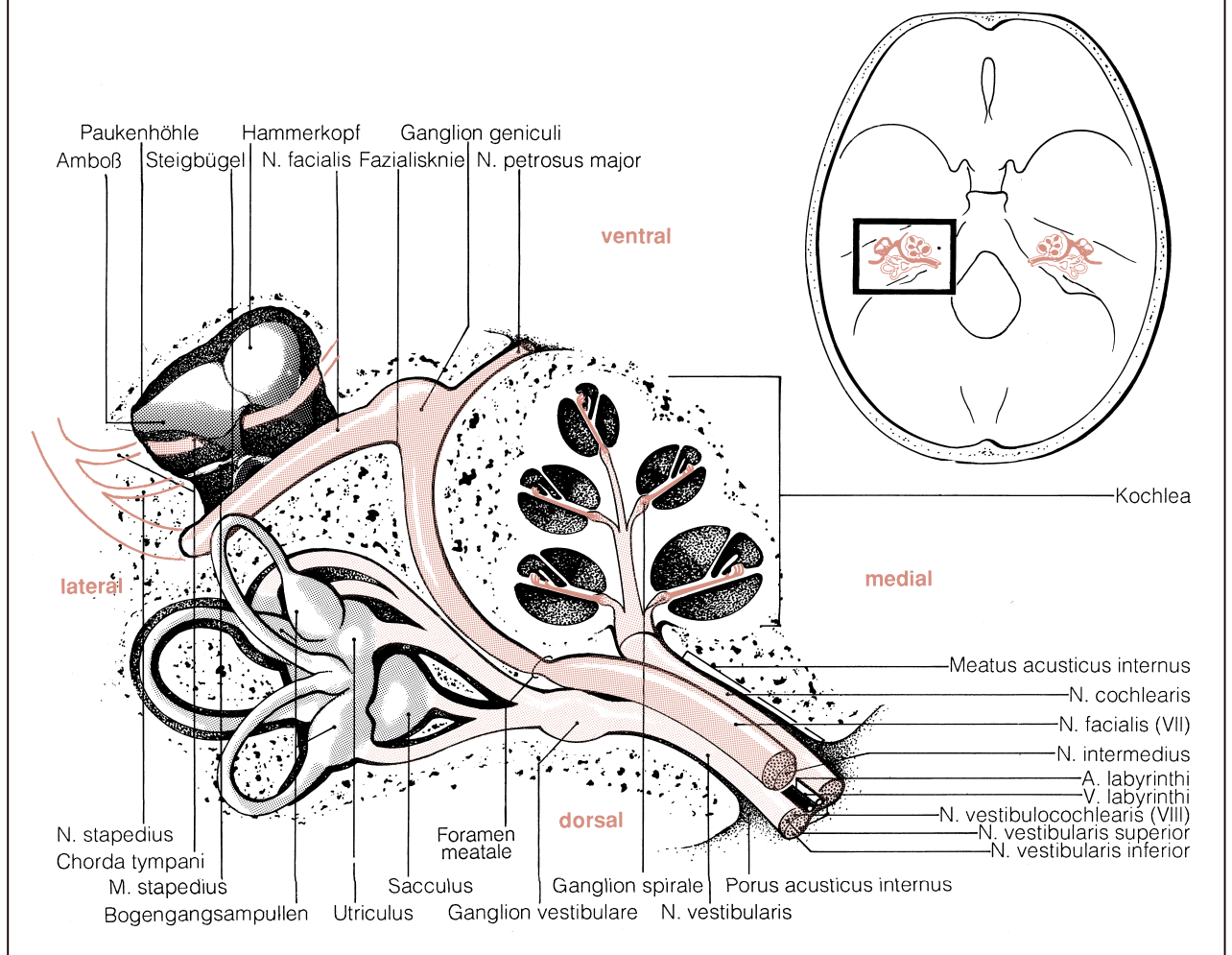
Die aufsteigenden Nervenfasern ziehen zum **Nucleus cochlearis dorsalis**, die absteigenden Äste zum **Nucleus cochlearis ventralis**. Vom dorsalen Kern kreuzen die Fasern zur oberen Olive der anderen Seite.

Merke. Der überwiegende Teil der zentralen Hörbahn kreuzt im Nucleusbereich des Hirnstamms auf die kontralaterale Seite. Ein kleinerer Teil verläuft auch ipsilateral, so daß jedes Corti-Organ mit beiden Hörrinden verbunden ist.

Der überwiegende Teil des **Lemniscus lateralis** endet im **Colliculus inferior**. Die nächste Schaltstelle der zentralen Hörbahn ist das **Corpus geniculatum mediale**. Die Fasern der Hörstrahlung verlaufen von dort quer durch den hinteren Abschnitt der inneren Kapsel zur **Hörrinde**. Als Hörrinde ist nicht nur die Heschl-Querwindung, sondern ein wesentlich größerer Bereich anzusehen.

• **Zentrales Gleichgewichtssystem.** Das periphere Gleichgewichtssystem umfaßt das Vestibularorgan und den N. vestibularis. Die Grenze zwischen dem peripheren und dem zentralen Gleichgewichtssystem liegt in Höhe der Gleichgewichtskerne.

Synopsis 4: Topographie des N. facialis, des Labyrinthes und des Meatus acusticus internus
(linkes Felsenbein horizontal eröffnet; Blick von oben)



Allerdings unterscheiden sich Erkrankungen des peripheren Gleichgewichtsorgans (des Labyrinths) von Erkrankungen des (ebenfalls peripheren) Gleichgewichtsnervs zwischen Labyrinth und Eintritt in den Hirnstamm, so daß dieser Bereich des VIII. Hirnnervs in der Klinik, analog zum »retrocochleären« Bereich des Hörnervs, gelegentlich als »retrolabyrinthärer« Anteil des Gleichgewichtsnervs bezeichnet wird. Von den Erkrankungen des peripheren Gleichgewichtsorgans können dadurch die retrolabyrinthären (peripheren) Gleichgewichtserkrankungen des N. vestibularis unterschieden werden (siehe Synopsis 6).

• **Gleichgewichtsbahn.** Die Zellen der ersten Neurone der Pars vestibularis des N. vestibulocochlearis bilden das **Ganglion vestibulare** im Fundus des inneren Gehörgangs. Die peripheren Neuriten kommen von den Sinnesendigungen des Gleichgewichtsapparates, also den Maculae staticae und Cristae ampullares. Die zentralen Neuriten enden zum größten Teil an den **Gleichgewichtskernen** (Nuclei vestibulares), zum kleineren Teil als **sensorische Kleinhirnbahn** im Wurm und Flocculus des Kleinhirns.

Die Nuclei vestibulares (**Gleichgewichtskerne**) enthalten die Zellen der zweiten Neurone. Sie liegen in der **Rautengrube**. Man unterscheidet:

- Nucleus vestibularis lateralis (Deitersscher Kern),
- Nucleus vestibularis superior (Bechterewscher Kern),
- Nucleus vestibularis medialis (Schwalbescher Kern),
- Nucleus vestibularis inferior (Rollerscher Kern); kaudale Fortsetzung des Schwalbe-Kerns)

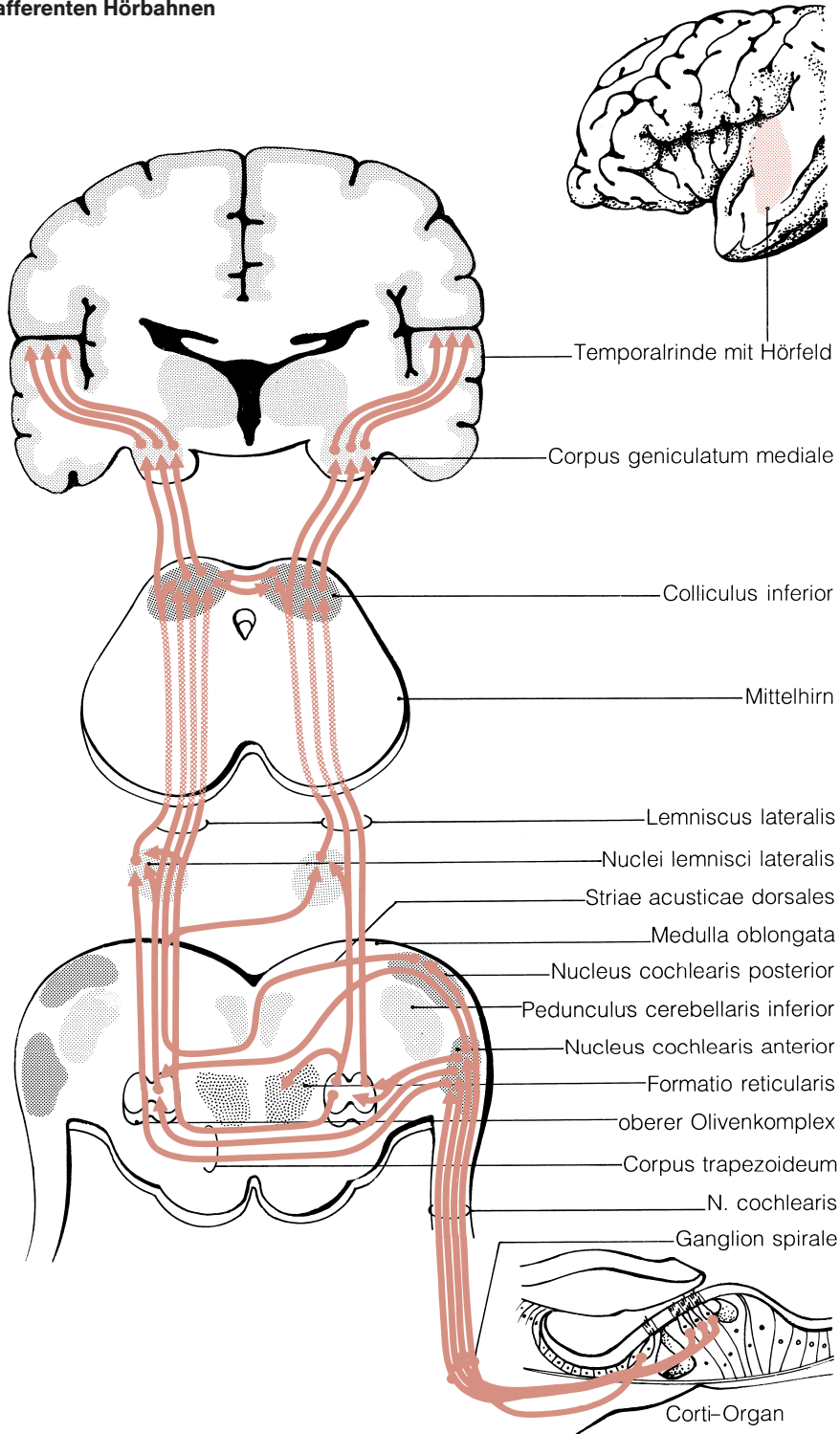
Zwischen Labyrinth und Gleichgewichtskernen liegt das »**retrolabyrinthäre**« Segment des Gleichgewichtsnervs. Von den Erkrankungen des peripheren Gleichgewichtsorgans können die retrolabyrinthären (peripheren) Gleichgewichtserkrankungen des N. vestibularis unterschieden werden (s. Syn. 6).

• **Gleichgewichtsbahn**
Im inneren Gehörgang liegt das **Ganglion vestibulare**. Von dort ziehen zentrale Neuriten zu den **Gleichgewichtskernen** und als **sensorische Kleinhirnbahn** zum Wurm und Flocculus des Kleinhirns.

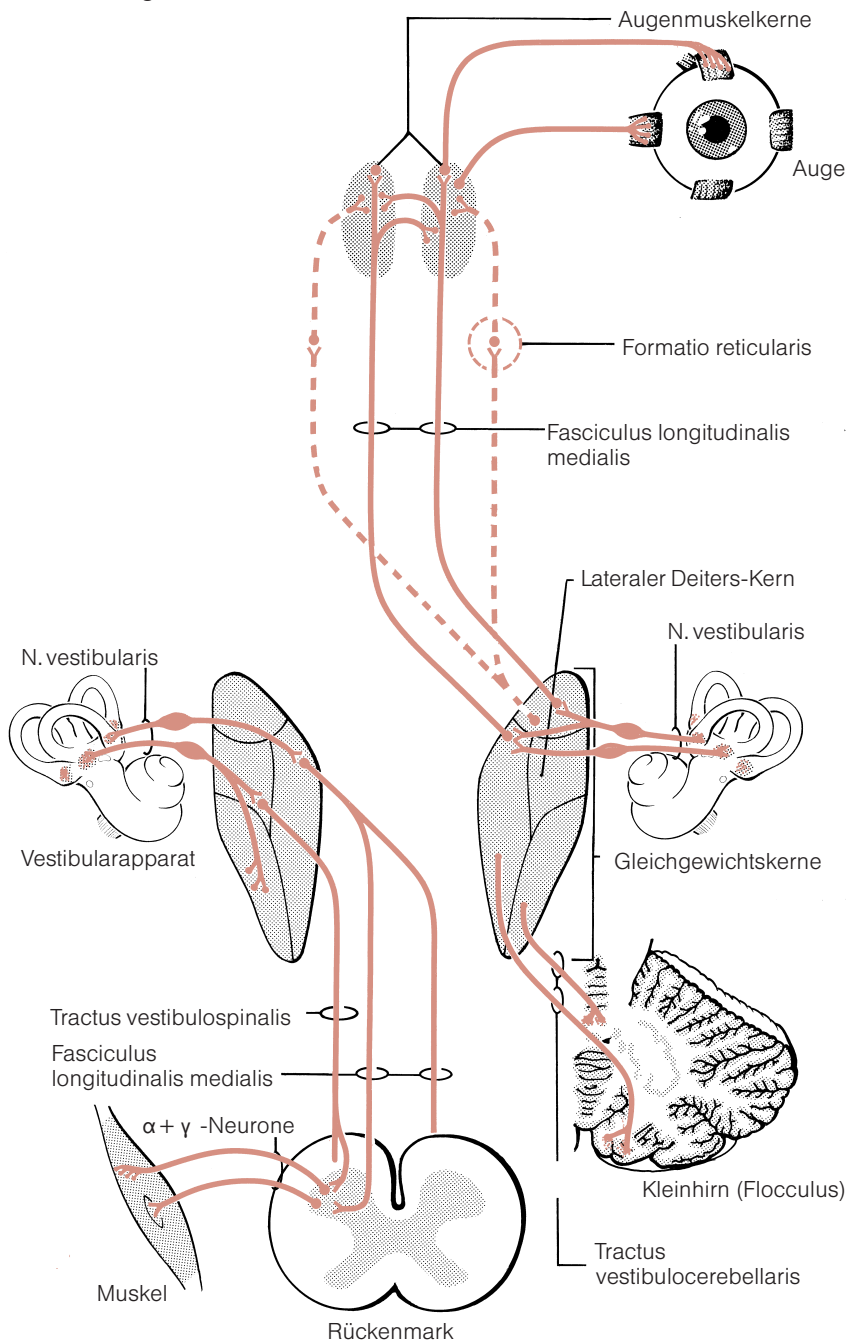
In der **Rautengrube** liegen der:

- laterale (Deiters)
- obere (Bechterew)
- mediale (Schwalbe)
- untere (Roller) **Gleichgewichtskern**.

Synopsis 5: Die afferenten Hörbahnen



Synopsis 6: Zentrale Gleichgewichtsbahnen



Die in den Kernen entspringenden zweiten Neurone (**sekundäre Vestibularisbahn**) stellen Verbindungen zum **Rückenmark** her (Tractus vestibulospinalis). Außerdem bestehen wichtige Verbindungen zum **Kleinhirn**, zur **Formatio reticularis** und zu den **Augenmuskelkernen** (Fasciculus longitudinalis medialis; Koordination der Blickmotorik).

Die optische **Fixierung** eines Objekts auch bei Kopfbewegungen wird durch ein genaues Zusammenwirken zwischen **vestibulärem Zentrum**, **Augenmuskelkernen**, **Kleinhirn** und **Halsmuskulatur** erreicht. Eine solche Koordination löst auch reflektorische Muskelbewegungen aus, die zur Erhaltung normaler Kopf-, Augen- und Rumpfstellung nötig sind.

Von den Kernen entspringen die zweiten Neurone (**sekundäre Vestibularisbahn**) mit Verbindung zum **Rückenmark** und **Kleinhirn**, zur **Formatio reticularis** und den **Augenmuskelkernen**.

Bei der **Fixierung** eines Objekts wirken **Gleichgewichtssystem**, **Augenmuskelkerne**, **Kleinhirn** und **Halsmuskulatur** zusammen.

In der **Großhirnrinde** gelangen Lage- und Stellungsänderungen ins Bewußtsein.

Das Gleichgewichtssystem steht auch mit dem **vegetativen System** in Verbindung, bei dessen Erregung es z.B. zur Seekrankheit kommen kann.

1.5 Wichtige Strukturen in topographisch-anatomischer Beziehung zum Schläfenbein

Der **N. facialis**, der das Schläfenbein über eine Gesamtstrecke von 37–45 mm durchzieht, ist bei Traumen des Felsenbeins, Ohrerkrankungen und -operationen gefährdet.

Erkrankungen im Bereich der **Tube** und der Pyramidenspitze gefährden die **A. carotis interna**.

Der **Bulbus v. jugularis** kann im Boden der Paukenhöhle freiliegen (s. Abb. 10).

Zum Kleinhirn gelangende Impulse können auch den Nucleus ruber erreichen, von wo aus die Erregungen einerseits an den motorischen Apparat, andererseits zum Thalamus und weiter zur **Großhirnrinde** geleitet werden. Dort gelangen Lage- und Stellungsänderungen ins Bewußtsein.

Darüber hinaus steht der Gleichgewichtsapparat mit dem **vegetativen System** in Verbindung, bei dessen Erregung es unter anderem zu Blutdruckveränderungen und Störungen des Magen-Darm-Traktes (Seekrankheit!) kommen kann.

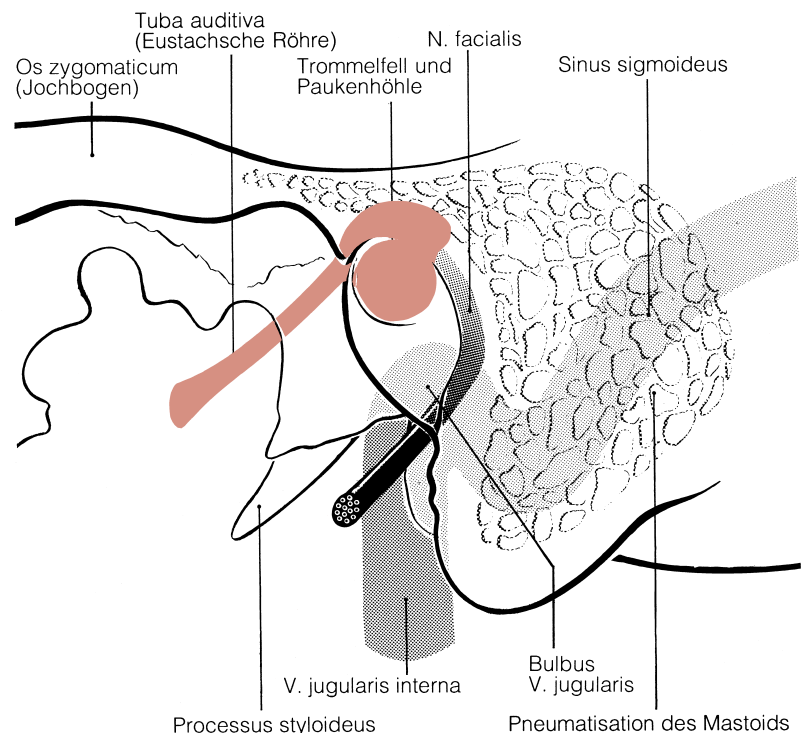
1.5 Wichtige Strukturen in topographisch-anatomischer Beziehung zum Schläfenbein

Der Gesichtsnerv (**N. facialis**, VII. Hirnnerv) durchzieht das Schläfenbein vom inneren Gehörgang bis zum Foramen stylomastoideum, über eine Gesamtstrecke von 37 bis 45 mm. Er verläuft in der Nähe des Labyrinths, in der Wand der Paukenhöhle und im Mastoid (*siehe Abbildung 10*). Bei Erkrankungen und Operationen am Mittelohr ist er besonders gefährdet, aber auch bei Eingriffen am inneren Gehörgang oder Traumen des Felsenbeins.

Die **A. carotis interna** verläuft in der Nähe der **Tube** durch die Pyramidenbasis und -spitze. An Erkrankungen des Ohres ist sie selten beteiligt, kann aber bei schweren Traumen des Schläfenbeins oder bei ausgedehnten Tumoren bzw. Resektionen in diesem Bereich eine Rolle spielen.

Der **Bulbus venae jugularis** liegt am Boden der Paukenhöhle unterhalb des Trommelfells. Ausnahmsweise kann er höher stehen und freiliegen. Er ist dann bei der Untersuchung des Trommelfelles als bläuliche Verfärbung unterhalb des Umbo erkennbar (*siehe Abbildung 10*).

Abb. 10: Topographische Anatomie von Mittelohr und angrenzenden Strukturen in Projektion auf den seitlichen Schädel



Der **Sinus sigmoideus** ist der S-förmige Anteil des lateralen, intrakraniellen, venösen Blutleiters, der über den Bulbus V. jugularis in die V. jugularis interna übergeht. Er verläuft an der Hinterwand des **Mastoids** und kann bei ausgedehnten Infektionen des Warzenfortsatzes betroffen sein (Thrombophlebitis des Sinus sigmoideus).

Die **Dura** der mittleren Schädelgrube steht in enger Beziehung sowohl zur Pneumatisation des Mastoids, als auch zur Paukenhöhle, die nur durch eine dünne Knochenschicht von ihr getrennt ist. Das Tegmen tympani wird von kleinen Venen und Arterien durchbrochen, über die eine Infektion vom Mittelohr oder Mastoid zu den Meningen und dann weiter ins Gehirn geleitet werden kann.

Der **Sinus sigmoideus** geht über den Bulbus v. jugularis in die V. jugularis interna über. Er ist vor allem bei Erkrankungen des **Mastoids** gefährdet.

Die **Dura** der mittleren Schädelgrube steht in enger Beziehung zum Mastoid und zur Paukenhöhle und kann bei Infektionen des Mittelohres, des Mastoids und bei Traumen mitbeteiligt sein.

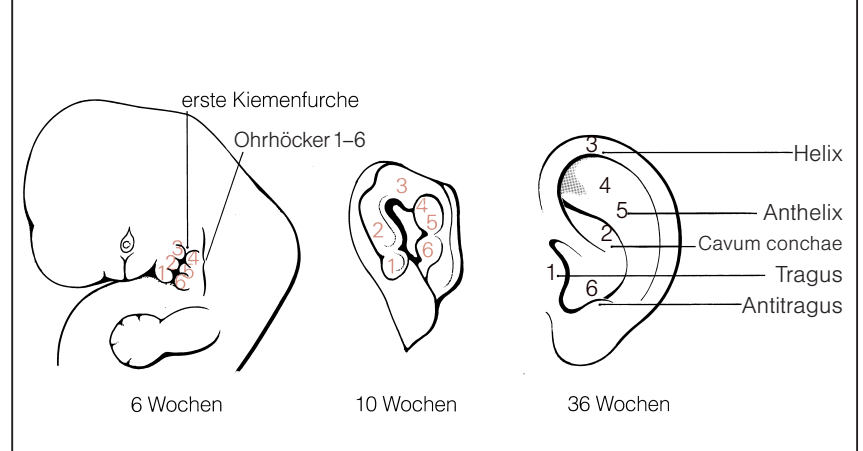
Das äußere Ohr entstammt dem Ektoderm, Tuba auditiva und Mittelohrschleimhaut dem Entoderm, Hammer und Amboß gehen aus dem Meckelschen, der Steigbügel aus dem Reichertschen Knorpel hervor (s. Abb. 11 u. Syn. 7).

2 Embryologie

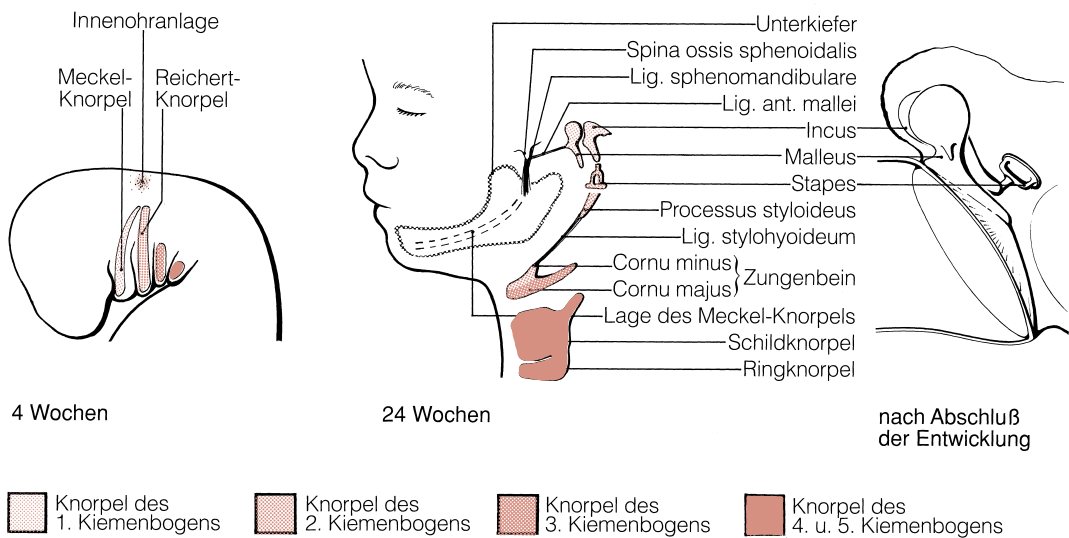
A. Berghaus

Das Gehör- und das Gleichgewichtsorgan bilden genetisch eine Einheit. Das äußere Ohr und die äußere Epithelschicht des Trommelfells gehen aus einer ektodermalen Ausstülpung zwischen erstem und zweitem Kiemenbogen hervor. Die Tuba auditiva und die Schleimhaut des Mittelohres entstammen der ersten Schlundtasche (Entoderm). Die Gehörknöchelchen Hammer und Amboß entwickeln sich aus dem Meckelschen Knorpel, der Steigbügel aus dem Reichertschen Knorpel (siehe Abbildung 11 und Synopsis 7).

Abb. 11: Embryonale Entwicklung des äußeren Ohres



Synopsis 7: Embryonale Entwicklung des Mittelohres



3 Physiologie

3.1 Gehör

G. Böhme

3.1.1 Reiztransportsystem

Das äußere Ohr, mit Ohrmuschel und äußerem Gehörgang, sowie das Mittelohr dienen als Schallreiz-Transportsystem. Gemeinsam mit Kopf und Körper erfolgt eine Schalldrucktransformation vom freien Schallfeld zum Trommelfell. Dabei ruft die Gehörgangsresonanz im Frequenzbereich 1 bis 3 kHz eine Schallpegelerhöhung um bis zu 20 dB am Trommelfell gegenüber dem am Gehörgangseingang auftreffenden Schall hervor.

Die Transformation des Schalldrucks am Trommelfell auf den im Bereich des ovalen Fensters wirksamen Druck ist vorwiegend durch das Verhältnis der wirksamen Trommelfellfläche (etwa $\frac{2}{3}$ der Gesamtfläche des Trommelfells) zur Steigbügelfläche bedingt.

Zusätzliche Bedeutung kommt noch der Hebelwirkung des Trommelfells auf den Hammergriff, der Hebelwirkung der Gehörknöchelchen, der Steifigkeit der Bänder, der Muskeln und des Luftpolsters in der Paukenhöhle, den Massen der beteiligten Strukturen, dem Reibungsverlust beim Luftstrom durch die pneumatischen Räume und der Eingangsimpedanz (akustischer Widerstand) der Cochlea zu.

Bei der Schalldrucktransformation wird von einer Druckerhöhung in der Größenordnung von 1:17 (Verhältnis der Oberfläche des Trommelfells zur Stapesfußplatte) und 1:1,3 (Untersetzung des Hammer-Amboß-Gelenks) ausgegangen, so daß die totale **Schalldruckerhöhung** an der Steigbügelplatte **1:22** beträgt.

Entscheidend für die durch den Schalldruck bewirkte Bewegung der Lympheflüssigkeit in der **Cochlea** selbst ist der Unterschied zwischen den am ovalen und runden Fenster angreifenden Kräften. Dieser Unterschied wird bei Luftschall durch die Drucktransformation des Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparates und die in Bezug zum ankommenden Schall völlig unterschiedliche Lage der beiden Fenster bewirkt.

3.1.2 Bedeutung der Mittelohrmuskeln für den Schutz des Gehörs

Lauter Schall führt zu einer Kontraktion von **M. tensor tympani** und **M. stapedius**, wodurch der Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparat versteift und die Schallübertragung in das Innenohr verringert wird. Im Gegensatz zum **M. tensor tympani**, der beim Menschen nur durch extrem lauten Schall aktiviert wird, kontrahiert sich der **M. stapedius** bereits bei Schall mittlerer Intensität.

3.1.3 Reizverteilung und Reiztransformation in der Cochlea

Merke. Das Innenohr hat die Aufgabe, akustische Signale zu analysieren, wobei eine Wanderwelle die Haarzellen erregt.

Über den Steigbügel erfolgt eine Umwandlung periodischer Schwingungen in aperiodische Schwingungen, die als Wanderwellen über die Basilarmembran laufen. Die Grundlage dieser von **Békésy** entwickelten **Wanderwellentheorie** sind die hydrodynamischen Gegebenheiten des Innenohres.

Die Wanderwelle ist eine **Transversalwelle**, die sich in der Cochlea von der Basis bis zur Spitze auf der Basilarmembran ausbreitet. Dabei nimmt die Amplitude der Basilarmembranauslenkung von der Basis zur Spitze hin zu, erreicht ein Maximum und geht dann auf Null zurück (*siehe Abbildung 12*).

3 Physiologie

3.1 Gehör

3.1.1 Reiztransportsystem

Das Schallreiz-Transportsystem besteht aus Ohrmuschel, äußerem Gehörgang und Mittelohr. Dabei ruft die Gehörgangsresonanz im Frequenzbereich 1–3 kHz eine Schallpegelerhöhung um bis zu 20 dB am Trommelfell hervor.

Entscheidend für die Transformation des Schalldrucks vom Trommelfell zum ovalen Fenster ist das Verhältnis der Trommelfellfläche zur Fläche der Steigbügelplatte.

Zusätzliche Bedeutung haben u. a. die Hebelwirkung des Trommelfells auf den Hammergriff, die Gehörknöchelchen, die Steifigkeit der Bänder, der Muskeln und des Luftpolsters in der Paukenhöhle.

Durch die Schalldruck-Transformation vom Trommelfell zur Steigbügelplatte entsteht eine **Schalldruckerhöhung** um das **22fache**.

Entscheidend für die Bewegung der Lympheflüssigkeit in der **Cochlea** ist der Unterschied zwischen den Kräften am ovalen und runden Fenster.

3.1.2 Bedeutung der Mittelohrmuskeln für den Schutz des Gehörs

Lauter Schall führt zu einer Kontraktion des **M. tensor tympani**, mittel-laute Intensitäten zu einer Kontraktion des **M. stapedius**. Dabei wird die Schallübertragung in das Innenohr verringert.

3.1.3 Reizverteilung und Reiztransformation in der Cochlea

◀ **Merke**

Über den Steigbügel erfolgt eine Umwandlung periodischer in aperiodische Schwingungen. Die **Wanderwellentheorie** von **Békésy** besagt: Eine **Transversalwelle** breitet sich von der Basis zur Spitze der Basilarmembran aus (*s. Abb. 12*).

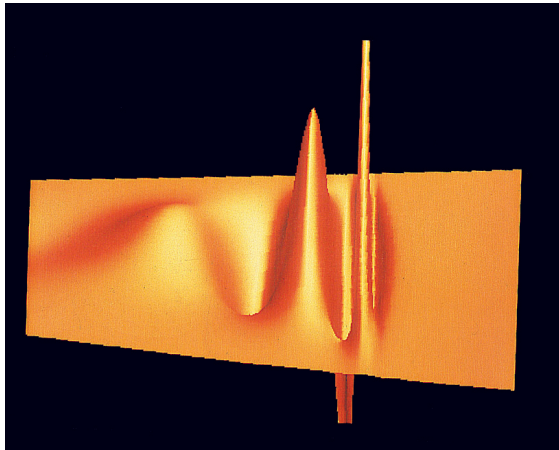


Abb. 12: Die Wanderwelle nach Békésy (Darstellung der Schwingungsform der Basilarmembran als Computergrafik nach Janssen et al.)

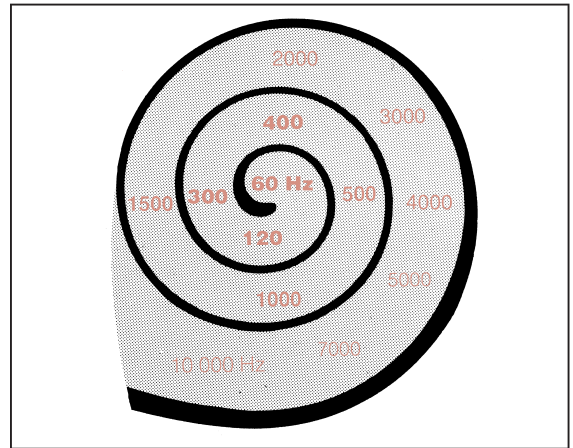


Abb. 13: Verteilung der Frequenzen in der Cochlea (»Dispersion«)

Die Bewegungsmuster der Basilarmembran sind frequenzabhängig. Man erhält für die Frequenzen des Schalls eine maximale Auslenkung der Basilarmembran an bestimmten Stellen. Diese Verschlüsselung der Schallfrequenz wird als **Tonotopie** bezeichnet (s. Abb. 13).

3.1.4 Modell der Schallverarbeitung in der Cochlea

Die Schallsignale werden über den Stapes zum Corti-Organ geleitet. Dabei wird ein mechanisches Signal, eine **Wanderwelle** (s. Abb. 12) auf der Basilarmembran ausgelöst. Dieses Signal führt an der **äußeren Haarzelle** zu einer aktiven Verstärkung. Nach dieser Vorverarbeitung wird die Spitze der Wanderwelle von **inneren Haarzellen** aufgenommen. Es kommt zu einer frequenzselektiven Reizung. Die inneren Haarzellen führen dann eine Signaltransduktion zum Hörnerv durch. Es werden afferente Neurotransmitter (L-Glutamat) freigesetzt, eine Beeinflussung erfolgt durch efferente Steuerung mit Hilfe von Acetylcholin und möglicherweise GABA.

Die **aktiven Bewegungen der äußeren Haarzellen** führen aufgrund von chemischen, akustischen und elektrischen Reizen zu langsamen und schnellen Längenänderungen (s. Abb. 14).

Das Bewegungsmuster der Basilarmembran ist aufgrund ihrer von der Basis zur Spitze hin abnehmenden Elastizität und der Kanaltiefe frequenzabhängig. Man erhält somit für die einzelnen Frequenzen des ankommenden Schalls eine maximale Auslenkung der Basilarmembran an bestimmten Stellen. Diese Verschlüsselung von Schallfrequenz an einem bestimmten Ort der Basilarmembran wird als **Tonotopie** bezeichnet (siehe Abbildung 13).

3.1.4 Modell der Schallverarbeitung in der Cochlea (in Anlehnung an Zenner)

Das Innenohr empfängt Schallsignale als Vibration der Fußplatte des Stapes. Dieses löst in der cochleären Trennwand, welche das Corti-Organ mit den Haarzellen enthält, erneut ein mechanisches Signal, eine **Wanderwelle** (siehe Abbildung 12) auf der Basilarmembran aus. Dieses mechanische Signal führt wahrscheinlich an der **äußeren Haarzelle** zu einer aktiven Verstärkung und Verschärfung der Wanderwelle am frequenzspezifischen Ort der Cochlea. Die Verschärfung führt dazu, daß das Amplitudenmaximum der Wanderwelle extrem spitz wird und erklärt das Frequenzunterscheidungsvermögen der Cochlea und ist die Grundlage für die Sprachdiskrimination.

Nach dieser Vorverarbeitung wird die Spitze der Wanderwelle von wenigen **inneren Haarzellen** aufgenommen, so daß eine frequenzselektive Reizung möglich wird. Erst die inneren Haarzellen führen dann die mechanoelektrische und mechanochemische Transduktion durch und setzen Transmitter für den Hörnerv frei.

Die Signalverarbeitung durch die freien äußeren Haarzellen führt somit zu einem Signaltransfer von den äußeren zu den inneren Haarzellen. Anschließend erfolgt eine Signaltransduktion und ein afferenter Signaltransfer durch die inneren Haarzellen. Dabei werden afferente Neurotransmitter (L-Glutamat) freigesetzt. Diese Affärenzen werden durch eine efferente Steuerung mit Hilfe von Acetylcholin und möglicherweise GABA (Gammaaminobuttersäure) beeinflusst.

Die **aktiven Bewegungen der äußeren Haarzellen** führen zu einer Längenänderung (siehe Abbildung 14).

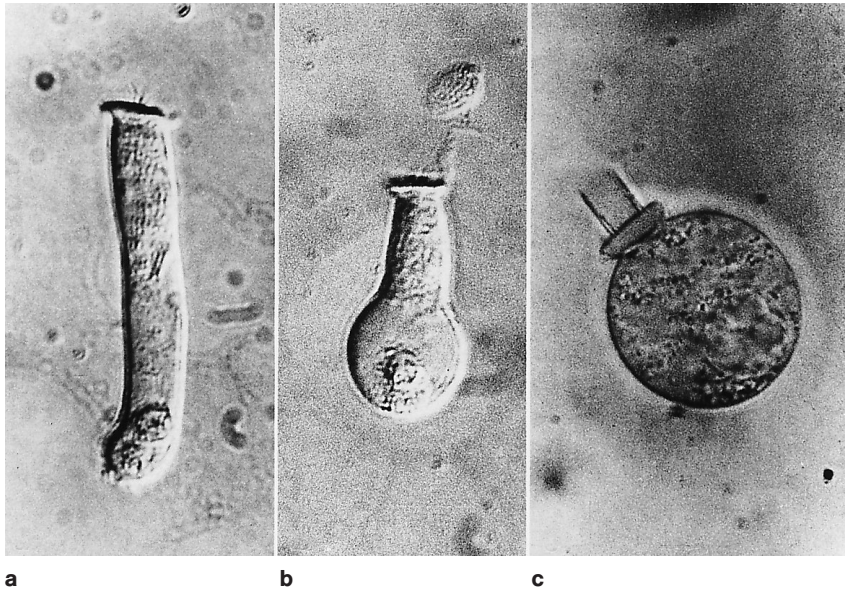


Abb. 14: Isolierte äußere Haarzelle eines Meerschweinchens in vitro. Verlust der typischen zylindrischen Form einer äußeren Haarzelle (OHC) sowie deren Verkürzung und Übergang in eine Kugelzelle (a–c) nach Aufbrauchen energiereicher Phosphate der OHC (Zenner)

Dabei unterscheidet man eine langsame von einer schnellen Bewegung der äußeren Haarzellen. Die Längenänderung verstärkt streng lokalisiert die Schwingungsamplitude auf der Basilarmembran. Die aktiven Bewegungen der äußeren Haarzellen beruhen auf chemischen, akustischen und elektrischen Reizen.

Merke. Es kann angenommen werden, daß äußere und innere Haarzellen unterschiedliche Aufgaben besitzen.

Für tiefe Frequenzen ist das Maximum der Basilarmembran-Auslenkung an der Spitze, für hohe an der Basis der Cochlea angesiedelt.

Die Bewegung der Basilarmembran führt zur **Abknickung der Haarzellen** des Corti-Organ. Dies ist der adäquate Reiz für die Sinneszellen (auditiver Reiz).

3.1.5 Hörnerv (N. cochlearis)

Merke. Der Hörnerv stellt die Eintrittspforte aller akustischen Informationen in das zentrale Nervensystem dar.

Die verschiedenen Parameter des Schallreizes wie Frequenz, Intensität, Phase und Adaptation müssen im Hörnerv für die Nachrichtenverarbeitung im Zentralnervensystem kodiert werden.

3.1.6 Zentrale akustische Bahnen, Hörrinde

Die Hörbahn einschließlich der Hörrinde repräsentiert ein leistungsfähiges Verarbeitungs-, Kodierungs- und Dekodierungssystem. So konnten ab dem Niveau der oberen Olive Neurone nachgewiesen werden, die empfindlich auf Zeit- bzw. Intensitätsunterschiede der auftretenden akustischen Reize antworten.

◀ Merke

Tiefe Frequenzen sind an der Spitze, hohe an der Basis der Cochlea repräsentiert. Die Bewegung der Basilarmembran führt durch **Abknickung der Haarzellen** zum adäquaten Reiz für die Sinneszellen.

3.1.5 Hörnerv (N. cochlearis)

◀ Merke

Frequenz, Intensität, Phase und Adaptation des Schallreizes werden für die Nachrichtenverarbeitung im ZNS kodiert.

3.1.6 Zentrale akustische Bahnen, Hörrinde

Die zentrale Hörbahn einschließlich Hörrinde stellt ein präzise arbeitendes Verarbeitungs-, Kodierungs- und Dekodierungssystem dar.

3.2 Gleichgewicht

Durch **Kopfdrehungen (Rotationsbeschleunigung)** wird die Cupula ausgelenkt und das Gleichgewichtsorgan gereizt.

Die **utrikulopetale** oder **utrikulofugale Cupulaauslenkung** führt zu einer **De- bzw. Hyperpolarisierung** in den Sinneszellen mit Erhöhung bzw. Herabsetzung des Ruhepotentials der Gleichgewichtsnerven. Diese seitengetrennte **Frequenzmodulation** führt im Gleichgewichtskerngebiet zur Information über Drehrichtung und -stärke und zur Steuerung des **vestibulookulären Reflexes (VOR)** sowie **vestibulospinaler Reflexe**.

Auch eine **pathologische Seitendifferenz** bei Erregung der peripheren Gleichgewichtsorgane führt zum **Nystagmus** (s. u.). Die **Otolithenorgane** Utriculus und Sacculus werden durch **Linearbeschleunigungen** gereizt, was zur Auslösung von **makulookulären** und **makulospinalen** Reflexen führt.

3.2.1 Was ist ein Nystagmus?

Der vestibuläre Nystagmus ist eine konjugierte **Augenbewegung** mit **schneller** und **langsamer Komponente**. Er wird durch den vestibulookulären Reflex ausgelöst. Die schnelle Komponente bestimmt die **Richtung** des Nystagmus. So kommt es zu einem **Links- oder Rechtsnystagmus**, bzw. zu einem **vertikalen** oder **rotatorischen** Nystagmus.

Merke ►

Außer dem vestibulären gibt es weitere Nystagmusformen.

3.2.2 Physiologische Nystagmusformen

- **Optokinetischer Nystagmus.** Kompensatorische Bewegung des Auges zur Erzielung einer **Bildkonstanz** bei bewegter Umwelt. Sie ist kombiniert mit schnellen **Rückstellbewegungen** des Bulbus und **unwillkürlich** von **retinalen** Signalen ausgelöst. Davon wird die **willkürliche foveoläre Blickfolgebewegung** unterschieden.

3.2 Gleichgewicht

A. Berghaus

Bei einer **Drehbewegung** des Kopfes in der Ebene eines Bogengangs bleibt die Endolympe, dem Trägheitsgesetz folgend, zunächst stehen und hält die in ihr schwebende Cupula in ihrer Position, während die mit dem Knochen verbundene Basis der Crista weiterbewegt wird. Dies führt durch Abwinkelung der Cupula zur Reizung der Haarzellen, für die daher die **Rotationsbeschleunigung** den adäquaten Reiz darstellt.

Auf einer Kopfseite wird die Cupula dabei nach medial (in Richtung auf den Utriculus, **utrikulopetal**), auf der anderen Seite nach lateral (**utrikulofugal**) abgelenkt. Zwischen den Sinneszellen des vestibulären Systems und der extrazellulären Gewebsflüssigkeit besteht schon in Ruhe eine Potentialdifferenz (Ruheaktivität). Abbiegung der Sinneshaare führt zu einer Zunahme der Entladungsfrequenz von Aktionspotentialen (**Depolarisation**) oder zu einer Hemmung der Ruheaktivität (**Hyperpolarisation**). Bei utrikulopetaler Auslenkung kommt es zu einer Depolarisation mit Erhöhung des Ruhepotentials, auf der Gegenseite zur Hyperpolarisation mit Erniedrigung des Ruhepotentials. So erhält das Gleichgewichtskerngebiet durch **Frequenzmodulation** der Nervenaktionspotentiale Informationen über die Richtung einer Drehbeschleunigung.

Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Seitendifferenz dieser Information, die auch über den **vestibulookulären Reflex (VOR)** die Richtung einer reaktiven Augenbewegung (des Nystagmus) bestimmt und **vestibulospinale Reflexe** steuert.

Tritt eine **pathologische** Seitendifferenz im Gleichgewichtssystem auf (z.B. bei Ausfall oder Reizzustand eines Labyrinthes), so kommt es auch **ohne Drehbewegung** des Kopfes zum vestibulären **Nystagmus** (s. u.) bzw. **Drehgefühl**.

Für die Sinneszellen der **Otolithenorgane** (Macula utriculi und Macula sacculi) ist die **lineare Beschleunigung** der adäquate Reiz. Die Abbiegung der Sinneshaare der Otolithenorgane durch Linearbeschleunigung führt zur Auslösung von **makulookulären** und **makulospinalen** Reflexen. So kann die Augen- bzw. Körperstellung durch kompensatorische Bewegungen optimiert werden.

3.2.1 Was ist ein Nystagmus?

Der vestibuläre Nystagmus ist eine konjugierte Bewegung beider Augen mit **langsamer** und **schneller Komponente**. Diese **Augenbewegung** dient der Blickstabilisierung bei Kopfbewegungen. Sie ist das Ergebnis des vestibulookulären Reflexes (VOR), der bei allen Lebewesen mit beweglichen Augen vorkommt.

Auch durch experimentelle Reizung des Gleichgewichtsorgans oder durch Erkrankungen am Gleichgewichtssystem entsteht ein vestibulärer Nystagmus. Die **Richtung** des Nystagmus wird durch die schnelle Komponente der Augenbewegung festgelegt. So kommt es zu einem **Links- oder Rechtsnystagmus**, bzw. zu einem **vertikalen** oder **rotatorischen** Nystagmus.

Merke. Durch willkürliches Fixieren eines Punktes ist der vestibuläre Nystagmus unterdrückbar.

Außer dem vestibulären gibt es auch beim Gesunden weitere Nystagmusformen.

3.2.2 Physiologische Nystagmusformen

- **Optokinetischer Nystagmus** (»Eisenbahnnystagmus«). Dies ist eine kompensatorische, optokinetische Bewegung des Auges zur Erzielung einer **Bildkonstanz** bei (scheinbar) bewegter Umwelt (Zugfahren). Diese Bewegung ist kombiniert mit schnellen, reflektorischen **Rückstellbewegungen** des Bulbus. Sie wird **unwillkürlich** von Signalen der Netzhautperipherie ausgelöst (**retinal**).

Davon zu unterscheiden ist der sogenannte **foveoläre** optokinetische »Nystagmus«, bei dem es sich um eine **willkürliche Folgebewegung** der Augen zum Betrachten sich bewegender Objekte in ruhender Umgebung handelt (z.B. Schlittschuhläufer auf der Eisbahn, etc.).

3.2.3 Nystagmus bei Erkrankungen im optischen System

- **Endstellnystagmus.** Dies ist ein physiologischer Nystagmus, der – auch beim Gesunden – bei extremem **Blick zur Seite** jeweils in Blickrichtung schlägt.

Merke. Der physiologische Endstellnystagmus darf nicht mit einem pathologischen Nystagmus verwechselt werden !

- **Physiologischer Spontan-nystagmus.** Ein Nystagmus, der nicht unter der Frenzel-Brille, aber auch ohne experimentelle Gleichgewichtsreizung elektronystagmographisch nachweisbar ist, muß nicht pathologisch sein, sofern keine klinische Symptomatik bzw. keine Seitendifferenz bei Reizung der Labyrinth besteht (bzgl. der Untersuchungsmethoden *siehe unten*).

3.2.3 Nystagmus bei Erkrankungen im optischen System

Kongenitaler Fixationsnystagmus

Er wird auch »okulärer Nystagmus« genannt und entsteht bei angeborenen Störungen des zentralen, optischen Systems. Bei Geradeausblick haben die Patienten eine sinus- oder pendelförmige Augenbewegung (»**Pendelnystagmus**«), aber keinen Schwindel. Bei Seitwärtsblick entsteht eine schnelle Nystagmuskomponente in Blickrichtung.

Merke. Durch Fixation eines Punktes wird der angeborene Pendelnystagmus verstärkt, was ihn deutlich vom vestibulären Nystagmus unterscheidet, der bei Fixation unterdrückt wird.

Weitere Nystagmustypen bei Erkrankungen im optischen System sind:

- der »**Blinden**«-Nystagmus, der bei starken Sehstörungen vorkommt,
- der »**Schiel**«-Nystagmus bei angeborenem Strabismus, der nur an einem Auge sichtbar wird, wenn das andere abgedeckt wird,
- der »**Bergarbeiter**«-Nystagmus, der früher wegen der schlechten Beleuchtung unter Tage nach ca. 25 Arbeitsjahren im Bergbau häufiger auftrat,
- der »**blickparetische**« Nystagmus. Er kommt bei Einschränkung einer bestimmten Blickrichtung durch Schäden an Bereichen des optischen Systems vor, die für konjugierte Augenbewegungen zuständig sind.
- der »**dissoziierte Blickrichtungsnystagmus**«. Er ist ein Zeichen für **multiple Sklerose**. Beim Blick zur Seite tritt ein Nystagmus nur des abduzierten Auges auf. Die Schädigung liegt dann kontralateral vom abduzierten Auge. Ein solcher Nystagmus kommt aber bei multipler Sklerose (Encephalitis disseminata) auch beidseitig vor.

Außerdem gibt es **seltene, pathologische Augenbewegungen**, die nicht mit einem vestibulären Nystagmus zu verwechseln sind:

- **Schaukel-** oder **Seesaw-Nystagmus** (ein Auge sinkt ab, das andere wendet sich nach oben, bei gleichzeitig rotatorischer Komponente). Er kommt u.a. bei Läsionen im Bereich des III. Ventrikels vor.
- periodisch alternierende **Blickdeviationen** bei Läsionen im Bereich der Mittelhirnhaut vor.
- Langsame, pendelförmige Augenbewegungen, zu beobachten bei der Ein- und Ausleitung von Narkosen.
- hüpfende Augenbewegungen. Sie sind nachweisbar bei ausgeprägtem Koma oder präterminal.

Die **pathologischen, vestibulären** Nystagmusformen sind auf *Seite 85ff.* beschrieben.

- **Endstellnystagmus**
Bei extremem **Blick zur Seite** tritt ein Nystagmus in Blickrichtung auf.

◀ **Merke**

- **Physiologischer Spontan-nystagmus**
Ein spontaner Nystagmus bei der Elektronystagmographie muß nicht pathologisch sein (Untersuchungsmethoden s. u.).

3.2.3 Nystagmus bei Erkrankungen im optischen System

Kongenitaler Fixationsnystagmus

Der angeborene **Pendelnystagmus** beruht auf einer Störung im optischen System. Die Patienten haben keinen Schwindel.

◀ **Merke**

Bei Erkrankungen **im optischen System** kommen ferner vor: der **Blinden-** und der **Schiel-Nystagmus**, der **Bergarbeiter-Nystagmus**, der **blickparetische** Nystagmus. Sie spielen in der HNO-Heilkunde eine untergeordnete Rolle.

Der **dissoziierte Blickrichtungsnystagmus** ist ein Zeichen für Encephalitis disseminata (**multiple Sklerose**).

Seltene, pathologische Augenbewegungen, die nicht mit einem vestibulären Nystagmus zu verwechseln sind, sind z.B. der **Schaukel-Nystagmus** und periodisch alternierende **Blickdeviationen**.

Zu **pathologischen** Nystagmusformen s. S. 85ff.

3.2.4 Vestibulospinale Reflexe

Analog zum vestibulookulären Reflex dienen die vestibulospinalen Reflexe der Stellungskorrektur des Körpers und der Extremitäten bei vestibulären Reizen. Im allgemeinen verursacht ein **Tonusüberwiegen** eine **kontralaterale Abweichreaktion**.

3.2.4 Vestibulospinale Reflexe

Der Stellungskorrektur des Körpers oder seiner Glieder dienen bei Gleichgewichtsreizen analog zum vestibulookulären Reflex vestibulospinale Reflexe. Diese Reflexbögen sind mit vielen Regulationssystemen verknüpft. Im allgemeinen verursacht ein **Tonusüberwiegen** auf einer Seite eine **kontralaterale Abweichreaktion**. Das Tonusüberwiegen kann z.B. durch Ausfall der Gegenseite oder pathologischen Reizzustand der betroffenen Seite zustande kommen.

4 Untersuchungsmethoden

4.1 Anamnese

A. Berghaus

Bei Erkrankungen des Ohres muß die Anamneseerhebung folgende Symptome besonders berücksichtigen:

- **Hörverlust** (Hypakusis)
- **Ohrenschmerzen** (Otalgie)
- **Ohrlaufen** (Otorrhö)
- **Ohrgeräusche** (Tinnitus)
- **Schwindel** (Vertigo).

- **Hörverlust**

Man unterscheidet eine **Schalleitungsstörung**, eine sensorineurale oder **Schallempfindungsstörung** und eine **kombinierte** Schwerhörigkeit (die Kombination aus Schalleitungs- und Schallempfindungsschwerhörigkeit) (siehe auch Tabelle 1). Im Gegensatz zur Otalgie ist der Hörverlust immer ein Hinweis auf eine Erkrankung des Gehörs (vom äußeren Ohr bis zur Großhirnrinde), wenn man von der **Simulation** (Vortäuschung einer Hörstörung), **Aggravation** (Patient gibt bereits vorhandenen Hörschaden bewußt größer an, als er tatsächlich ist) und der **psychogenen Hörstörung** (**nichtorganischer Hörschaden**) absieht.

4 Untersuchungsmethoden

4.1 Anamnese

Folgende Symptome sind besonders zu berücksichtigen:

- **Hörverlust**
- **Ohrenschmerzen**
- **Ohrlaufen**
- **Ohrgeräusche**
- **Schwindel**

- **Hörverlust**

Hörstörungen kommen als **Schalleitungs-, Schallempfindungs- und kombinierte** Schwerhörigkeiten vor. Außerdem kann eine Hörstörung **simuliert** oder **psychogen** bedingt sein (vgl. Tab. 1).

Lokalisation	peripher			zentral	
Art der Hörstörung	Schalleitungsschwerhörigkeit	Schallempfindungsschwerhörigkeit (sensorineurale Schwerhörigkeit)			
Topographischer Sitz	Schalleitungsapparat (Gehörgang, Mittelohr)	Cochlea (Haarzellen)	Hörnerv (neural)	Hirnstamm	Hirnrinde
		cochleär	retrocochleär		
Kombinierte Störungen	kombinierte Schwerhörigkeit				
Schädigungsmechanismus	mechanisch	elektrophysiologisch, mechanisch			
Prognose	oft gut (operativ korrigierbar)	häufig schlecht (irreversible Schädigung)			

Die **Schalleitungsschwerhörigkeit** ist Ausdruck einer Störung des **Schalltransports** zum Hörorgan. Die Schädigung kann irgendwo zwischen Ohrmuschel und Steigbügel Fußplatte liegen.

Merke. Eine Schalleitungsschwerhörigkeit ist häufig nur ein vorübergehendes Symptom und kann sehr oft korrigiert werden.

Die **Schallempfindungsstörung** (sensorineurale Schwerhörigkeit) ergibt sich einerseits aus einer Störung der Umsetzung von Schallenergie in elektrische Impulse im Innenohr, andererseits aber auch aus einer Störung der nervalen Fortleitung dieser Impulse zur Hörrinde. Eine derartige Hörstörung ist meist nicht mehr korrigierbar.

Die **Ursachen** solcher Hörstörungen können vielfältig sein. Hierzu gehören **Lärm**, virale und bakterielle **Entzündungen**, aber zum Beispiel auch **Tumoren** und der **Alterungsprozeß**.

Bei der **Schalleitungsschwerhörigkeit** ist der **Schalltransport** bis zum ovalen Fenster behindert.

◀ Merke

Eine **Schallempfindungsstörung** (sensorineurale Schwerhörigkeit) beruht auf einer Schädigung von **Innenohr** oder **Hörnervenbahn**. Sie ist meist nicht mehr korrigierbar.

Die **Ursachen** können u.a. sein: **Lärm**, **Entzündungen**, aber auch **Tumoren** und der **Alterungsprozeß**.

Bei der **kombinierten** Schwerhörigkeit kommt es darauf an, das Ausmaß der Schalleitungskomponente genau zu bestimmen.

• Ohrenscherzen (Otalgie)

Ohrenscherzen können außer vom Ohr selbst von der periaurikulären Region oder entfernteren Bezirken ausgehen.

Im Ohr führen **Entzündungen** und **Tumoren** zu Schmerzen (s. Tab. 2).

• Ohrlaufen (Otorrhö)

Ohrlaufen kann viele Ursachen haben.

Zerumen ist die häufigste Ursache. Eine **blutige Otorrhö** kommt bei Traumen, Entzündungen oder Tumoren vor. Sehr selten wird eine Blutung aus dem Ohr lebensbedrohlich.

Seröse Otorrhö tritt nach dem Platzen einer Blase bei bullöser Trommelfellentzündung, nach Trommelfellperforation bei seröser Otitis media oder bei Entzündungen des äußeren Gehörgangs auf.

Eiter zeigt eine bakterielle Entzündung im äußeren oder Mittelohr an.

Liquor fließt als klare Flüssigkeit aus dem Ohr. Meist liegt eine traumatische Ursache vor. Voraussetzung für eine Otoliquorrhö ist eine

Eine **kombinierte** Hörstörung ist das Ergebnis einer Addition von Schalleitungs- und Schallempfindungsstörung. Hier ist es besonders wichtig zu ermitteln, ob der Hörverlust vorwiegend schalleitungsbedingt, und damit eventuell korrigierbar, oder sensorineural ist.

• Ohrenscherzen (Otalgie)

Ohrenscherzen können durch eine Erkrankung des Ohres hervorgerufen werden, aber auch aus der periaurikulären Region oder noch weiter entfernten Bezirken fortgeleitet sein.

Ohrerkrankungen, die Schmerzen verursachen, sind meist akut **entzündlicher** oder **tumoröser** Natur (v. a. Malignome).

Mögliche Ursachen von Ohrenscherzen, die nicht unmittelbar im Ohr oder in der periaurikulären Region entstehen, zeigt die *Tabelle 2*.

Tabelle 2: Ursachen nichtotogener Ohrenscherzen

1. Erkrankungen der Mundhöhle <ul style="list-style-type: none"> • Infektion; Dentitio difficilis • Glossitis und Stomatitis (insbesondere Herpes) • Neoplasien 	4. Erkrankungen des Larynx <ul style="list-style-type: none"> • Laryngitis • Epiglottitis • Arthritis des Cricocarytaenoid-Gelenkes • Schleimhautläsion • Tumor
2. Erkrankungen des Pharynx <ul style="list-style-type: none"> • Pharyngitis • Tonsillitis • Retropharyngealer oder peritonsillärer Abszeß • Zustand nach Tonsillektomie oder nach Adenotomie • Bösartige Prozesse, insbesondere im Sinus piriformis 	5. Neuralgien <ul style="list-style-type: none"> • Trigeminusneuralgie • Glossopharyngeus-Neuralgie • Neuralgie des Ganglion geniculi (Ramsay-Hunt-Syndrom bei Zoster oticus) • Neuralgie des Ganglion pterygopalatinum (Sluder-Neuralgie) • Neuralgie des N. vagus • Neuralgie des N. auriculo-temporalis
3. Erkrankungen des Ösophagus <ul style="list-style-type: none"> • Ösophagitis • Fremdkörper • Tumor 	6. Andere Ursachen von Otalgien <ul style="list-style-type: none"> • Erkrankungen des Kiefergelenks • Migräne • Vasomotorische Zephalgie

• Ohrlaufen (Otorrhö)

Ohrlaufen ist ein häufiges Leiden. Ursache kann eine Belanglosigkeit oder eine schwere Erkrankung sein.

Zerumen (Ohrenschmalz) ist die häufigste Ursache. Die Farbe variiert von hellgelb bis dunkelbraun. Die Konsistenz kann flüssig bis sehr fest sein.

Blut. Die häufigste Ursache für eine **blutige Otorrhö** ist ein Trauma (Schlag, Manipulation im Gehörgang). Aber auch akute Trommelfellperforationen, eine Otitis externa und Tumoren können Ohrbluten hervorrufen. Sehr selten wird eine Blutung aus dem Ohr als solche lebensbedrohlich (z.B. als Blutung aus der A. carotis interna oder dem Bulbus v. jugularis).

Seröse Flüssigkeit tritt gelegentlich als Ohrfluß nach dem Platzen einer Blase bei bullöser Trommelfellentzündung (Myringitis) oder nach Trommelfellperforation bei seröser Otitis media auf und kann dann auch blutig tingiert sein. Häufiger zeigt seröser Ohrfluß aber eine Dermatitis des äußeren Gehörgangs an.

Eine **eitrige** Otorrhö kommt z. B. bei akuter Mittelohrentzündung vor (Otitis media acuta). Der Ohrfluß ist dann gewöhnlich etwas zäh, gelb oder weiß. Bei der chronischen Otitis media ist die Farbe meist gelbgrau oder grünlich, der Ohrfluß ist dann dünnflüssiger und kann sehr übelriechend sein. Eitrige Otorrhö bei Otitis externa ist meist eher käsig.

Liquor ist eine klare Flüssigkeit, die auch als relativ starke Otorrhö auftreten kann. Voraussetzung für eine Otoliquorrhö ist eine **Läsion der Dura** und des Trommelfells. Zur Sicherung der Diagnose sollte eine Probe entnommen und analysiert werden (Zucker- und Proteingehalt, Zellzahl, Enzyme). Bei der Ana-

4.2.1 Äußeres Ohr

mneseeerhebung muß nach einem Trauma, einer vorangegangenen Operation, einem bekannten Tumorleiden oder einer abgelaufenen Meningitis gefragt werden.

• Ohrgeräusche (Tinnitus)

Man versteht unter **Tinnitus** das Auftreten von Schallempfindungen, wobei die Schallquelle in einem Ohr, in beiden oder im Kopf lokalisiert scheint. Mitunter beschreiben Patienten auch akustische Empfindungen als Ohrgeräusche, die sie durch Öffnen der Tuba auditiva oder Bewegungen der Kiefergelenke selbst erzeugen können. Ein Tinnitus kann permanent oder temporär in Erscheinung treten. Sehr lauter, dauernder Tinnitus kann Suizidabsichten begründen.

Ursachen von Tinnitus können zahlreiche otologische, internistische und neuropsychiatrische Erkrankungen sein. Er ist oft mit einer Schallempfindungsstörung verbunden, kommt aber auch bei Schalleitungsstörungen im äußeren oder Mittelohr vor.

Beim cochleären Tinnitus dürfte es sich um eine gestörte Interaktion zwischen äußeren und inneren Haarzellen handeln. Die nichtcochleären Ursachen können in allen Bereichen des retrocochleären und zentralen Hörbahnsystems lokalisiert sein (vgl. Seite 183ff.).

Merke. Daneben sollte immer zuerst an einen gehörgangsbedingten (Zerumen!) oder mittelohrbedingten Tinnitus (Tubenkatarrh, Otitis media) gedacht werden.

• Schwindel (Vertigo)

Vertigo ist das Gefühl der **Bewegung des Patienten oder seiner Umgebung**. Schwindel kann das einzige Symptom einer Ohrerkrankung sein, kann aber auch in Kombination mit anderen Symptomen wie Hörverlust, Otalgie oder Otorrhö auftreten. Starker, akuter Schwindel mit Nystagmus und Erbrechen zeigt fast immer eine Erkrankung des peripher-vestibulären Apparates an. Er erfordert sorgfältige weiterführende Diagnostik.

4.2 Inspektion und Palpation

A. Berghaus

4.2.1 Äußeres Ohr

Die obere Begrenzung der Ohrmuschel liegt oberhalb einer Linie vom Okziput zum lateralen Augenwinkel. Wenn die Ohren tiefer sitzen, kann das ein Hinweis auf angeborene **Fehlbildungen** sein. Der Winkel zwischen der Ohrmuschel und dem seitlichen Schädel variiert stark um einen Wert von etwa 30°.

Das Mastoid und der Sulcus hinter der Ohrmuschel werden auf Auffälligkeiten untersucht. Eine Narbe hinter dem Ohr kann ein wichtiger Hinweis auf eine frühere Ohroperation (in der Kindheit) sein, an die sich der Patient möglicherweise schon nicht mehr erinnert.

Die Mitbeurteilung des N. facialis ist ebenfalls von Bedeutung. In seinem gewundenen Verlauf durch das Schläfenbein kann der VII. Hirnnerv leicht bei Ohrerkrankungen mitbetroffen sein. Bei entsprechendem Verdacht sollten alle motorischen Nervenäste der mimischen Gesichtsmuskulatur auf ihre Funktion überprüft werden.

Läsion der Dura und des Trommelfells.

• Ohrgeräusche (Tinnitus)

Tinnitus ist ein Ohrgeräusch, das im Ohr oder im Kopf zu entstehen scheint. Ein Tinnitus kann permanent oder temporär in Erscheinung treten. Andauernder Tinnitus kann Suizidabsichten begründen.

Ursachen von Tinnitus können otologische, internistische und neuropsychiatrische Erkrankungen sein. Er kommt bei Schallempfindungs- und Schalleitungsstörungen vor. Die nichtcochleären Ursachen können in allen Bereichen des retrocochleären und zentralen Hörbahnsystems lokalisiert sein (vgl. S. 183ff.).

◀ Merke

• Schwindel (Vertigo)

Vertigo ist das Gefühl der **Bewegung des Patienten oder seiner Umgebung**. Starker, akuter Schwindel mit Nystagmus und Erbrechen zeigt fast immer eine peripher-vestibuläre Erkrankung an.

4.2 Inspektion und Palpation

4.2.1 Äußeres Ohr

Untypisch tiefsitzende Ohren können mit **Mittelohrfehlbildungen** verbunden sein.

Der Kopf-Ohr-Winkel beträgt ca. 30°. Narben auf dem Mastoid weisen auf frühere Ohroperationen hin.

Bei Verdacht auf eine Läsion des N. facialis prüft man die Funktion der mimischen Gesichtsmuskulatur.

4.2.2 Trommelfell, Mittelohr

• **Otoskopie, Ohrmikroskopie**

Der äußere Gehörgang und das Trommelfell sind sehr empfindlich (s. Syn. 8).

Merke ►

4.2.2 Trommelfell, Mittelohr

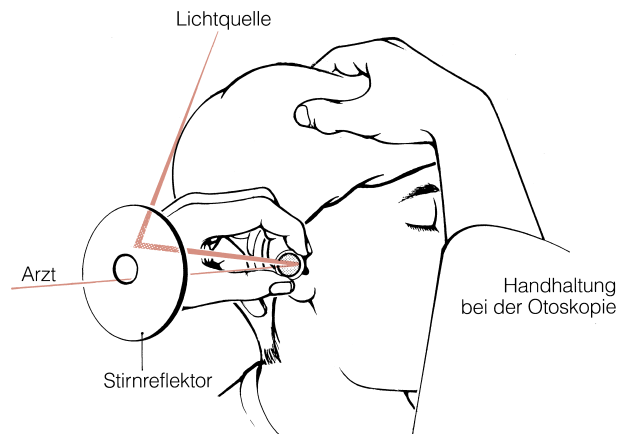
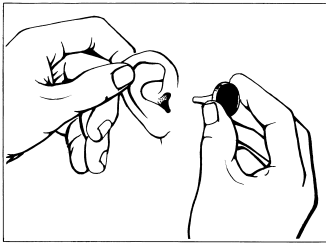
• **Otoskopie, Ohrmikroskopie**

Der knöcherner Gehörgang und das Trommelfell sind sehr empfindlich, hier muß mit Instrumenten besonders vorsichtig umgegangen werden (siehe Synopsis 8).

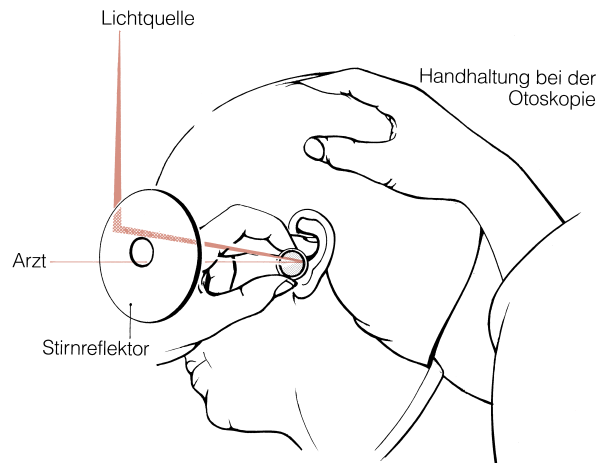
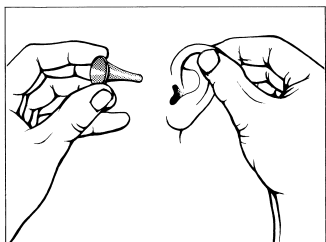
Merke. Der Patient sollte im voraus davon informiert werden, daß bei der Untersuchung im Gehörgang manipuliert wird, um plötzliche Schreckreaktionen zu vermeiden, bei denen es zu Verletzungen kommen kann.

Synopsis 8: Otoskopie des Ohres und Einsetzen des Ohrtrichters

a Otoskopie des rechten Ohres



b Otoskopie des linken Ohres



Die Ohrmuschel muß in eine Position gebracht werden, die den Gehörgangseingang öffnet und den gesamten Gehörgang annähernd in eine Achse bringt, damit man einen direkten Einblick auf das Trommelfell erhält. Beim Kind und Erwachsenen wird hierzu die Ohrmuschel kurzfristig und vorsichtig nach hinten und oben gezogen. Beim Neugeborenen kann ein nach unten gerichteter Zug am Ohrläppchen hilfreich sein. Nach Einführen eines **Ohrtrichters** (Abbildung 16) ist das Ziehen an der Ohrmuschel nicht mehr erforderlich. Mit der rechten Hand wird der Kopf des Patienten im erforderlichen Maß bewegt, um alle Trommelfellanteile beurteilen zu können. Die rechte Hand liegt deshalb leicht auf dem Kopf des Patienten (siehe Synopsis 8).

Um den gesamten Gehörgang bis zum Trommelfell einsehen zu können, muß die Ohrmuschel leicht nach hinten oben gezogen werden. Dann wird ein **Ohrtrichter** in den Gehörgang geführt (Abb. 16). Die rechte Hand stabilisiert und bewegt den Kopf des Patienten (s. Syn. 8).

Abb. 15: Stirnreflektor (Stirnspiegel)

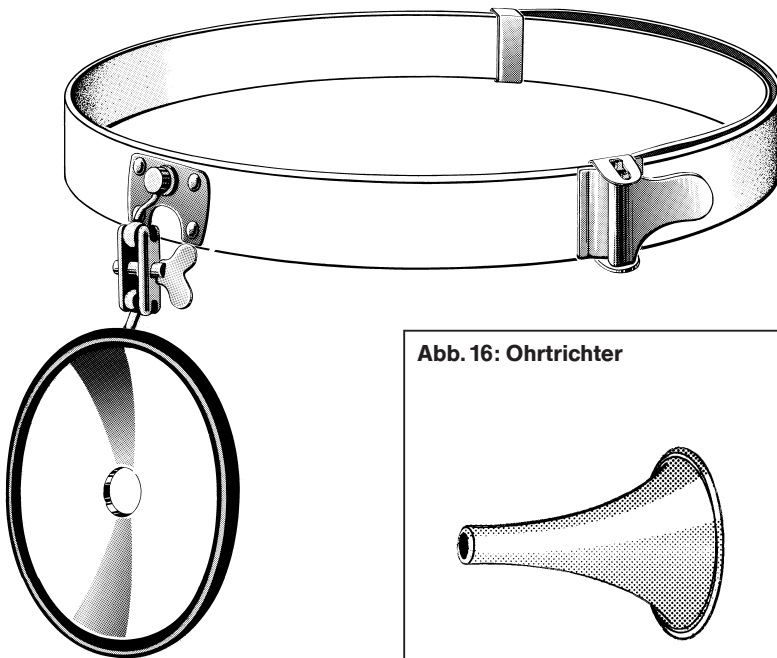


Abb. 16: Ohrtrichter

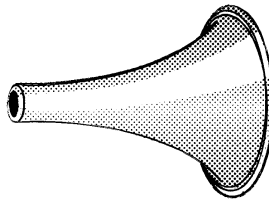


Abb. 17: Otoskop mit Batterie- bzw. Akkuhandgriff

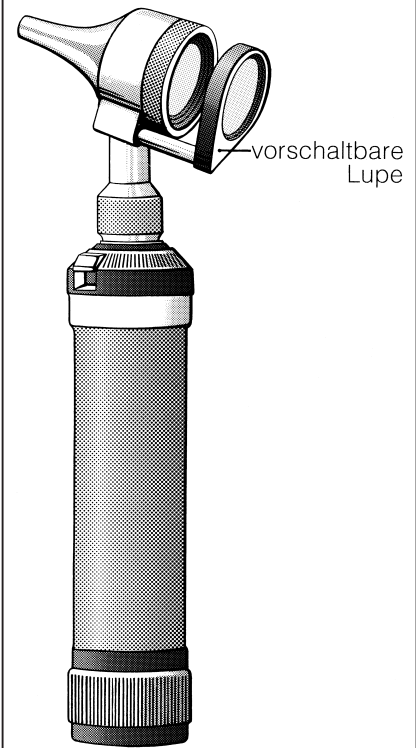


Abb. 18: Stirnlampe mit Glühbirne und Reflektor

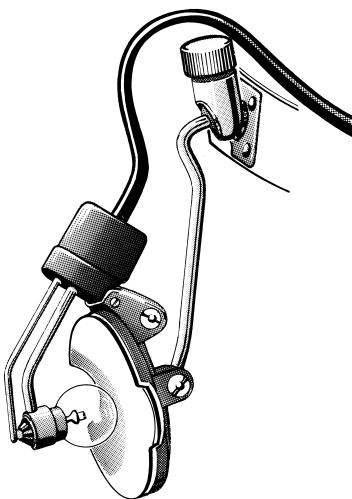
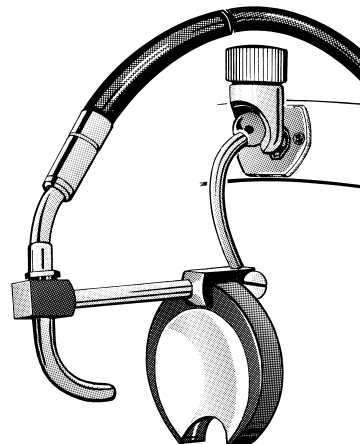


Abb. 19: Stirnlampe mit Kaltlichtleiter und Reflektor



Die optimale **Beleuchtung** ist von entscheidender Bedeutung. Meist verwendet man eine starke Lichtquelle und einen Stirnreflektor (s. Abb. 15).

Für die Untersuchung eignen sich auch elektrische **Otoskope** mit Batteriehandgriff, **Lupen** und **Stirnlampen**. **Staboptiken**, das **Mikroskop** und starre bzw. flexible **Endoskope** erlauben Foto- oder Videodokumentation (Abb. 17, 18, 19).

Der **Trommelfellbefund** kann in einer Zeichnung festgehalten werden.

• **Untersuchung mit dem Siegle-Trichter**

Die Beweglichkeit des Trommelfells wird durch die Belüftungsverhältnisse im Mittelohr beeinflusst.

Mit dem Siegle-Trichter kann die Beweglichkeit des Trommelfells beobachtet werden. Dabei wird über eine Zuleitung mit Gummiballon der Druck im äußeren Gehörgang erhöht oder vermindert, so daß sich das Trommelfell nach innen oder außen bewegt.

• **Untersuchung des Kindes**

Kleine und ängstliche Kinder sollten bei der Otoskopie von einer Hilfsperson auf dem Schoß sitzend gehalten werden.

Bei starker Abwehr müssen Beine, Arme und Kopf des Kindes für die Dauer der Spiegelung gehalten werden, um Verletzungen zu vermeiden. Unter Umständen ist eine leichte Sedierung hilfreich. Bestehen keine klinischen Auffälligkeiten, kann bei starker Abwehr von Kindern nach Abwägung auf eine »Routineuntersuchung« verzichtet werden. Wenn auf andere Weise kein Befund erhoben werden kann, sollten Kinder bei entsprechender Indikation in Narkose untersucht werden.

Für den Erfolg der Untersuchung ist eine gute **Beleuchtung** im Gehörgang und am Trommelfell von entscheidender Bedeutung. Der Hals-Nasen-Ohren-Arzt verwendet hierzu in der Regel einen **Stirnreflektor**, der das Licht einer starken Lichtquelle (100 Watt-Birne, Halogenlampe) bündelt und reflektiert (siehe Abbildung 15).

Weite Verbreitung haben auch elektrisch betriebene **Otoskope** gefunden. Solche Instrumente bestehen aus einer Lichtquelle, deren Batterie im Handgriff untergebracht ist, sowie einem auswechselbaren Ohrtrichter und meist einer Vorsatzlupe mit etwa zweifacher Vergrößerung. Weitere Möglichkeiten der otoskopischen Untersuchung bieten **Lupen** oder eine **Stirnlampe** (mit konventioneller Beleuchtung oder Kaltlicht) (Abbildungen 17, 18, 19). Das **Mikroskop** und **Staboptiken** (Teleskope) bzw. **flexible Endoskope** erlauben den Anschluß einer Kamera zur Befunddokumentation mit Fotos oder Videofilm bzw. die Mitbeobachtung über einen Monitor.

Der erhobene Gehörgangs- und **Trommelfellbefund** muß sorgfältig dokumentiert werden, was auch unter Anfertigung einer Zeichnung geschehen kann.

• **Untersuchung mit dem Siegle-Trichter.** Die Beweglichkeit des Trommelfells ist ein wichtiger Hinweis auf den Belüftungszustand der Paukenhöhle. Trommelfellbewegungen können mit der pneumatischen Otoskopie mit dem Ohrtrichter nach Siegle beobachtet werden:

Ein gut passender Trichter mit vorgesetzter Lupe wird dicht schließend in den äußeren Gehörgang eingeführt. In den Trichter wird über einen Gummischlauch mit Ballon Luft eingblasen. Der entstehende Druck bewirkt eine Trommelfellbewegung nach medial. Beim Loslassen des Ballons sinkt der Druck im äußeren Gehörgang, das Trommelfell muß sich nach außen bewegen. Diese Bewegungen werden durch den Lupentrichter beobachtet. Ein Mittelohrerguß oder Unterdruck in der Pauke behindern die Bewegung des Trommelfells.

• **Untersuchung des Kindes.** Kleine und ängstliche Kinder können oft nur dann gefahrlos untersucht werden, wenn sie von einer dritten Person (Elternteil, oft besser erfahrene Krankenschwester) sicher gehalten werden. Bei extremer Abwehr des Kindes besteht die Gefahr der Verletzung von äußerem Gehörgang bzw. Trommelfell. Die Hilfsperson sitzt auf dem Untersuchungsstuhl und nimmt das Kind auf den Schoß. Die Beine des Kindes werden zwischen die der helfenden Person geklemmt, die beiden Arme des Kindes mit einem Griff um den Brustkorb fixiert. Gleichzeitig hält die Hilfsperson mit dem anderen Arm den gegen ihren Oberkörper seitlich angelegten Kopf des Kindes fest.

Unter Umständen ist eine leichte Sedierung z.B. mit Chloralhydrat (Rectiole®) hilfreich. Bestehen keine klinischen Auffälligkeiten, dann kann bei starker Abwehr von Kindern nach Abwägung des Einzelfalles auf eine »Routineuntersuchung« verzichtet werden. Ist aber die Abklärung eines klinischen Befundes unumgänglich, dann kann die Untersuchung im Kleinkindesalter auch als »Ohrmikroskopie« in Maskennarkose erfolgen, wenn die vollständige Diagnostik oder kleine therapeutische Manipulationen beim wachen Kind nicht möglich sind. Häufig wird in gleicher Sitzung eine gegebenenfalls erforderliche Drainage der Paukenhöhle, Ohrreinigung oder Inspektion des Nasenrachenraumes zur Suche nach vergrößerten Rachenmandeln oder ähnliches durchgeführt.

4.3 Bildgebende Diagnostik

A. Berghaus

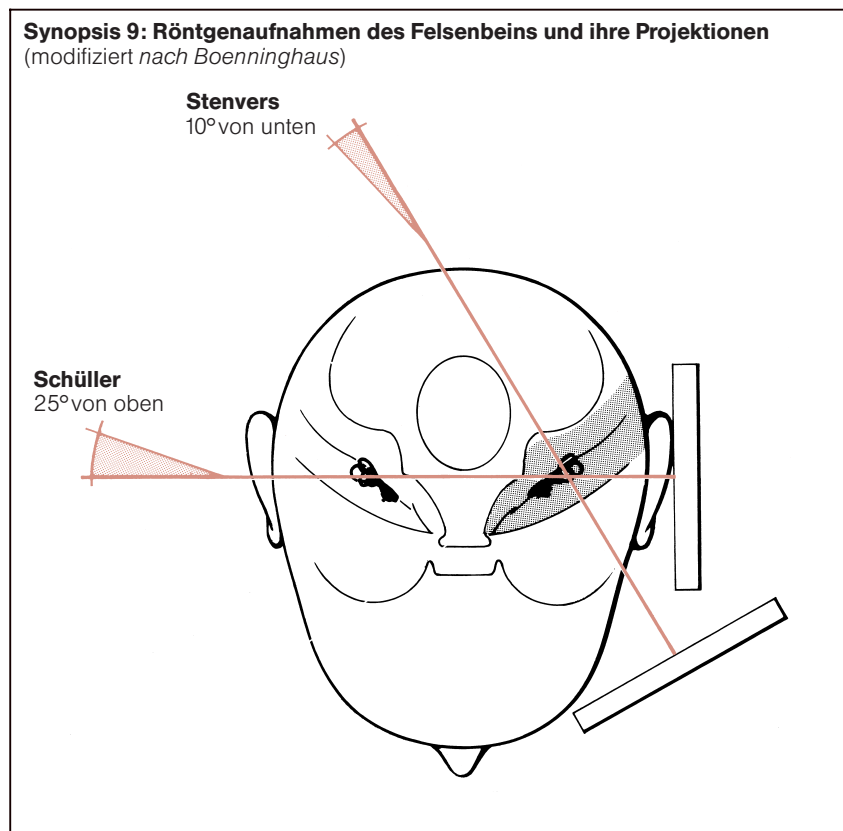
4.3.1 Röntgenuntersuchung

Die Übersichtsaufnahmen des Schädels (anterior-posteriore und seitliche Projektion) lassen wegen starker Überlagerungen mit anderen knöchernen Strukturen (z.B. den Nasennebenhöhlen) eine ausreichende Beurteilung des Schläfen- und Felsenbeins nicht zu. Daher sind **Spezialprojektionen** erforderlich. Grundsätzlich werden beide Schläfenbeine geröntgt, um die Seiten vergleichen zu können (siehe Synopsis 9).

4.3 Bildgebende Diagnostik

4.3.1 Röntgenuntersuchung

Für die Röntgenuntersuchung des Schläfenbeins müssen **Spezialprojektionen** gewählt werden. Beide Seiten werden miteinander verglichen (s. Syn. 9).



- **Röntgenaufnahme nach Schüller.** Das Ohr liegt der Filmkassette an, der Zentralstrahl ist um 25° nach oben abgewinkelt. Dargestellt werden der Warzenfortsatz mit seiner **Pneumatisation**, das Antrum mastoideum, der Sinus sigmoideus, äußerer und innerer Gehörgang übereinander projiziert und das Kiefergelenk.

Die Untersuchung ist vor allem bei Mittelohrentzündung und Mastoiditis indiziert (Frage nach Knocheneinschmelzung, Defektbildung und Ausmaß der Pneumatisation) und bei der **Felsenbeinlängsfraktur**. Die Frakturlinien sind allerdings häufig so zart, daß sie nicht darstellbar sind (siehe Abbildung 20).

- **Röntgenaufnahme nach Stenvers**
Dargestellt werden vor allem die **Pneumatisation** des Warzenfortsatzes, die übereinander projizierten äußeren und inneren Gehörgänge und das Kiefergelenk. Häufigste Indikation ist die Frage nach einer Störung der Mastoidpneumatisation und die Suche nach einer **Felsenbeinlängsfraktur** (s. Abb. 20).

Äußerer und innerer Gehörgang übereinander projiziert
Kiefergelenk Mastoidpneumatisation

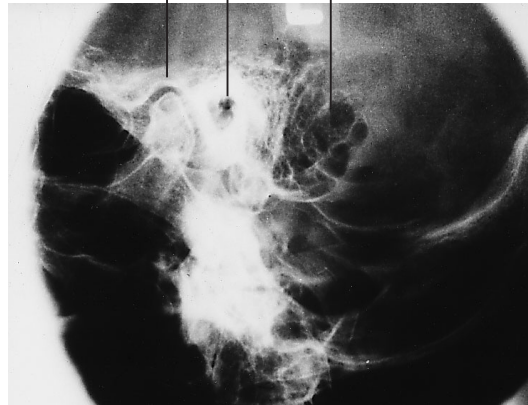


Abb. 20: Röntgenaufnahme nach Schüller, Normalbefund.

- **Röntgenaufnahme nach Stenvers**

Die Aufnahme dient der Darstellung von **innerem Gehörgang**, horizontalem und oberem **Bogengang** sowie der **Pyramidenspitze**. Sie ist zur Beurteilung der **Pyramidenoberkante** und der Weite des inneren Gehörgangs geeignet; sowie bei Verdacht auf Arrosion des **Labyrinthes** (z.B. beim Cholesteatom) und bei der **Felsenbeinquerfraktur** (s. Abb. 21).

- **Röntgenaufnahme nach Stenvers**

Der Orbitaaußenrand wird der Filmkassette angelegt, so daß diese mit der Gesichtssache einen Winkel von 45° bildet. Der Zentralstrahl ist um 12° nach unten abgewinkelt.

Die Aufnahme dient vor allem der Darstellung von **innerem Gehörgang**, horizontalem und oberem **Bogengang** sowie der **Pyramidenspitze**. Sie ist besonders zur Beurteilung der **Pyramidenoberkante** und der Weite des inneren Gehörgangs geeignet (beim Akustikusneurinom erweitert), außerdem bei Verdacht auf Destruktion oder Arrosion des **Labyrinthes** (z.B. beim Cholesteatom) und bei der **Felsenbeinquerfraktur** (siehe Abbildung 21).

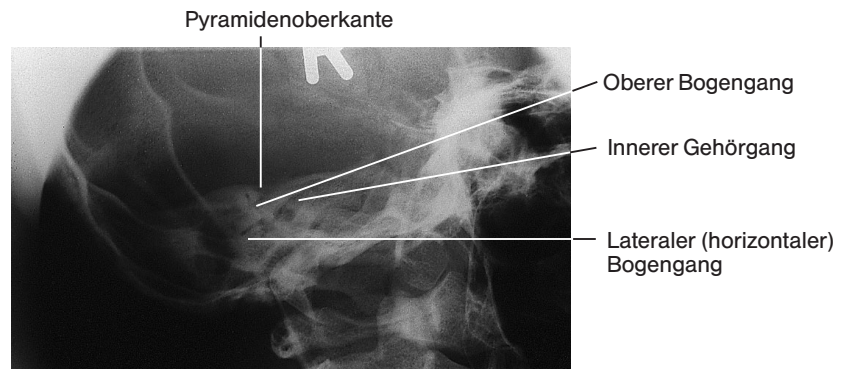


Abb. 21: Röntgenaufnahme nach Stenvers, Normalbefund.

- **Axiale Schädelbasisaufnahme**
Die axiale Schädelbasisaufnahme zeigt z.B. eine Tumorausdehnung im Bereich der Oto- und Frontobasis.

- **Axiale Schädelbasisaufnahme.** Auf der axialen Schädelbasisaufnahme werden die Felsenbeinpyramiden dargestellt, zusammen mit den Siebbeinzellen und der Keilbeinhöhle. Diese Aufnahme kann zum Beispiel zur Klärung der Tumorausdehnung bei Malignomen der Schädelbasis (Oto- und Frontobasis) herangezogen werden.

- **Tomographie**
Die konventionelle Tomographie ist durch die CT ersetzt worden.

- **Tomographie (Röntgenschnittuntersuchung).** Die konventionelle Tomographie der Felsenbeine, die in unterschiedlichen Projektionen möglich ist, ist weitgehend durch die Computertomographie ersetzt worden.

• **Computertomographie.** Vor allem hochauflösende computertomographische Darstellungen mit Schichtdicken unter 2 mm haben in der röntgenologischen Feindiagnostik des Felsenbeins einen hohen Stellenwert, weil hiermit die Abgrenzung knöcherner gegen weichteildichte Strukturen besonders gut gelingt. Man fertigt axiale, coronare oder spezielle Projektionsschnitte an. Dadurch lassen sich einerseits komplizierte **Frakturverläufe** darstellen, aber zum Beispiel auch die Ausdehnung von **Knochendestruktionen** durch chronische Entzündungen (Cholesteatom) oder Tumoren sowie Einzelheiten angeborener Fehlbildungen der Paukenhöhle und des Innenohrs. Die Aussagekraft des Computertomogramms kann durch die gleichzeitige intravenöse Gabe von **Kontrastmitteln** deutlich erhöht werden (siehe Abbildung 22).

• **Computertomographie**
Das hochauflösende CT (s. Abb. 22) ist wegen seiner guten Darstellung des Knochens besonders bei **Frakturen** und ossären **Destruktionen** im Schläfenbereich gut geeignet. Man kann axiale, coronare und spezielle Schnittbilder ohne oder mit **Kontrastmitteln** erzeugen.

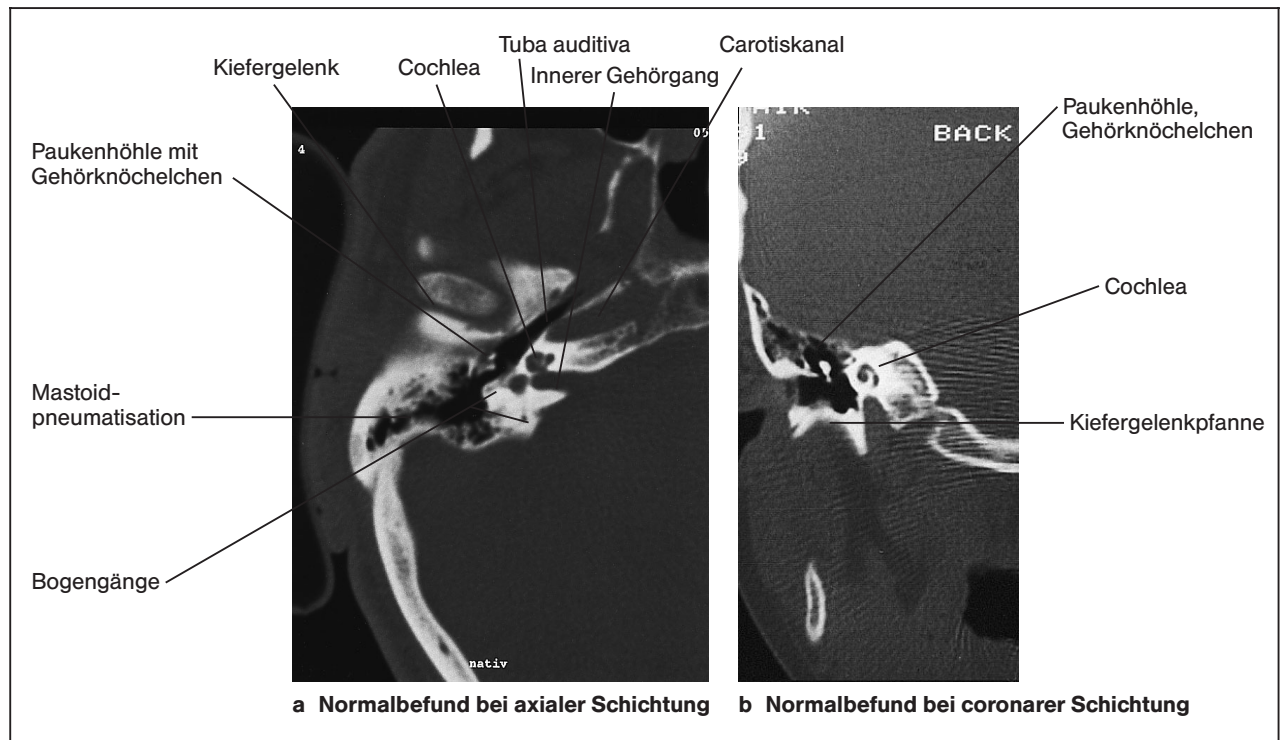


Abb. 22: Computertomogramme des rechten Felsenbeins

• Angiographie

Bei Verdacht auf **Gefäßprozesse** (Glomustumoren, Hämangiome, Blutungen, Aneurysmen) im Bereich des Felsenbeins sind Angiographien des **Carotis-** bzw. **Vertebralis-**Stromgebietes indiziert. Dabei wird ein Kontrastmittel in eine Vene oder in eine Arterie eingespritzt. Die Aussagekraft der Untersuchung kann noch erhöht werden, indem durch technische Bearbeitung der Bilder die vom Kontrastmittel gebildete Kontur besonders stark hervorgehoben wird, während die Knochenschatten verblassen (**digitale Subtraktionsangiographie, DSA**).

• Angiographie

Bei **Gefäßprozessen** im Bereich des Felsenbeins sind Angiographien des **Carotis-** bzw. **Vertebralis-**Stromgebietes indiziert. Bei der **digitalen Subtraktionsangiographie (DSA)** wird die vom Kontrastmittel gebildete Kontur besonders hervorgehoben.

4.3.2 Kernspintomographie

Die Kernspintomographie (**NMR** [Nuclear Magnetic Resonance], **MRT** [Magnetresonanztomographie]) (siehe Abbildung 23) hat vor allem zur Darstellung unterschiedlich **weichteildichter** Strukturen im Bereich der Schädelbasis und bei intrakraniellen Prozessen an Bedeutung gewonnen (z.B. zur Diagnostik von Tumoren). Diese Untersuchung ist technisch aufwendig, geht aber nicht mit einer Strahlenbelastung einher. Durch Verwendung von **Kontrastmitteln** (Gadolinium-DTPA) läßt sich die Aussagekraft der Kernspintomographie noch erheblich steigern.

4.3.2 Kernspintomographie

Das **MRT** (s. Abb. 23) zeigt besonders gut unterschiedlich **weichteildichte** Strukturen, die gegeneinander abzugrenzen sind. Durch Verwendung von **Kontrastmitteln** (Gadolinium-DTPA) läßt sich die Aussagekraft steigern.

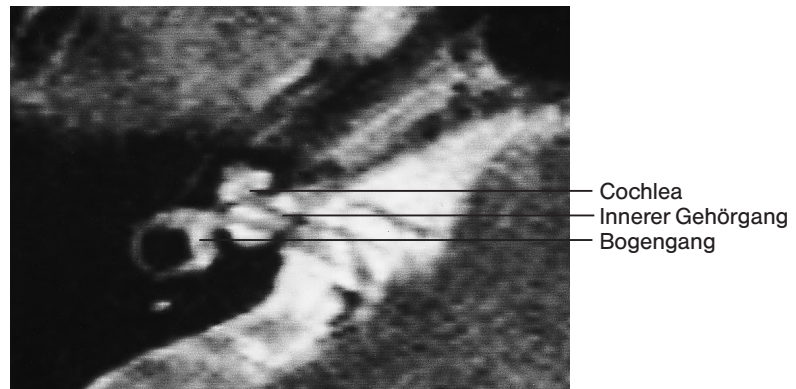


Abb. 23: Kernspintomogramm des Labyrinthes

4.4 Funktionsprüfungen des Gehörs (Audiometrie im Erwachsenenalter)

Definition ►

Zur Diagnostik der sehr unterschiedlich anzutreffenden **Hörstörungen** ist eine individuelle **audiometrische Testbatterie** erforderlich (s. Tab. 3).

Merke ►

4.4 Funktionsprüfungen des Gehörs (Audiometrie im Erwachsenenalter)

G. Böhme

Definition. Die Diagnostik von Hörstörungen wird als **Audiometrie** bezeichnet. Die **Audiologie** (Hörkunde) ist die Lehre vom Hören und den Störungen des Gehörs einschließlich Hörgeräteversorgung. Die Messung des Hörvermögens im Kindesalter wird als **Pädaudiometrie** (Kinderaudiometrie) bezeichnet. Der Begriff **Pädaudiologie** (Kinderaudiologie) ist angebracht, wenn über audiometrische Diagnostik hinaus auch Ursachen und Behandlung einer Hörschädigung zur Frage stehen (siehe Kapitel K, S. 674f).

Bei der Abklärung von **Hörstörungen** sollte man sich nicht ausschließlich auf Ergebnisse verlassen, die mit nur *einer* Methode erzielt wurden. Die **Audiometrie** fordert deshalb eine Stufendiagnostik zur Differenzierung der verschiedenen Hörstörungen nach topographischen Gesichtspunkten. Dabei muß eine gezielte Auswahl zwischen den zahlreichen Tests entsprechend den individuellen Notwendigkeiten geschaffen werden. Damit sind variable audiometrische Kombinationen möglich (Tabelle 3).

Tabelle 3: Audiometrische Testbatterie

- **psychoakustische Methoden:**
Hörweitenprüfung, Stimmgabeltests, Tonaudiometrie, Sprachaudiometrie, überschwellige Verfahren
- **otoakustische Emissionen**
- **Impedanzmessung**
- **Ableitung akustisch evozierter Potentiale**

Grundvoraussetzung für jede Hörprüfung ist ein entsprechend schallarmer Raum.

Die **Güte des Hörtests** (Audiogramm) hängt im wesentlichen von drei weiteren Faktoren ab:

- Zuverlässigkeit der Audiometer (Prüfgeräte)
- Zuverlässigkeit (der Angaben) des Patienten
- Zuverlässigkeit des Untersuchers

Merke. Vor jeder audiometrischen Untersuchung ist es unerlässlich, den Gehörgang und das Trommelfell zu inspizieren. Zeruminalpfropfe müssen vor der Hörprüfung entfernt werden.

Die nachfolgenden Ausführungen werden auf die verschiedenen audiometrischen Methoden näher eingehen. Zum besseren Verständnis sollen zuerst akustische Grundbegriffe erörtert werden.

4.4.1 Akustische Grundbegriffe

• **Physikalische Eigenschaften des Schallreizes.** Unter »Schall« versteht man Schwingungen der Moleküle eines elastischen Stoffes, zum Beispiel der Luft, die sich wellenförmig ausbreiten. In der Luft beträgt die Schallgeschwindigkeit etwa 335 m/s. Die dabei auftretende Druckamplitude nennt man **Schalldruck**. Der Schall wird, wie jeder andere Druck, in N/m^2 (**Pa = Pascal**) angegeben. In der Akustik verwendet man zumeist den Begriff **Dezibel (dB)**.

• **Dezibel (dB).** Mit dem Dezibel (dB) wird das logarithmische Verhältnis zweier Größen angegeben, das mit »Pegel« bezeichnet wird. In der Akustik wird das Verhältnis des gemessenen Schalldrucks p zum Bezugsschallpegel p_0 als Schalldruckpegel L in Dezibel bezeichnet.

• **Schalldruckpegel (Hörpegel).** Es handelt sich um eine logarithmische Größe. Das Dezibel ist ein Bezugswert. Ein Hörpegel von 0 dB entspricht der Normalhörschwelle (Hörpegel, den ein Normalhörender gerade eben noch hören kann), ein Hörpegel von 60 dB einer mittleren Lautstärke (Zimmerlautstärke). Bei einem Hörpegel von 100 dB wird das Hören für viele Menschen unangenehm laut.

Zum Beispiel gilt: Schalldruckpegel $L = 20 \log \frac{p}{p_0}$ dB (SPL)

p = Schalldruck eines Geräuschs in Pascal (Pa)

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa (Bezugsschallpegel)

Hörpegel $L = 20 \log \frac{p}{p_1}$ dB (HL)

p = Schalldruck des Prüftons in Pascal (Pa)

p_1 = Schalldruck des Prüftons, den Normalhörende unter gleichen Meßbedingungen gerade noch hören (Normalhörschwelle).

• **Psychoakustik.** Inhalt der Psychoakustik ist die Beschreibung der Zusammenhänge zwischen dem akustischen Reiz, dem **Schallereignis**, und seiner Wahrnehmung, dem **Hörereignis**. Die Ergebnisse der Psychoakustik werden als die Fähigkeiten eines Normalhörenden dargestellt. Die Psychoakustik stellt die Voraussetzung für die Interpretation audiometrischer Ergebnisse dar.

• **Reiner Ton.** Dieser wird durch Schalldruck und Frequenz beschrieben. Beispiel: Ein Ton von 1000 Hz mit 60 dB Schalldruckpegel.

• **Hörfeld.** Den Bereich der akustischen Reize, die der Mensch ohne Schmerzempfindung wahrnimmt, bezeichnet man als Hörfeld. Es umfaßt die Frequenzen zwischen 20 Hz und 20 kHz. Die geringste Lautstärke, bei der ein Ton wahrgenommen wird, nennt man **Hörschwelle**.

• **Lautstärke.** Zahlenmäßig stimmen Phon und Dezibel (dB) bei 1000 Hz überein. Der Dynamikbereich ist bei tiefen Frequenzen wesentlich enger als im Bereich zwischen 1 kHz und 4 kHz.

Merke. Die Einheit der Lautstärke ist das Phon.

Beispiel: Bei 20 Hz ruft bereits eine Hörpegeländerung von 10 dB eine Lautstärkeerhöhung auf 110 Phon hervor, bei 1000 Hz bewirkt erst eine Pegeländerung von 100 dB denselben Lautstärkezuwachs.

• **Lautheit.** Die Einheit der Lautheit ist das »Sone«. Die Lautheit ist ein Maß für die **Empfindung** der Lautstärke eines Tons. Als Bezugspunkt der Empfindungsskala wird diejenige Lautheit angenommen, die durch einen Ton von

4.4.1 Akustische Grundbegriffe

• **Physikalische Eigenschaften des Schallreizes**

Die Schallgeschwindigkeit in der Luft beträgt 335 m/s. Die Druckamplitude nennt man **Schalldruck**. Er wird in N/m^2 bzw. Pascal (Pa) angegeben. In der Akustik verwendet man den Begriff

• **Dezibel (dB).** Ein Hörpegel von 0 **Dezibel** entspricht der Normalhörschwelle, d.h. es ist der Hörpegel, den ein Normalhörender gerade eben noch hören kann. 60 dB entspricht etwa Zimmerlautstärke.

• **Schalldruckpegel und Hörpegel** sind logarithmische Größen, die in Dezibel (dB) ausgedrückt werden.

• **Psychoakustik**

Sie beschreibt die Zusammenhänge zwischen dem **Schallereignis** und dem **Hörereignis** (Fähigkeiten eines Normalhörenden).

• **Reiner Ton**

Den reinen Ton kennzeichnen Schalldruck und Frequenz.

• Das **Hörfeld** umfaßt die Frequenzen zwischen 20 Hz und 20 kHz. Die geringste Lautstärke, bei der ein Ton wahrgenommen wird, nennt man **Hörschwelle**.

• **Lautstärke**

Phon und Dezibel stimmen bei 1000 Hz überein.

◀ **Merke**

• **Lautheit**

Das Maß für die **Empfindung** der Lautstärke eines Tons ist die

Lautheit mit der Einheit
»Sone«.

• **Intensitätsunterschiedsschwelle**
Das Unterscheidungsvermögen für Intensitätsänderungen eines Tons ist in Schwellennähe wesentlich schlechter als z.B. bei 70–80 Phon (überschwelliger Bereich). Dieses Phänomen findet in der überschwelligenden Audiometrie als »SISI-Test« Anwendung (s. S. 68).

4.4.2 Hörweiten für Flüster- und Umgangssprache

Die Hörweitenprüfung vermittelt nur einen **orientierenden Überblick** über Ausmaß und Sitz einer Hörstörung.

Prinzip

Zur seitentrennten Prüfung der Hörweite für Flüster- und Umgangssprache verwendet man viersilbige Zahlen.

Der Mund des Untersuchers muß abgedeckt, das Gegenohr des Patienten vertäubt (ausgeschaltet) werden (vgl. S. 64).

Bei Prüfung der Hörweite auf **Flüstersprache** wird ein Finger in den Gehörgang des nicht untersuchten Ohres gepreßt.

Bei Prüfung der Hörweite auf **Umgangssprache** wird das Gegenohr mit einer Barany-Lärmtrommel oder noch besser mit einem Rauschgenerator vertäubt.

Ergebnisse der Hörweitenprüfung für Flüster- und Umgangssprache

Der Gesunde hört Umgangssprache noch aus 120 m, Flüstersprache aus 30 m Entfernung.

In der Praxis werden Hörweiten bis 6 m geprüft, weil größere Räume nicht zur Verfügung stehen. Bei verkürzter Hörweite kann aus Tabellen der ungefähre Hörverlust abgelesen werden (Tab. 4).

40 Phon hervorgerufen wird. Dieser Empfindung wird der Wert von 1 Sone zugeordnet.

• **Intensitätsunterschiedsschwelle.** Der minimale Modulationsgrad, der notwendig ist, damit der Normalhörende die Intensitätsänderung eines Tons (= Lautstärkeerhöhung) wahrnimmt, beträgt in Schwellennähe 0,2 (d.h. Amplitude der Änderung dividiert durch Ausgangsamplitude). Er sinkt im überschwelligeren Bereich bis auf 0,02 bei 80 Phon ab. Dies bedeutet, daß das Unterscheidungsvermögen in Schwellennähe wesentlich schlechter ist als z.B. bei 70–80 Phon. Dieses Phänomen findet in der überschwelligenden Audiometrie als »SISI-Test« (siehe Seite 68) Anwendung.

4.4.2 Hörweitenprüfung für Flüster- und Umgangssprache

Die Hörweitenprüfung kann aus meßtechnischen Gründen (unterschiedlicher Sprachschallpegel verschiedener Untersucher, Güte der Artikulation, unterschiedliche akustische Raumeigenschaften, möglicher Störschall) nur einen **orientierenden Überblick** über Ausmaß und Sitz einer Hörstörung vermitteln.

Prinzip. Die Hörweite für Flüster- und Umgangssprache wird für beide Ohren getrennt gemessen. Der Patient wendet jeweils das zu prüfende Ohr dem Untersucher zu, dieser spricht vor, der Patient wiederholt. Dabei muß gewährleistet sein, daß der Patient dem Untersucher nicht vom Mund ablesen kann (z.B. durch Verdecken der Mundpartie des Untersuchers mit der Hand). Als Prüfwörter werden zweistellige, viersilbige Zahlen, wie z.B. 63, 92, etc. verwendet. Die Bestimmung der Hörweite für Umgangssprache erfolgt mit lauter Sprache, die der Flüstersprache mit Residual-Flüstersprache. Dabei sollte das Gegenohr durch »Vertäuben« ausgeschaltet werden (vgl. Seite 64).

Für das Vertäuben gibt es bei der Hörweitenprüfung mehrere Möglichkeiten:

Bei Prüfung der Hörweite für **Flüstersprache** wird ein Finger in den Gehörgang des nicht zu untersuchenden Ohres gepreßt. Durch Schüttelbewegungen des Fingers kann das Hören der Flüstersprache auf dem nicht zu prüfenden Ohr weitgehend vermieden werden.

Bei Prüfung der Hörweite für **Umgangssprache** ist das Vertäuben des Gegenohres mit einer Barany-Lärmtrommel möglich, aber zumeist ungenügend. Eine Barany-Lärmtrommel ist ein Läutwerk mit in den Gehörgang eingeführter Olive. Besser geeignet ist ein Rauschgenerator mit einstellbarer Lautstärke und »weißem Rauschen« (Vertäubungsgeräusch, enthält alle hörbaren Frequenzen). Hilfsweise kann auch für Prüfung der Umgangssprache die Vertäubung mit geschütteltem Finger gewählt werden.

Ergebnisse der Hörweitenprüfung für Flüster- und Umgangssprache

Da der Normalhörende in stiller Umgebung Umgangssprache in einer Entfernung von 120 m, Flüstersprache bis zu 30 m hört, kann aus dem Ergebnis der Prüfung für Flüster- und Umgangssprache zumindest unterhalb 6 m streng genommen noch nicht geschlossen werden, daß der Patient normal hört.

In der Praxis gelten aber Hörweiten von über 6 m bereits als »normal«, zumal größere, entsprechend geeignete Räumlichkeiten für diese Prüfung im allgemeinen nicht zur Verfügung stehen. Ist die Hörweite verkürzt (z.B. nur 2,5 m), so kann aus Tabellen der ungefähre Hörverlust erkannt werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Grad der Schwerhörigkeit in Abhängigkeit von der Hörweite für Umgangssprache

Grad der Schwerhörigkeit	Hörweite
geringgradig	4 m
mittelgradig	4 m – 1 m
hochgradig	1 m – 25 cm
an Gehörlosigkeit grenzende Resthörigkeit	25 cm

Da mit der **Flüstersprache** vorwiegend hohe Frequenzen geprüft werden, ist eine isolierte Verkürzung der Hörweite für Flüstersprache bei normaler Hörweite für Umgangssprache ein Zeichen für einen Hochtonhörverlust. Meist handelt es sich dann um eine Schallempfindungsschwerhörigkeit.

4.4.3 Stimmgabelprüfungen

Für die Durchführung der Tests ist eine Stimmgabel von 440 Hz (= a¹) mit breitem Fuß erforderlich.

Die Stimmgabel soll z.B. am Ellenbogen oder an der Kniescheibe, nicht aber an einem klingenden Gegenstand (Tischbein aus Metall o.ä.) angeschlagen werden.

Merke. Stimmgabelprüfungen vermitteln keine Hinweise auf die Hörschwelle. Sie besitzen jedoch als ergänzende Hörprüfungen, gegebenenfalls gemeinsam mit den Hörweitenprüfungen und ganz besonders mit der Tonaudiometrie, durchaus diagnostischen Wert.

• **Versuch nach Weber.** Die angeschlagene Stimmgabel wird auf den Scheitel (Mittellinie) an der Haargrenze gesetzt. Der Patient wird gefragt, ob er den Ton in beiden Ohren gleich laut oder in einem Ohr lauter hört. Trifft letzteres zu, spricht man von »Lateralisation«.

Eine Verkürzung der **Flüstersprache** (vorwiegend hohe Frequenzen) gegenüber normaler Umgangssprache spricht zumeist für eine Schallempfindungsschwerhörigkeit (Hochtonverlust!).

4.4.3 Stimmgabelprüfungen

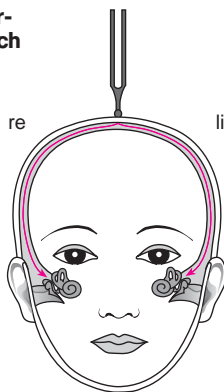
Man benötigt hierfür eine 440 Hz-Stimmgabel.

◀ Merke

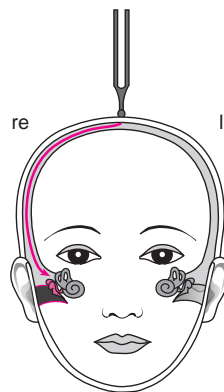
• **Versuch nach Weber**
Die Stimmgabel wird bei **Schalleitungsschwerhörigkeiten** in das schlechter hörende und bei **Schall-**

Abb. 24: Stimmgabelprüfungen nach Weber (oben) und Rinne (unten)

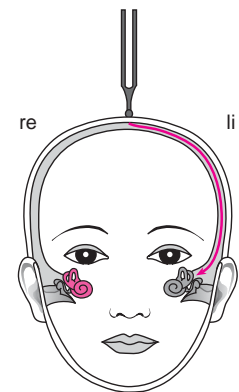
Weber-Versuch



a Normalbefund:
»Weber mittelständig«

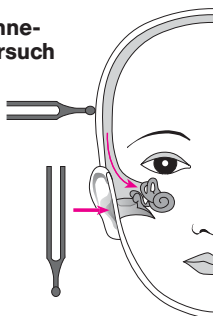


b Schalleitungsstörung:
Lateralisation in das schlechter hörende Ohr

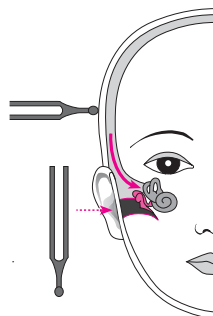


c Schallempfindungsstörung:
Lateralisation in das besser hörende Ohr

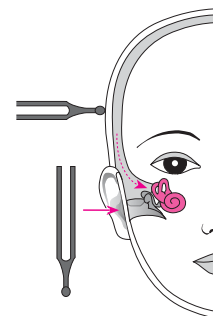
Rinne-Versuch



a Normalbefund:
»Rinne positiv«



b Schalleitungsstörung:
»Rinne negativ«



c Schallempfindungsstörung:
»Rinne positiv«

empfindungsschwerhörigkeiten in das besser hörende Ohr lateralisiert. Auf der lateralisierten Seite wird sie lauter gehört. Bei **beidseitigen Hörstörungen** wird in das »schalleitungsschlechtere« oder das »schalleitungsbessere« Ohr lateralisiert (s. Abb. 24).

• Versuch nach Rinne

Mit dem Rinne-Versuch werden Luftleitung und Knochenleitung am gleichen Ohr miteinander verglichen. Die Stimmgabel wird zunächst auf das Mastoid aufgesetzt, dann vor das Ohr gehalten. Der Versuch nach Rinne ist **positiv**, wenn die Luftleitung besser als die Knochenleitung ist (**normale Schalleitung** bzw. Störung von nicht mehr als 25 dB). Der Versuch von Rinne ist **negativ**, wenn die Knochenleitung besser ist als die Luftleitung (Schalleitungsschwerhörigkeit über 25 dB).

4.4.4 Tonaudiometrie

Merke ►

• Audiometer

Ein Audiometer erzeugt **reine Töne** unterschiedlicher Frequenz und Lautstärke. Die Töne werden über Kopfhörer, Knochenleitungshörer oder gegebenenfalls über Lautsprecher dem Patienten angeboten.

Computergesteuerte Hörtestsysteme werden immer häufiger eingesetzt.

• Maßeinheiten in der Tonaudiometrie (s. a. S. 57)

- **0 dB Hörpegel** bedeutet die **Hörschwelle des Normalhörenden**.
- **dB HP** = dB Hörpegel
- **dB HL** = dB hearing level
- **dB SPL** = dB sound pressure level

Beurteilung

Bei **symmetrischem Hörvermögen** tritt keine Lateralisation auf. Bei **Schalleitungsschwerhörigkeit** wird vorwiegend in das schwerhörige Ohr lateralisiert. Bei **Schallempfindungsschwerhörigkeit** kann die Lateralisation unsicher sein. Sie erfolgt aber vorwiegend in das besser hörende Ohr, hängt allerdings von der Intensität des Prüftons ab. Bei **beidseitigen Hörstörungen** gilt: Der Stimmgabel-Ton wird beim Weber-Versuch in das »schalleitungsschlechtere« oder das »schalleitungsbessere« Ohr lateralisiert (siehe Abbildung 24).

• **Versuch nach Rinne.** Hier wird das Hörvermögen für die Stimmgabel über Luftleitung mit dem über Knochenleitung verglichen. Die angeschlagene Stimmgabel wird zunächst mit dem Stiel auf das Mastoid der zu untersuchenden Seite aufgesetzt. Der Patient gibt an, wenn er den Ton nicht mehr hört. Ohne nochmaliges Anschlagen werden dem Patienten dann die Zinken der Stimmgabel vor die Gehörgangsöffnung gehalten, bis er den Ton nicht mehr wahrnimmt.

Beurteilung

Der Versuch nach Rinne ist **positiv**, wenn die Luftleitung besser als die Knochenleitung ist. Dies spricht für eine **normale Schalleitung** oder eine Schalleitungsstörung von nicht mehr als 25 dB. In diesem Fall wird der Ton der Stimmgabel vor dem Gehörgang wieder gehört. Der Rinne-Versuch ist **negativ**, wenn die Knochenleitung besser ist als die Luftleitung. Dann wird der Ton vor dem Gehörgang nicht wiedergehört, und es kann eine **Schalleitungsschwerhörigkeit** über 25 dB vorliegen. Bei Kindern ist der Test nach Rinne nur bei ausgeprägten Schalleitungsschwerhörigkeiten von 40 dB und darüber zuverlässig verwertbar.

4.4.4 Tonaudiometrie

Merke. Grundlage der gesamten audiologischen Diagnostik ist die tonaudiometrische Hörschwellenmessung. Alle weiteren Untersuchungen beruhen auf diesem Verfahren. Damit ist die Tonaudiometrie die am häufigsten durchgeführte Untersuchungsmethode in der Audiometrie.

• **Audiometer (Hörprüfgerät).** Ein Hörprüfgerät ist ein elektronisches Gerät. Ein Tonaudiometer erzeugt **reine Töne** unterschiedlicher Frequenz und Lautstärke. Die Töne werden über Kopfhörer, Knochenleitungshörer oder gegebenenfalls Lautsprecher dem Patienten angeboten. Klinische Audiometer sind mit sehr unterschiedlichen Zusatzeinrichtungen ausgestattet, die neben der Reintonaudiometrie auch andere spezielle Hörtests ermöglichen. Zum Beispiel seien die überschwelligen Tests (siehe Seite 67) und die Sprachaudiometrie (siehe Seite 64) erwähnt.

Immer häufiger wird die Computertechnik eingesetzt. Reintonaudiometer mit eigenständiger Meßeinheit und EDV-orientierter Schnittstelle ermöglichen den Anschluß von Peripheriegeräten (Drucker, Monitor). Diese besitzen eine systemeigene Software. Die Darstellung des Prüfergebnisses erfolgt dann über einen Monitor, die Dokumentation über einen Drucker und die Speicherung z.B. auf Disketten oder Festplatte.

• Maßeinheiten in der Tonaudiometrie (siehe auch akustische Grundbegriffe Seite 57).

In der Audiometrie häufig verwendete Angaben über die Lautstärke (Hörpegel):

- **0 dB Hörpegel** bedeutet die **Hörschwelle des Normalhörenden**.
- **dB HP** = **dB Hörpegel**. Dies bedeutet, daß die Bezugsgröße die Hörschwelle Normalhörender ist.
- **dB HL** = **dB hearing level**. Die Bezugsgröße ist die individuelle Hörschwelle des Patienten.
- **dB SPL** = **dB sound pressure level**. Im Frequenzbereich um 1 kHz beträgt der physikalische Schalldruckpegel ca. 0 dB SPL = physikalischer Schalldruckpegel.

4.4.4 Tonaudiometrie

- **dB SL = dB sound level** umschreibt den Schalldruckpegel bezogen auf die individuelle Patientenhörschwelle.
- **dB A = dB Schalldruckpegel.** Er beschreibt die Verwendung eines genormten Filters A, der ähnlich dem menschlichen Ohr tiefe und hohe Frequenzen bewertet.

Merke. Die Einteilung der dB-Skala im Audiogramm ist nicht mit jener identisch, die auf der physikalischen Einheit von μPa basiert (dB SPL), sondern sie ist auf die Hörschwelle des normalen Gehörs bezogen (dB HL) (Abbildung 25).

- **Lautstärkebereich.** Die Ermittlung der Hörschwelle erfolgt innerhalb eines bestimmten Frequenzbereiches (0,125 kHz bis 8 kHz) und auch innerhalb eines beschränkten Bereiches des Hörpegels (0 dB bis 100 dB). Die maximalen Hörpegel sind frequenzabhängig und liegen für die Luftleitung wesentlich höher als für die Knochenleitung. Dies kann dazu führen, daß bei hochgradiger Schwerhörigkeit zwar eine Hörschwelle über Luftleitung, jedoch nicht über Knochenleitung nachweisbar ist.

- **Frequenzbereich.** Der im Tonaudiogramm untersuchte Frequenzbereich von 0,125 kHz bis 8 kHz ist wesentlich enger als der vom menschlichen Gehör verarbeitete. Die für die Routineuntersuchung gebräuchliche Tonaudiometrie innerhalb des Frequenzbereiches von 0,125 kHz bis 8 kHz wird meist in Schritten von ganzen Oktaven (125, 250, 500 Hz), oberhalb in halben Oktaven (1000, 2000, 3000, 4000, 6000 und 8000 Hz) geprüft.

Die Prüfung von Frequenzen oberhalb 8 kHz bis maximal 20 kHz, als **Hochfrequenzaudiometrie** bezeichnet, hat sich noch nicht als Routinemethode durchsetzen können.

- **Luftleitung.** Für die Prüfung der Luftleitungshörschwelle werden Kopfhörer mit flachen Gummimuffen oder zumeist das Ohr umgreifende Kunststoffschalen verwendet.

- **Knochenleitung.** Ein schwingender **Vibrator** (Knochenleitungshörer) wird am Mastoid aufgesetzt und versetzt sowohl Schädelknochen als auch Weichteile in Schwingungen, wobei es zu einer Schallübertragung in das Innenohr kommt. Die Knochenleitungshörer werden mit einem Bügel an das Mastoid gepreßt.

- **Audiogramm.** Die Befunde der Reintonschwellenaudiometrie werden in ein Formular eingezeichnet. Darin ist die normale Hörschwelle als gerade Linie dargestellt, die für alle Frequenzen einen Hörverlust von 0 dB (also keinen Hörverlust) bezeichnet. Höhere Schwellenwerte werden weiter nach unten eingetragen. Sie geben an, um wieviel dB die Hörschwelle eines Patienten über der normalen Hörschwelle liegt. Die Werte dürfen nicht mit dem Schalldruckpegel verwechselt werden, der in dB SPL angegeben wird.

Liegt die Reintonschwelle z.B. unterhalb von 0 dB im Bereich von 20 dB, dann spricht man von einem »Hörverlust von 20 dB«.

- **dB SL = dB sound level**

- **dB A = dB Schalldruckpegel**

◀ **Merke**

- **Lautstärkebereich**

Der im Tonaudiogramm gemessene Lautstärkebereich liegt im allgemeinen zwischen 0 dB und 100 dB.

- **Frequenzbereich**

Der im Tonaudiogramm gemessene Frequenzbereich liegt zwischen 0,125 kHz und 8 kHz. In der täglichen Routine werden die Frequenzen 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6 und 8 kHz geprüft.

- **Luftleitung**

Es werden zumeist Kopfhörer mit Kunststoffschalen verwendet.

- **Knochenleitung**

Ein schwingender **Vibrator**, der Knochenleitungshörer, wird am Mastoid aufgesetzt. Es kommt zu einer Schallübertragung in das Innenohr.

- **Audiogramm**

In einem standardisierten Formular ist die normale Hörschwelle (= Hörverlust von 0 dB) als gerade Linie dargestellt. Höhere Schwellenwerte, z.B. im Bereich 20 dB, werden weiter unten eingetragen. In diesem Fall spricht man von einem Hörverlust von 20 dB.

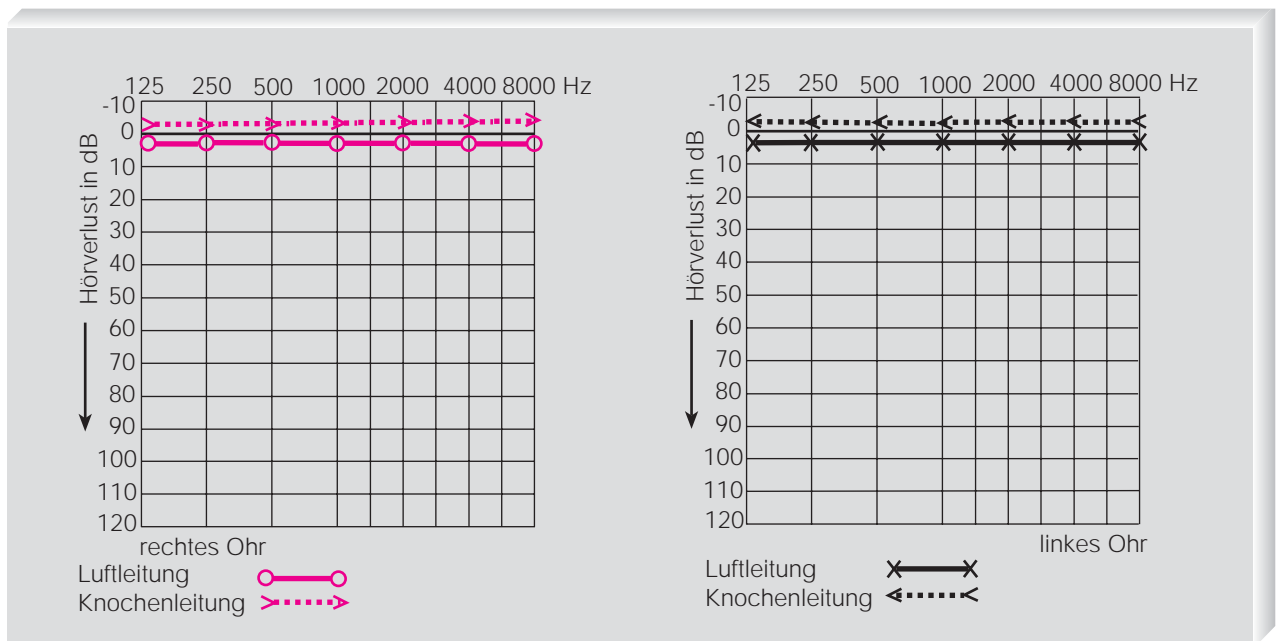


Abb. 25: Tonaudiogramm, beidseits normale Hörfunktion. Die Luftleitung liegt unterhalb der Knochenleitung. Abweichungen bis zu 10 dB sind möglich.

• Dokumentation

Zur Seitendifferenzierung Luft- und Knochenleitung werden folgende Symbole verwendet:

rot: rechtes Ohr
blau: linkes Ohr

	rechts	links
Luftleitung	○—○	×—×
Knochenleitung	>.....>	<.....<

• Reihenfolge der Schwellenbestimmung

Zuerst werden die Luftleitungshörschwellen des besseren Ohres geprüft, dann die Knochenleitung.

• Ermittlung der Hörschwelle

Zuerst werden über Kopfhörer (Luftleitung) getrennt für jedes Ohr Töne angeboten. Dabei wird getestet, bei welcher Lautstärke der Patient den aus dem Leisen, Unhörbaren kommenden Ton gerade hört. Es wird mit 1000 Hz begonnen. Der Luftleitungsprüfung folgt die der Knochenleitung mit Hilfe des Knochenleitungshörers.

• **Dokumentation.** Um im Formular schnell zu erkennen, ob rechte oder linke Seite bzw. Luft- oder Knochenleitungshörschwelle dargestellt sind, haben sich folgende Symbole bewährt:

Rechtes Ohr: rot
Linkes Ohr: blau

	rechts	links
Luftleitung	○—○	×—×
Knochenleitung	>.....>	<.....<

• **Reihenfolge der Schwellenbestimmung.** Bei der Hörschwellenbestimmung sollte stets zuerst die Luftleitungshörschwelle des besseren Ohres, anschließend die der Gegenseite geprüft werden. Dann werden die Hörschwellen über Knochenleitung festgestellt.

• **Ermittlung der Hörschwelle.** Dem Patienten wird zunächst über Kopfhörer (= Luftleitung) für kurze Zeit ein Ton von 1000 Hz so laut angeboten, daß er auch wirklich gehört wird. Anschließend wird auch bei 2000, 4000, 8000, dann nochmals bei 1000, sowie 500, 250 und 125 Hz getestet, bei welcher Lautstärke der Patient den aus dem Leisen, Unhörbaren kommenden Ton gerade hört. Die Kopfhörer werden dann durch die Knochenleitungshörer ersetzt, und es folgt das gleiche Vorgehen wie bei der Bestimmung der Luftleitungshörschwelle.

Die Dauer der einzelnen Prüftöne darf 0,5 sec nicht überschreiten und 3 sec nicht überschreiten. Deshalb sind Impulstöne von Vorteil.

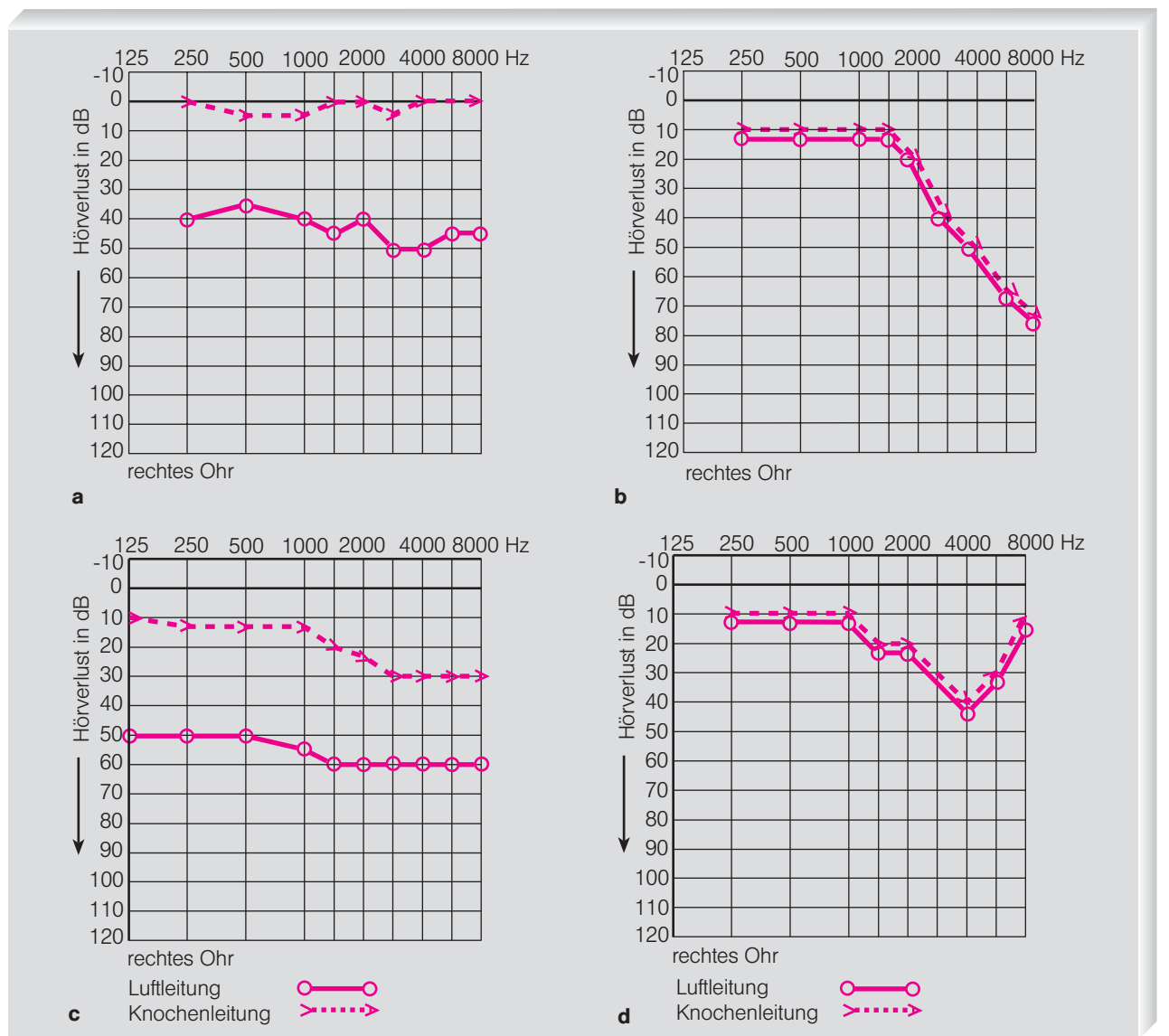


Abb. 26: Verschiedene Formen von Schwerhörigkeit im Tonaudiogramm

- a** Schalleitungsschwerhörigkeit
- b** sensorineurale Schwerhörigkeit mit Hochtonverlust (Schallempfindungsschwerhörigkeit)
- c** kombinierte Schwerhörigkeit
- d** c⁵-Senke (Innenohrschwerhörigkeit) als Symptom eines akustischen Traumas

4.4.5 Überhören und Vertäuben

- **Überhören.** Als »Überhören« wird bei der Erstellung eines Tonaudiogramms das meist unerwünschte Hören des Prüfreizes auf dem Gegenohr bezeichnet. Dabei ist zu beachten:
 - Überhören erfolgt immer über Knochenleitung, unabhängig davon, ob der Prüfschall über Luft- oder Knochenleitungshörer angeboten wurde.
 - Der Prüftone gelangt bei Verwendung von Knochenleitungshörern mit einem Verlust von 0 bis 15 dB, bei Verwendung von Luftleitungshörern mit Verlust von 40 bis 50 dB auf das Innenohr der Gegenseite.
 - Entscheidend dafür, ob der Ton auf dem Gegenohr überhaupt wahrgenommen wird, ist einzig die Innenohrfunktion dieses Ohres. Reicht die Intensität des übergeleiteten Tones nicht aus, um die Knochenleitungs-

4.4.5 Überhören und Vertäuben

- **Überhören**
Das unerwünschte Hören des Prüfreizes auf dem Gegenohr wird als »Überhören« bezeichnet. Es erfolgt immer über Knochenleitung. Dabei kann der Prüftone immer nur auf dem Ohr mit der besseren Innenohrfunktion übergehört werden.

- **Vertäuben**

Zum Vermeiden des »Überhörens« auf dem Gegenohr muß vertäubt werden.

Merke ►

Wir kennen **zwei Verfahren zur Vertäubung in der Tonaudiometrie: Gleitende Vertäubung**

Pegelgleiche Vertäubung

Die Grenzen der Vertäubung sind:

- maximale Schalleitungsschwerhörigkeit (etwa 50 dB),
- begrenzte Leistungsfähigkeit des Audiometers,
- eingeschränkte Kooperationsfähigkeit (u.a. Kinder).

4.4.6 Sprachaudiometrie

Grundlage jeder sprachaudiometrischen Beurteilung ist die Tonaudiometrie.

Prinzip

Für die Sprachaudiometrie verwendet man Zahlenreihen oder einsilbige Testwörter, die über Kassettenrekorder oder von CD-Aufnahmen abgespielt werden. Dabei wird die Lautstärke schrittweise erhöht.

Merke ►

Freiburger Sprachtest

Der Freiburger Sprachtest besteht aus zwei Teilen: dem **Zahlentest** und dem **Einsilbertest**.

schwelle dieses Ohres zu überschreiten, kann der Ton nicht übergehört werden.

- Der Prüftton kann immer nur auf dem Ohr mit der besseren Innenohrfunktion übergehört werden.

- **Vertäuben.** Um ein Überhören des Prüfreizes auf dem Gegenohr zu vermeiden, muß man es vertäuben. Dabei wird die Hörschwelle des Gegenohres durch Anbieten eines Geräusches verschlechtert. Die Zufuhr des Geräusches erfolgt über Luftleitungshörer.

In der Tonaudiometrie werden vorwiegend schmalbandige Geräusche eingesetzt, deren Mittelfrequenz entsprechend der Prüffrequenz geändert wird. Zur Verdeckung breitbandiger Prüfreize, wie z.B. Sprache, müssen breitbandige Geräusche verwendet werden.

Merke. Bei Schalleitungsschwerhörigkeiten muß ab 50 dB und bei der Knochenleitungshörprüfung bereits bei 0 dB vertäubt werden.

In der Tonaudiometrie werden **zwei Verfahren zum Vertäuben** unterschieden: Bei der **gleitenden Vertäubung** wird am besseren Ohr in Stufen von 10 dB die Lautstärke des Vertäubungsgeräusches erhöht. Bleibt die Schwelle des Gegenohres unverändert, so stellt sie bereits die Hörschwelle des Prüfohres dar. Der Ton muß auf dem geprüften Ohr dann nicht lauter eingestellt werden, damit der Patient ihn hört. Sinkt die Schwelle des Gegenohres ab und erreicht bei einer bestimmten Lautstärke ein Plateau, dann stellt die Lautstärke des Plateaus die Hörschwelle des Prüfohres dar. Der Ton auf dem geprüften Ohr muß dann bis zu einem bestimmten Wert immer lauter eingestellt werden, damit er gehört wird.

Bei der **pegelgleichen Vertäubung** wird am besseren Ohr das Vertäubungsgeräusch mit derselben Lautstärke angeboten, bei dem die Tonhörschwelle über Luftleitung am schlechteren Gegenohr liegt. Wieder bestimmt man die Tonhörschwelle. Bleibt diese gleich, bedeutet dies, daß sie der Hörschwelle des Prüfohres entspricht. Sinkt sie auf einen neuen Wert ab, so kann sie erst dann als Hörschwelle des Prüfohres angesehen werden, wenn sie trotz weiterer Erhöhung des Vertäubungsgeräusches konstant bleibt.

Die **Grenzen der Vertäubung** sind unter folgenden Voraussetzungen erreicht:

- maximale Schalleitungskomponente beidseits (etwa 50 dB)
- Begrenzung des Geräusches von seiten der Leistungsfähigkeit des Gerätes
- Kinder und Personen mit eingeschränkter Kooperationsfähigkeit

4.4.6 Sprachaudiometrie

Voraussetzung jeder sprachaudiometrischen Beurteilung ist die Tonaudiometrie. Die Sprachaudiometrie gestattet Aussagen über die Verarbeitung der im täglichen Leben auftretenden auditiven Informationen, besonders der Sprache.

Prinzip. Über Kopfhörer oder Lautsprecher (im »freien Schallfeld«) werden von Kassettenrekordern bzw. Compact-Disc-Aufnahmen Zahlenreihen und phonetisch ausbalancierte, einsilbige Testwörter oder Testsätze abgespielt. Dabei ist die Lautstärke anfangs gering und wird von Testreihe zu Testreihe erhöht. Die Anwendung der CD-Technik in der Sprachaudiometrie bedeutet eine Vereinfachung der Untersuchung.

Merke. Die sprachaudiometrischen Tests werden danach bewertet, wieviele der angebotenen Wörter oder Sätze der Patient über Kopfhörer (monaural) oder Lautsprecher (binaural) im freien Schallfeld richtig gehört hat.

Freiburger Sprachtest. Dieser Test ist die am häufigsten verwendete Hörprüfung mit Sprache im deutschsprachigen Raum. Das Testmaterial besteht aus zwei Teilen, dem **Zahlentest** und dem **Einsilbertest**.

- **Prüfung des Hörverlustes für Zahlen (Zahlentest).** Als Testwörter dienen mehrsilbige Zahlen (z.B. »98«), von denen 50% verstanden werden müssen. Dabei wird die Frage beantwortet, wieviel lauter dem Patienten im Vergleich zum Normalhörenden Sprache angeboten werden muß, damit er sie versteht.
- **Prüfung der Sprachverständlichkeit (Einsilbertest).** Als Prüfwörter dienen Einsilber, wie z.B. »Ring«. Eine Erhöhung der Lautstärke muß nicht unbedingt eine Verbesserung des Diskriminationsvermögens bewirken.

- Eine Prüfung des Hörverlustes für Sprache ist mit dem **Zahlentest** möglich.
- Eine Prüfung der **Sprachverständlichkeit** ist mit Hilfe des **Einsilbertests** möglich.

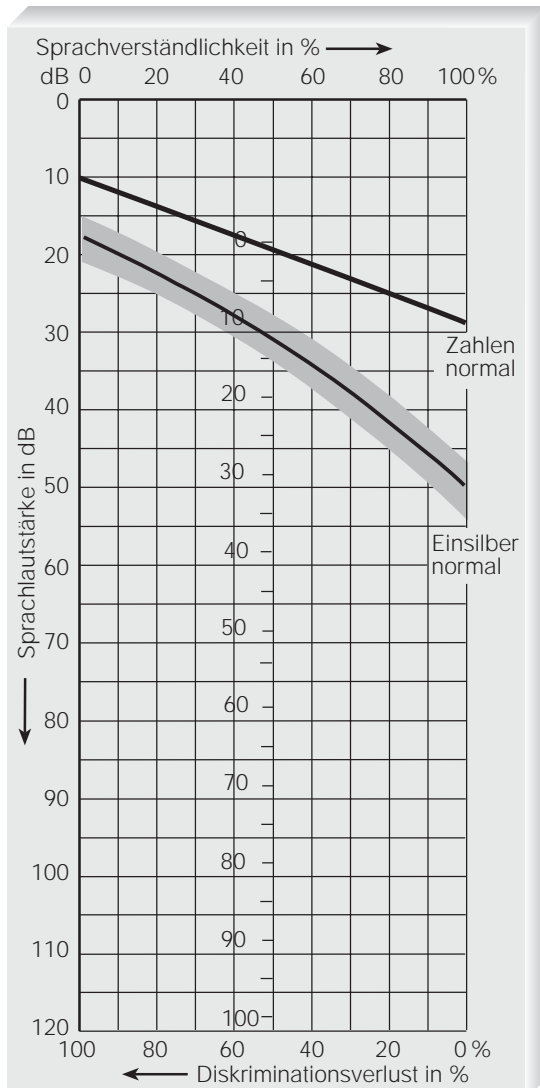


Abb. 27: Sprachaudiogramm. Die eingezeichneten Kurven sind die Normalwerte für Zahlen und Einsilber.

Die Ergebnisse des Zahlen- und Einsilbertests werden in ein Formular mit zwei Bezugskurven eingetragen (siehe Abbildung 27). Sie stellen die Abhängigkeit der Zahlen- bzw. Einsilberverständlichkeit vom Sprachschallpegel für **Normalhörende** dar. Zusätzlich ist bei 50% Verständlichkeit eine der Schallpegelskala parallele Hilfsskala eingezeichnet. Ihr Nullpunkt liegt bei 18,5 dB, genau jenem Pegel, bei dem Normalhörende 50% der Zahlen verstehen. Damit geben die Zahlenwerte auf dieser Skala direkt den Hörverlust für Sprache in dB an. Der ermittelte Wert sollte mit dem Hörverlust im Tonaudiogramm zwischen 500 und 1000 Hz übereinstimmen.

Merke. Das Sprachaudiogramm erlaubt eine **Kontrolle des Tonschwellenaudiogramms.**

Die Ergebnisse des Zahlen- und Einsilbertests werden in ein Formular eingetragen (s. Abb. 27).

Bei 18,5 dB verstehen **Normalhörende** 50% der Zahlen. Die Zahlenwerte auf der Skala geben direkt den Hörverlust für Sprache in dB an.

◀ **Merke**

- **Maximale Sprachverständlichkeit**

Sie beträgt beim normal Hörenden 100%. Sie wird mit Hilfe des Einsilbertests geprüft.

- **Gesamtwortverstehen**

Der Gesamtwert der getrennten Beurteilung der Sprachschallpegel bei 60, 80 und 100 dB der maximalen Sprachverständlichkeit.

Ergebnisse und Auswertung

(s. Tab. 5; Abb. 28a, b).

- **Maximale Sprachverständlichkeit (Diskrimination).** Zusätzlich gilt es, die maximale Sprachverständlichkeit zu bestimmen. Dies gelingt mit Hilfe des Einsilbertests. Eine Sprachverständlichkeit von 100% ist als Normalwert anzusehen (d.h. der minimale Diskriminationsverlust beträgt 0%).

- **Gesamtwortverstehen.** Dieses errechnet sich aus der Summe der bei den Sprachschallpegeln 60, 80 und 100 dB sprachaudiometrisch gemessenen prozentualen Werte der maximalen Sprachverständlichkeit (des Einsilberversständnisses). Es wird besonders zur Begutachtung Hörgeschädigter eingesetzt.

Ergebnisse und Auswertung sind aus *Tabelle 5* und *Abbildung 28a,b* zu ersehen.

Tabelle 5: Sprachaudiometrische Resultate bei Schwerhörigkeit

Zahlentest:	<ul style="list-style-type: none"> • Verschiebung der Zahlenkurve auf der Linie der 50%igen Verständlichkeit. Das Ausmaß der Verschiebung ergibt den Hörverlust für Sprache in dB
Einsilbertest:	<ul style="list-style-type: none"> • maximale Sprachverständlichkeit (Diskrimination). Dabei wird die Verständlichkeit für Sprache in % beschrieben (100% sind normal). • Gesamtwortverstehen. Der Gesamtwert der getrennten Beurteilung der maximalen Sprachverständlichkeit bei 60, 80 und 100 dB ergibt das Gesamtwortverständnis.

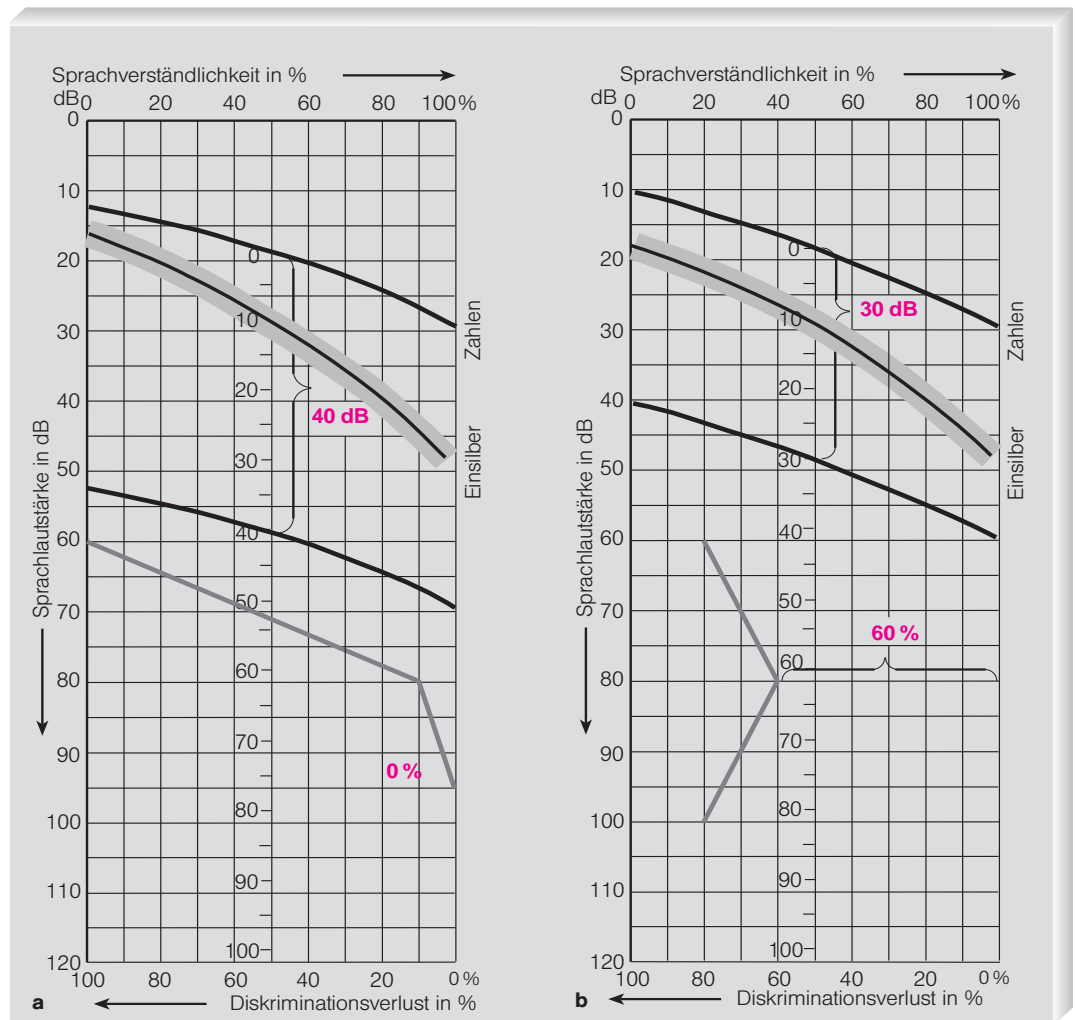


Abb. 28: Sprachaudiogramm

a Schalleitungsschwerhörigkeit. Hörverlust für Sprache beträgt 40 dB (= Zahlentest). Die maximale Sprachverständlichkeit beträgt 100%, d. h. es besteht ein Diskriminationsverlust von 0% (Einsilbertest).

b Sensorineurale Schwerhörigkeit (Schallempfindungsschwerhörigkeit). Der Hörverlust für Sprache beträgt 30 dB (= Zahlentest). Die maximale Sprachverständlichkeit wird bei 40% erreicht, d. h. es besteht ein Diskriminationsverlust von 60%

4.4.7 Überschwellige Audiometrie

Bei einer **Schalleitungsschwerhörigkeit** liegen die Zahlenkurve und die Testwörterkurve parallel zu den Kurven für Normalhörende. Allerdings sind sie entsprechend dem Hörverlust nach den großen Lautstärken verschoben (*Abbildung 28a*).

Schallempfindungsschwerhörigkeiten (sensorineurale Schwerhörigkeiten) führen ebenfalls zu einem Hörverlust für Zahlen, der jedoch einen Bezug zum Sitz der Hörstörung im Tonschwellenaudiogramm zeigt. Die Einsilberverständlichkeit und damit die Darstellung der maximalen Sprachverständlichkeit und des Gesamtwortverstehens sind wesentlich verschieden von den Ergebnissen bei Normalhörenden und bei Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit. Dabei kann der Patient bei einer bestimmten Lautstärke eine 100%ige Einsilberverständlichkeit erreichen, oder es besteht ein Sprachverständlichkeitsverlust für Einsilber in Prozent (*Abbildung 28b*).

Marburger Satztest. Die Sprachaudiometrie mit kurzen Sätzen wird hauptsächlich für die **Anpassung von Hörgeräten** angewendet. Zum Marburger Satztest gehören zehn phonetisch ausbalancierte Gruppen zu je zehn Kurzsätzen.

Je nach Fragestellung werden beide Ohren nacheinander über Kopfhörer oder gleichzeitig im freien Schallfeld über Lautsprecher gepüft. Dieses Verfahren kommt der sprachlichen Wirklichkeit wesentlich näher als der Freiburger Sprachtest. Die Ergebnisse werden wie beim Freiburger Sprachtest in ein Audiogrammformular eingetragen.

Reimtest nach Sotschek. Der Reimtest stellt wie der Freiburger Einsilbertest und der Marburger Satztest eine **Sprachverständlichkeitsprüfung** mit Wörtern dar. Der Patient muß aus dem ihm im Test vorgegebenen Wörternvorrat jenes Wort angeben, welches er gehört zu haben glaubt. Das Reim-Test-Verfahren ist ein Multiple-choice-Verfahren, wobei der Patient nicht unbedingt die deutsche Sprache komplett beherrschen muß. Es wird nicht das sinngemäße Verstehen eines Wortes, wie es bei den üblichen Sprachtests die Regel ist, gefordert.

Hauptanwendungsbereiche der Sprachaudiometrie. Die Hauptanwendungsbereiche der Sprachaudiometrie sind Fragestellungen, bei denen die Sprachverständlichkeit im Mittelpunkt steht (*siehe Tabelle 6*).

Tabelle 6: Anwendungsbereiche der Sprachaudiometrie

- Abklärung von Schalleitungsschwerhörigkeiten
- Abklärung von Schallempfindungsschwerhörigkeiten (sensorineuralen Schwerhörigkeiten)
- Hörgeräteanpassung
- Abklärung bei Aggravation, Simulation
- Überprüfung des Reintonschwellenaudiogramms
- Kinderaudiometrie

Merke. Es hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, daß es nicht möglich ist, ein universelles Sprachtestmaterial für alle Fragestellungen und Patienten zu entwickeln. Vielmehr werden spezielle Sprachtests für unterschiedliche Fragestellungen wie Diagnostik, Anpassung von Hörgeräten, Begutachtung, Cochlea-Implantate sowie differenziertes Vorgehen im Kindesalter eingesetzt.

4.4.7 Überschwellige Audiometrie

Hörschädigungen bewirken nicht nur eine Veränderung der **Tonhörschwelle**. Gestört sind u.a. auch alle auditiven Stimuli (Sprache, Musik bzw. Töne, Geräusch), die **über der eigentlichen Hörschwelle** liegen. Dann sind psychakustische Phänomene wie Hörfeld, Lautstärke, Lautheit und Intensitätsunterschiedsschwelle betroffen. Veränderungen dieser Phänomene bei Hörstörungen aufzuzeigen, ist Ziel der überschwelligen Hörprüfverfahren. »**Überschwellig**«

Bei **Schalleitungsschwerhörigkeit** entstehen Kurven, die parallel zu den Normalkurven liegen, aber zu großen Lautstärken verschoben sind (*Abb. 28a*).

Bei **Schallempfindungsschwerhörigkeiten** zeigt der Hörverlust für Zahlen einen Bezug zum Tonschwellenaudiogramm. Die maximale Sprachverständlichkeit für Einsilber kann mit 100% normal sein oder es besteht eine Reduzierung bei einer Hörstörung (*Abb. 28*).

Marburger Satztest

Er dient hauptsächlich der **Hörgeräteanpassung**, weil er sich der sprachlichen Wirklichkeit sehr annähert. Der Marburger Satztest wird mit Gruppen von Kurzsätzen durchgeführt.

Reimtest nach Sotschek

Bei diesem Test handelt es sich um eine **Sprachverständlichkeitsprüfung**. Der Patient muß nicht unbedingt die deutsche Sprache komplett beherrschen.

Hauptanwendungsbereiche der Sprachaudiometrie

Fragestellungen, bei denen die Sprachverständlichkeit im Mittelpunkt steht (*s. Tab. 6*).

◀ Merke

4.4.7 Überschwellige Audiometrie

Hörschäden bewirken eine Veränderung der **Tonhörschwelle** und aller auditiven Stimuli (Sprache, Musik, Töne etc.), die **über der Hörschwelle** liegen. Dann sind Hörfeld, Lautstärke, Lautheit und Intensitätsunterschiedsschwelle betroffen.

Ziel der überschwelligeren Audiometrie ist es, diese Phänomene bei Hörstörungen aufzuzeigen. Es wird eine Differentialdiagnose von **cochleären**, **retrocochleären** bzw. **neuralem** und **zentralen** Hörstörungen angestrebt. Die Impedanzmessung und Prüfung mit akustisch evozierten Potentialen ersetzen die überschwelligeren Hörprüfmethoden zum Teil (s. S. 75).

Das **Recruitment** und die **Hörermüdung** sind wichtige Grundbegriffe.

Recruitment (Lautheitsausgleich)

Ein **positives Recruitment** besteht bei **Innenohrschwerhörigkeit**. Die Lautstärkeempfindung bleibt auch bei großen Reizstärken im Vergleich zur gesunden Seite unverändert. Ein **negatives Recruitment** wird bei **retrocochleären Hörschädigungen** beobachtet. Hier wird ein überschwelliger Ton lauter angegeben als auf der ohrgesunden Seite, um gleich laut gehört zu werden.

Merke ►

Hörermüdung

Die pathologische Hörermüdung gilt als Beweis für eine neurale Hörschädigung.

Einzelne überschwellige Verfahren

- **Lautheitsausgleich; Fowler-Test**
Die Lautstärkeempfindung bei einseitiger sensorineuraler Schwerhörigkeit wird mit dem besser hörenden Ohr der Gegenseite verglichen.

Der Fowler-Test ist **positiv** bei einer Innenohrschwerhörigkeit, bei der ein Lautheitsausgleich zwischen besserem und schlechterem Ohr erfolgt. Der Test ist **negativ** bei einer neuralen Schwerhörigkeit, bei der kein Lautheitsausgleich erfolgt.

- **Intensitätsunterscheidungsvermögen**

Mit Hilfe des **SISI-Tests** wird das Intensitätsunterscheidungsvermögen geprüft. Hierbei werden mit Hilfe eines Prüftons, der 20 dB über der Hörschwelle liegt, zusätzlich 1 dB Pegeländerungen in Abständen von 5 sec geprüft.

sind dabei alle Prüftöne, die über der Hörschwelle des Patienten liegen, also gehört werden.

Dabei wird versucht, **Innenohrschwerhörigkeiten** (cochleäre Schäden mit Sitz im Corti-Organ bzw. den Haarzellen), **retrocochleäre** bzw. **neurale** Schäden (Hörnervenschädigungen, Sitz im Hörnerv) und **zentrale Schäden** (Sitz oberhalb des Nucleus-cochlearis-Komplexes) voneinander abzugrenzen. Allerdings gewinnen die Impedanzmessung und die elektrische Reaktionsaudiometrie (*siehe Seite 75*) sowie die otoakustischen Emissionen immer mehr an Bedeutung, während die überschwellige Audiometrie ihre früher dominierende Rolle eingebüßt hat.

Zum Verständnis der überschwelligeren Audiometrie ist die Kenntnis einiger Grundbegriffe unerlässlich: dies sind vor allem das **Recruitment** und die **Hörermüdung**.

Recruitment (Lautheitsausgleich). Bei Normalhörenden hängt die Lautheit eines Tones von seiner Lautstärke ab.

Bei **Innenohrschwerhörigkeiten** bleibt trotz Heraufsetzung der Hörschwelle die Lautstärkeempfindung (Lautheit) auch bei großen Reizstärken im Vergleich zur gesunden Seite unverändert. Man spricht von einem **positiven Recruitment**. Ändert sich dagegen die Lautstärkeempfindung bei einer Schallempfindungsschwerhörigkeit, so daß ein überschwelliger Ton lauter angegeben werden muß als auf der gesunden Seite, um gleich laut gehört zu werden, so spricht man von einem **negativen Recruitment**. Es handelt sich dann meist um retrocochleäre **Hörschädigungen**.

Merke. Das Recruitment ist demnach eine Entscheidungshilfe, ob es sich um eine Schädigung der Haarzellen der Cochlea (z.B. bei Lärmschwerhörigkeit) oder um eine Schädigung des Hörnervs (z.B. Akustikusneurinom) handelt.

Hörermüdung. Die Hörermüdung kann definiert werden als Differenz zwischen der Hörschwelle zu Reizbeginn und der am Reizende. Bei einer **neuralem Hörschädigung** tritt die pathologische Hörermüdung in Erscheinung.

Einzelne überschwellige Verfahren

- **Lautheitsausgleich; Fowler-Test.** Hier wird die Lautstärkeempfindung bei einseitiger sensorineuraler Schwerhörigkeit mit dem besser hörenden Ohr der Gegenseite verglichen. Man wählt eine Frequenz, in der die Differenz der Knochenleitungshörschwelle zwischen rechts und links mindestens 20 dB beträgt. Auf dem gesunden Ohr bekommt der Patient einen 10 dB über der Hörschwelle liegenden Ton zu hören.

Am Gegenohr wird der Schallpegel ermittelt, der die gleiche Lautheitsempfindung hervorruft. Anschließend wird bei wechselseitigen Pegelerhöhungen das Verfahren mit größeren Lautstärken fortgesetzt.

Wenn ein positives Recruitment besteht, fällt der **Fowler-Test positiv** aus. Dann liegt eine sensorische Schwerhörigkeit im Corti-Organ (Innenohrschwerhörigkeit) vor. Ist der **Fowler-Test negativ**, besteht eine neurale Schwerhörigkeit, eine Hörnerkrankung. Dann kann man audiometrisch beim Seitenvergleich zwischen schlechtem und besser hörendem Ohr keinen Lautheitsausgleich belegen.

- **Intensitätsunterscheidungsvermögen; SISI-Test (Short Increment Sensitivity Index).** Es wird eine konstante Anzahl von Pegeländerungen (jeweils Erhöhung um 1 dB) angeboten und der vom Patienten wahrgenommene Anteil ermittelt. Geprüft wird 20 dB über der individuellen Hörschwelle bei einer Innenohrschwerhörigkeit von mindestens 40 dB im Frequenzbereich von 1–6 kHz.

Ausführung

In Abständen von 5 sec ändert sich der Pegel des Tones sprunghaft während einer Dauer von 0,2 sec. Insgesamt werden dem Patienten 20 Schritte zu je 1 dB angeboten, ausgewertet wird die Anzahl der wahrgenommenen Sprünge und in Prozent ausgedrückt, wobei ein Sprung 5% entspricht.

Merke. Patienten mit einer Innenohrschwerhörigkeit empfinden fast alle oder alle Lautstärkeerhöhungen (60–100%). Hier ist der **Test positiv**, Hörnervschwerhörige (neurale Schwerhörigkeit) registrieren keine oder nur wenige Lautstärkeerhöhungen (0–15%). Dann spricht man von einem **negativen SISI-Test**.

• **Hörfeldmessung.** Die Hörfeldmessung, ein psychoakustisches Verfahren, beruht auf einer Bestimmung des subjektiven Lautheitsempfindens über das gesamte Hörfeld. Die Skalierung gibt hierbei einen Aufschluß über die Hörschwelle, die Unbehaglichkeitsschwelle und den Bereich des angenehmen Hörens. Dieses Verfahren ermöglicht einen Recruitment-Nachweis sowie die Feststellung des nutzbaren Dynamikbereiches. Die Hörfeldmessung findet zunehmend Eingang in die subjektive Audiometrie und wird vorwiegend bei der Anpassung von Hörgeräten und Cochlea-Implantaten eingesetzt.

Vorgehen

Dem Patienten werden mit Hilfe einer Freifeldmessung akustische Reize (Schmalbandgeräusche) mit einem unterschiedlichen Pegel und definierter Lautheit bei 500, 1000, 2000 und 4000 Hz angeboten. Der Patient soll hierbei die subjektive Lautheit beurteilen. Die Lautstärkenangaben rangieren zwischen »nicht gehört, sehr leise, leise, mittellaut, laut, sehr laut und zu laut«. Diese Begriffe sind auf einer Skalierung notiert und werden am Testende frequenzspezifisch ausgewertet.

Merke. Im Gegensatz zur Bestimmung der beiden Grenzwerte Hörschwelle und Unbehaglichkeitsschwelle liefert die Hörfeldmessung (Lautheitsskalierung) Informationen im gesamten Dynamikbereich.

Verdeckung

- **Geräuschaudiometrie nach Langenbeck.** Es handelt sich um einen monauralen Test. Hier wird die Mithörschwelle des Patienten, also die Hörschwelle für Töne bei gleichzeitigem Geräusch, am gleichen Ohr über Kopfhörer geprüft. Dabei wird festgestellt, ob der Prüftön im Niveau des benutzten Geräusches gehört wird oder ob er nicht gehört wird. Grundsätzlich ist der Test bei Senkenbildung im tonaudiometrischen Kurvenverlauf möglich (z. B. Hochtonsenke). Zwei unterschiedliche Verlaufsformen für sensorineurale Schäden sind zu beobachten:
- Die Mithörschwellen verlaufen wie beim Normalhörenden und münden in die Hörschwelle des Patienten, an der diese einen entsprechenden Verlust aufweist. Es handelt sich um eine **Innenohrschwerhörigkeit**.
- Die Mithörschwellen münden nicht in die Hörschwellen des Patienten ein. Die **Verdeckungswirkung** des Geräusches ist wesentlich größer, als aufgrund seines Spektrums und Pegels zu erwarten ist. Dieses Abweichen wird als Ausdruck eines **neuralem Schadens** gewertet.

Hörermüdung

Die pathologische Hörermüdung ist ein Zeichen einer **retrocochleären Hörschädigung** und kann mit verschiedenen Verfahren nachgewiesen werden.

- **Tone-decay-Test.** Der Schwellenschwundtest (**Carhart-Test**) beruht auf einer tonaudiometrischen Erfassung des »Abwanderns« (Erhöhung) der Hörschwelle bei fortgesetzter Belastung des Ohres mit einem Prüftön. Es tritt eine Verschlechterung der Hörschwelle bei pathologischer Hörermüdung ein, wenn der Pegel mehrfach um 5 dB innerhalb einer Minute erhöht werden muß, damit der Patient den Ton wieder hört. Eine sehr rasch ablaufende, unbegrenzte Schwellenabwanderung wird als Schädigung im Bereich des Hörnervs gewertet, wogegen eine allmähliche, jedoch begrenzte Abwanderung als pathologische Adaptation gedeutet wird. Dieser Test kann auch bei normaler Hörfunktion durchgeführt werden.

◀ Merke

• Hörfeldmessung

Als Hörfeld bezeichnet man den Bereich akustischer Reize, den der Mensch ohne Schmerzempfindung wahrnimmt. Mit Hilfe einer Lautheitsskalierung erhält man Informationen im gesamten Dynamikbereich. Das Verfahren wird bei der Anpassung von Hörgeräten und Cochlea-Implantaten eingesetzt.

Vorgehen

Hier wird das subjektive Lautheitsempfinden über das gesamte Hörfeld bei 500, 1000, 2000 und 4000 Hz geprüft.

◀ Merke

Verdeckung

• Geräuschaudiometrie nach Langenbeck

Der Patient erhält gleichzeitig ein Geräusch und einen Ton auf dem gleichen Ohr angeboten. Bei einer **Innenohrschwerhörigkeit** verläuft die Schwelle des angebotenen Tones im Bereich des Geräusches und mündet in die Hörschwelle des Patienten ein. Dagegen verläuft bei einer **neuralem Schwerhörigkeit** die Schwelle des angebotenen Tones unter dem Niveau des benutzten Geräusches (**Verdeckungswirkung**) und weicht an der Hörschwelle aus.

Hörermüdung

Die pathologische Hörermüdung ist ein Symptom einer **retrocochleären Hörschädigung**.

• Tone-decay-Test

Der Schwellenschwundtest (**Carhart-Test**) erfährt das »Abwandern« (Erhöhung) der Hörschwelle bei fortgesetzter Pegelbelastung. Eine rasch ablaufende Schwellenabwanderung bei 5 dB-Schritten innerhalb einer Minute wird als Schädigung im Bereich des Hörnervs gewertet.

• Reflex-decay-Test

Zur Beurteilung wird der M. stapedius über eine Reizdauer von 10 sec geprüft. Falls eine Kontraktion des M. stapedius unter 10 sec liegt, kann eine **Erkrankung des Hörnervs** bestehen.

Merke ►

4.4.8 Impedanzmessung

Begriffsbestimmung

Es wird der Widerstand, d.h. die **Impedanz**, des Mittelohres geprüft. Dagegen wird die Nachgiebigkeit bzw. Beweglichkeit des Systems Trommelfell/Gehörknöchelchen als **Compliance** bezeichnet. Das Trommelfell-Mittelohr-System ist bei einer Fixation »steif«. Dies ist zum Beispiel bei einer Otosklerose der Fall (s. S. 154). Ein »schlaffes« Trommelfell besteht zum Beispiel bei einer Unterbrechung der Gehörknöchelchenkette.

Die Impedanzmessung ist ein **objektives Verfahren** und gestattet eine Beurteilung des Mittelohres und indirekt des Innenohres.

Merke ►

Prinzip und Aufbau des Impedanzmeßgerätes

Die Meßsonde bei der Impedanzmessung enthält drei Schlauchleitungen (s. Syn. 10).

• **Reflex-decay-Test.** Für die Messung wird die Änderung der Kontraktion des M. stapedius während eines Dauerreizes herangezogen. Nachdem die Reflexschwelle des Patienten ermittelt wurde, wird dem Patienten der Ton während einer Dauer von 10 sec mit einem Pegel 10 dB über der Reflexschwelle angeboten. Es kann eine Erkrankung des Hörnervs bestehen, falls die Kontraktion des M. stapedius nicht während der gesamten Reizdauer nachweisbar ist. Als Kriterium für eine pathologische Ermüdung gilt das Absinken der Impedanzänderung auf die Hälfte ihres Ausgangswertes innerhalb von 5 sec bei den Reizfrequenzen 500 und 1000 Hz. Dieses Ergebnis spricht für eine **neurale Schädigung**.

Merke. Für die Topodiagnostik bei Innenohrschwerhörigkeit und retrochleären Hörschädigungen werden anstelle der überschwelligen Audiometrie zunehmend objektive Verfahren (u. a. evozierte otoakustische Emissionen) verwendet.

4.4.8 Impedanzmessung

Begriffsbestimmung. Hier handelt es sich nicht um einen audiometrischen Test vergleichbar der Tonaudiometrie, Sprachaudiometrie oder den überschwelligen Testen. Steht bei diesen das »Hören« im Mittelpunkt, so ist es im Falle der Impedanzmessung der »Widerstand« des Mittelohres.

Als **Impedanz** wird der Widerstand bezeichnet, den das intakte Trommelfell und die abgekoppelte Gehörknöchelchenkette den auftretenden Schallwellen entgegensetzen. Der umgekehrte Begriff ist die **Compliance**, d.h. die Nachgiebigkeit oder Beweglichkeit des Systems Trommelfell/Gehörknöchelchen. Trifft der Schall am Trommelfell auf, so wird ein Teil in das Mittelohr und das Innenohr übertragen. Ein Teil dagegen wird in den äußeren Gehörgang reflektiert. Ist das Trommelfell-Mittelohr-System »steif« (u.a. bei Fixation der Ossikulakette aufgrund einer Otosklerose, vgl. Seite 154), so wird mehr Schall reflektiert und der Energiefluß in das Innenohr verringert. Im Gegensatz dazu kann das Trommelfell auch »schlaff« sein (u.a. bei Unterbrechung der Gehörknöchelchenkette). Dann wird zwar durch den ankommenden Schall das Trommelfell stark in Bewegung versetzt, und es wird viel Schall aufgenommen, jedoch nicht unbedingt auch in das Innenohr weitergeleitet.

Die Impedanzmessung ist eine **objektive Methode** zur Untersuchung des Ohres. In erster Linie wird das Mittelohr beurteilt, indirekt das Innenohr. Die Ergebnisse unterstützen die

- otologische,
- audilogische und
- otoneurologische Diagnostik.

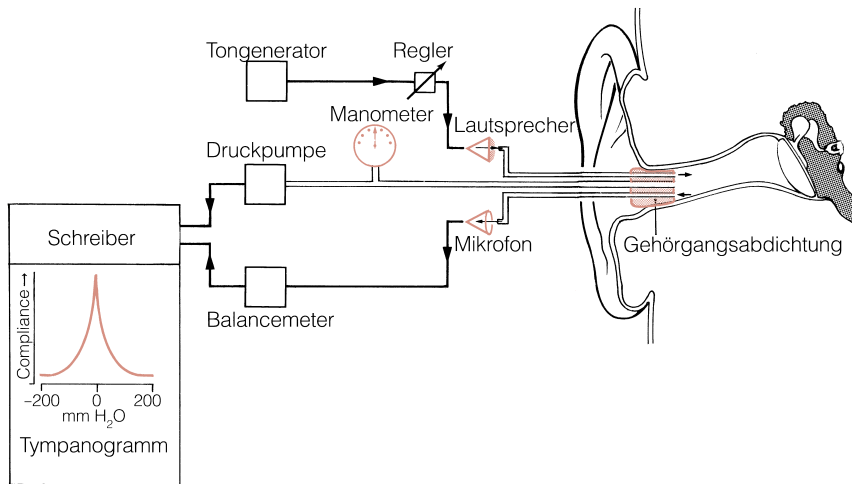
Impedanzmessungen erfordern weder einen schallarmen Raum noch die Mitarbeit des Patienten, was bei nichtkooperativen Patienten oder Kindern von Vorteil ist.

Merke. Vor jeder Impedanzmessung ist eine Inspektion des äußeren Gehörganges erforderlich. Falls Zerumen vorhanden ist, muß es entfernt werden.

Prinzip und Aufbau des Impedanzmeßgerätes. Eine **elektro-akustische Meßbrücke** erlaubt eine Beurteilung der statischen und dynamischen Impedanz. Bei der Impedanzmessung wird der äußere Gehörgang mit einer Meßsonde verschlossen, die drei Schlauchleitungen bzw. Bohrungen enthält (siehe Synopsis 10):

- Eine leitet den Sondenton (220 Hz) in den Gehörgang
- Eine zweite führt von einem Mikrofon den reflektierten Anteil des Sondentons zurück zum Meßinstrument.
- Die dritte Schlauchleitung baut mit Hilfe von Luftdruckveränderungen definierte Unter- und Überdrücke aus.

Synopsis 10: Anordnung für die Impedanzmessung und schematische Darstellung der Tympanometrie



Methoden. Die wichtigsten Verfahren der Impedanzmessung sind die

- **Messung der statischen Impedanz.** Als statische Impedanz wird die im Ruhezustand des Systems vorliegende Eingangsimpedanz bezeichnet, wenn im äußeren Gehörgang Atmosphärendruck herrscht und die Mittelohrmuskeln im Ruhetonus sind.
- **Messung der dynamischen Impedanz.** Darunter versteht man die Messung der Änderung der Eingangsimpedanz bei Änderung des Luftdruckes im äußeren Gehörgang. Die Messung der dynamischen Impedanz gestattet mehrere wichtige Verfahren: die **Tympanometrie**, eine **Tubenfunktionsprüfung** und eine **Stapediusreflexprüfung**.

Tympanometrie

Definition. Die Bestimmung der Impedanzänderung, d.h. des akustischen Widerstandes bei Druckänderung im äußeren Gehörgang, bezeichnet man als Tympanometrie. Das Tympanogramm ist die graphisch registrierte Druck-Compliance-Kurve. Typischerweise stellt sich das Tympanogramm als Glockenkurve dar.

Grundsätzlich geht man davon aus, daß der Mittelohrdruck dem im äußeren Gehörgang entspricht.

Merke. Die Tympanometrie wird als monaurales Verfahren ipsilateral ausgeführt. Hier spielt nur das Sondenohr eine Rolle.

Messung. In den äußeren Gehörgang wird eine Sonde mit drei Schlauchleitungen (siehe Synopsis 10) so eingeführt, daß dieser hermetisch verschlossen ist. Der Luftdruck im Gehörgang wird nun zwischen + 300 daPa (= + 300 mm Wassersäule) und - 300 daPa (= - 300 mm Wassersäule) geändert. Gleichzeitig wird ein 220 Hz Probeton in den Gehörgang abgegeben und die Schallpegeländerung des reflektierten Anteils im äußeren Gehörgang gemessen. Sie ist ein Maß für die Änderung der Compliance. Bei Überdruck ist normalerweise das Trommelfell »schallhärter«, die Compliance somit geringer, der Schalldruck im äußeren Gehörgang groß. Nähert sich der Druck dem Bereich des Atmosphärendruckes, so steigt die Compliance am Trommelfell an, d.h. es wird »schallweicher«, und

Methoden

Verfahren der Impedanzmessung sind:

- **Tympanometrie.** Bewertet die Änderung des Luftdruckes im äußeren Gehörgang.
- **Tubenfunktionsprüfung.**
- **Stapediusreflexprüfung.** Die reflektorische Kontraktion des M. stapedius wird untersucht.

Tympanometrie

◀ Definition

Man geht davon aus, daß der Mittelohrdruck dem im äußeren Gehörgang entspricht.

◀ Merke

Messung

Über eine luftdicht abgeschlossene Sonde wird bei intaktem Trommelfell der Luftdruck im Gehörgang zwischen + 300 daPa und - 300 daPa (= + 300 mm H₂O und - 300 H₂O) geändert. Gleichzeitig wird ein 220 Hz Probeton in den Gehörgang abgegeben. Die Impedanzänderung läßt sich durch die Messung des reflektierten Sondentonschallanteils

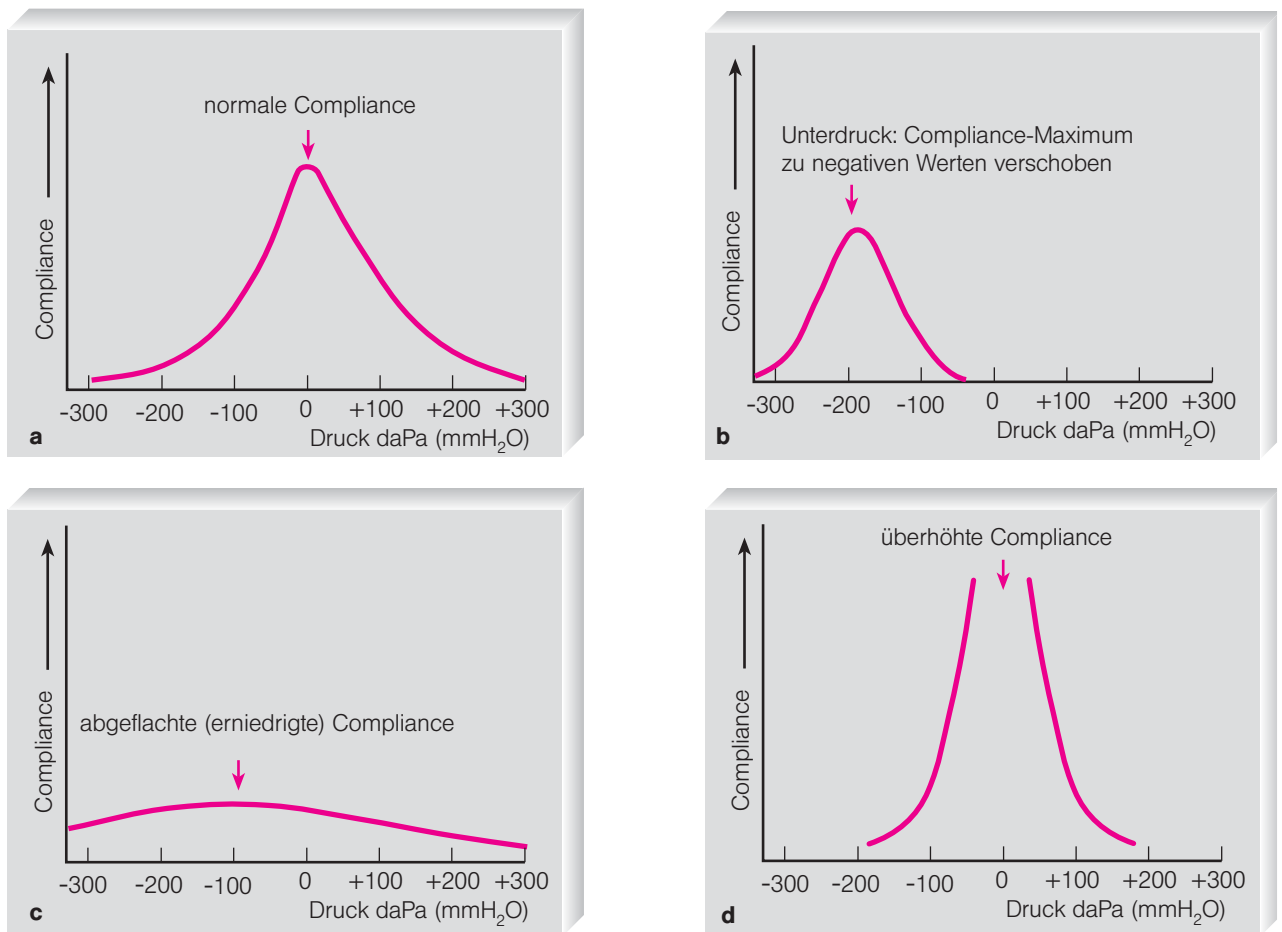


Abb. 29a–d: Tympanogramm und Befunde

a Normales Mittelohr mit typischer Glockenkurve im Tympanogramm. Die horizontale Achse zeigt den statischen Druck zwischen -300 und $+300$ mm Wassersäule. Die vertikale Achse die Nachgiebigkeit (Compliance) des Trommelfells.

b Unterdruck im Mittelohr bei Tubenmittelohrkatarrh. Compliance-Maximum verschiebt sich in Richtung der negativen Druckwerte.

c Seromukotympanon. Ein Compliance-Gipfel kann bei Dämpfung des Trommelfells nicht gemessen werden.

d Unterbrechung der Ossikulakette (z.B. Amboßluxation). Überhöhte Compliance, die Kurvenspitze erscheint infolge Nachgiebigkeit des Trommelfells abgeschnitten.

einer Kurve darstellen, die normalerweise beim Nulldurchgang einen spitzen Gipfel aufweist (=Tympanogramm). Es ergeben sich für die unterschiedlichen Druckverhältnisse typische Kurven (s. Abb. 29a–d).

Tympanometrie und Tubenfunktionsstörung

Valsalva-Versuch

Der Patient preßt bei geschlossenem Mund durch die Tube Luft in das Ohr, während der Untersucher die dadurch bedingte Trommelfellbewegung nach außen beobachtet.

Toynbee-Test

Durch Schlucken bei geschlossener Mund- und Nasenöffnung wird ein Unterdruck in der Pauke mit Einwärtsbewegung des Trommelfells provoziert, wenn die Tube offen ist.

der Schalldruck im äußeren Gehörgang nimmt ab. Bei Unterdruck hingegen wird das Trommelfell wieder »schallhärter«, die Compliance verringert sich, die Schallreflexion und damit der Schalldruck im äußeren Gehörgang steigt an. Dadurch ergeben sich für die unterschiedlichen Luftdruckverhältnisse bei Aufzeichnungen der Impedanz bzw. Compliance typische Kurven (Abbildung 29a–d).

Tympanometrie und Tubenfunktionsprüfung

Zur Prüfung der Funktion der Eustachi-Röhre sind mehrere Tests möglich.

• **Valsalva-Versuch.** Der Patient preßt nach tiefem Einatmen bei geschlossenem Mund und zugehaltener Nase Luft »in die Ohren«. Otoskopisch ist eine Trommelfellbewegung nach außen erkennbar, der Patient hört ein Knackgeräusch. Dies ist die einfachste Methode zur Prüfung der Trommelfellbeweglichkeit. Sie setzt aber die Mitwirkung des Patienten voraus und ist deshalb bei Kindern oft nicht anwendbar.

• **Toynbee-Test.** Während beim Valsalva-Versuch der Druck in der Paukenhöhle erhöht wird, erreicht man bei dem Test nach Toynbee eine Druckverringering. Hierzu muß der Patient bei geschlossener Mund- und Nasenöffnung mehrmalig schlucken. Bei der Otoskopie ist dann eine Bewegung des Trommelfells zur Paukenhöhle hin erkennbar, wenn die Tube offen ist.

Ergebnisse bei geschlossenem Trommelfell. Bei normaler Tubenfunktion soll sich nach dem Test von Valsalva das Maximum der Kurve im Tympanogramm in Richtung Überdruck und nach dem Test von Toynbee in Richtung Unterdruck verschoben haben (*siehe auch Seite 72*).

Vorgehen bei defektem Trommelfell. Bei Trommelfellperforationen kann die Tubenfunktion mit Hilfe des Druckausgleichs, der »Tubenmanometrie«, gemessen werden. Über die luftdicht in den Gehörgang eingeführte Sonde wird mit Hilfe einer Pumpe ein Unterdruck von -200 daPa ($= \text{mm WS}$) im äußeren Gehörgang hergestellt. Dann läßt man den Patienten mehrmals schlucken und gähnen. Bei normaler Tubenfunktion stellt sich dadurch im äußeren Gehörgang, über die Tube und die mit dem Gehörgang in offener Verbindung stehende Paukenhöhle, wieder Atmosphärendruck ein. Diese Druckänderung ist im Tympanogramm ablesbar. Auch ein Entweichen des Druckes trotz abgedichtetem Gehörgang spricht für eine Tubenöffnung. Ändert sich der Druck durch Schlucken und Gähnen nicht, ist dies ein Hinweis auf eine Tubenfunktionsstörung.

• **Tympanometrie und offene Tube.** Neben einer Autophonie (Hören der eigenen Stimme im Ohr, atemsynchrones Ohrgeräusch) kann durch ein Tympanogramm die atemabhängige Impedanzänderung infolge der offenen Tube (*siehe auch Seite 125*) ermittelt werden. Bei Anhalten des Atems zeigt sich ein normales Tympanogramm, das bei Respiration durch Atemzüge in Form von Schlangenlinien überlagert ist.

• **Tympanometrie und Glomustumor des Mittelohres.** Ein Glomustumor führt aufgrund seiner starken Durchblutung zu pulssynchronen Impedanzänderungen und damit zur Aufzeichnung einer Schlangenlinie im Tympanogramm.

Stapediusreflexprüfung

Definition. Bei der Stapediusreflexprüfung liegen die notwendigen Schalldrücke weit über der Hörschwelle. Trifft ein akustischer Reiz mit einer Lautstärke von 70 bis 90 dB SPL über der Hörschwelle auf das Ohr, so wird eine **Kontraktion des M. stapedius im ipsilateralen (beschallten) und im kontralateralen Ohr** ausgelöst. Die beidseitige reflektorische Muskelkontraktion führt zu einer Versteifung der Gehörknöchelchenkette mit Änderung der akustischen Impedanz. Diese wird mit Hilfe der Tympanometrie erfaßt.

Prinzip. Der afferente Schenkel des Reflexbogens wird bestimmt durch äußeres Ohr, Mittelohr, Innenohr und Hörnerv sowie Teile der zentralen Hörbahn bis zum oberen Olivenkomplex. Der efferente Schenkel besteht aus Verbindungen zwischen Hörbahn, Cochleariskern, Fazialiskern und N. facialis. Normalerweise bildet dieser »**akustikofaziale Reflex**« eine geschlossene Schleife. Die Stapediusreflexmessung beruht aus topographisch-anatomischer Sicht auf einem kontralateralen und ipsilateralen akustikofazialen Reflexbogen.

Vorgehen zur Beurteilung des kontra- und ipsilateralen Reflexes.

Bei der **kontralateralen Messung** wird ein Ton mit einer Frequenz von 250 bis 4000 Hz (mindestens vier Prüffrequenzen erforderlich) und einem Schalldruckpegel von 70 bis 90 dB beispielsweise auf das rechte Ohr gegeben und der Stapediusreflex auf dem linken Ohr gemessen. Bei der **ipsilateralen Messung** wird der Stapediusreflex des jeweilig beschallten Ohres bestimmt. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

Beim **kontralateralen Verfahren** mißt man, indem dem **Reizohr** über Kopfhörer eine Reihe von Tonimpulsen zugeführt wird. Jeder folgende Tonimpuls hat eine etwas höhere Lautstärke als der vorhergehende. Im anderen Ohr, dem **Sondenohr** (Registrierohr, Meßohr, Reaktionsohr), wird die Trommelfellimpedanz gemessen.

Ergebnisse bei geschlossenem Trommelfell

Bei dem Test von Valsalva verschiebt sich das Maximum in Richtung Überdruck und nach dem Test von Toynbee in Richtung Unterdruck.

Vorgehen bei defektem Trommelfell

Die »Tubenmanometrie« kann bei perforiertem Trommelfell eingesetzt werden. Mit Hilfe einer Pumpe wird ein Unterdruck im äußeren Gehörgang hergestellt. Fehlt eine Änderung des Drucks durch Schlucken oder Gähnen, ist dieser Befund als Hinweis auf eine Tubenfunktionsstörung zu werten.

Tympanometrie und offene Tube

Die **Autophonie**, das Hören der eigenen Stimme im Ohr und/oder atemsynchrones Ohrgeräusch, kann tympanometrisch zu atemabhängigen Impedanzänderungen führen.

Tympanometrie und Glomustumor des Mittelohres

Tympanometrisch lassen sich pulssynchrone Impedanzänderungen nachweisen.

Stapediusreflexprüfung

◀ Definition

Prinzip

Der »**akustikofaziale Reflexbogen**« besteht aus einem afferenten und efferenten Schenkel. Topographisch-anatomisch kann ein kontralateraler und ipsilateraler akustikofazialer Reflexbogen unterschieden werden.

Vorgehen zur Beurteilung des kontra- und ipsilateralen Reflexes

Es ist eine **kontralaterale und ipsilaterale Reflexprüfung** möglich. Eine Lautstärke von 70–90 dB ist erforderlich, um den Stapediusreflex auszulösen. Bei **kontralateralem Vorgehen** erfolgt eine akustische Reizung über das **Reizohr** und eine Aufzeichnung der akustischen Impedanz des Trommelfells auf dem **Sondenohr**.

Beim **ipsilateralen Vorgehen** sind **Reizohr** und **Sondenohr** identisch.

Ergebnisse

Zum besseren Verständnis sei ein Aufzeichnungsschema dargestellt (s. Abb. 30).

Beim **ipsilateralen Vorgehen** sind **Reizohr** und **Sondenohr** (Registrierrohr) identisch. Ist der Tonimpuls zu leise, ändert sich die Impedanz nicht. Die erste kleine Änderung am Ausschlag des Registrierinstrumentes bei Steigerung der Lautstärke zeigt die Stapediusreflexschwelle an. Aus Sicherheitsgründen wird noch um zwei bis drei Tonimpulse weiter gesteigert. Dabei sollte der Meßausschlag jedesmal größer werden.

Ergebnisse. Zum besseren Verständnis der klinischen Bewertung sei ein Aufzeichnungsschema für die Stapediusreflexprüfung in *Abbildung 30* dargestellt.

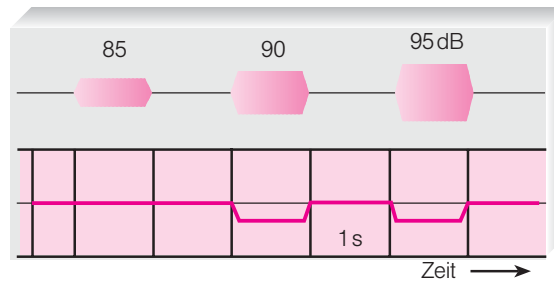


Abb. 30: Stapediusreflexprüfung. Die untere Kurve läßt erkennen, daß der Stapediusreflex ab 90 dB auslösbar ist.

Merke ▶

Merke. Die Ergebnisse der Impedanzmessung können nur unter Berücksichtigung des otoskopischen Befundes, der Ton- und Sprachaudiometrie sowie gegebenenfalls unter Zuhilfenahme der otoakustischen Emissionen und elektrischen Reaktionsaudiometrie (ERA) interpretiert werden. Die Befunde bei der Mittelohrdiagnostik, Innenohrdiagnostik und bei der neuronalen Schwerhörigkeit vermitteln spezielle Befundkonstellationen zur Diagnostik und Differentialdiagnostik otologischer und neurootologischer Erkrankungen.

Tabelle 7: Anwendungsbereiche der Impedanzmessung

- *Funktionsstörungen des Mittelohres und der Tube* (z.B. Schalleitungsschwierigkeiten infolge Seromukotympanon, Otosklerose, Mittelohrmißbildung sowie Tubenkatarrh). Beurteilungen erfolgen mit Hilfe der statischen Compliance, Tympanometrie, akustisch und nichtakustisch ausgelöster Mittelohrmuskelreflexe.
- *Überschwellige Verarbeitung bei sensorineuralen Schwerhörigkeiten.* Anwendung finden akustisch ausgelöste Stapediusreflexe.
- *Neurootologische Fragestellungen* (z.B. Fazialisparese, Kleinhirnbrückenwinkeltumoren, Hirnstammläsionen). Dazu sind akustisch und nichtakustisch ausgelöste Mittelohrmuskelreflexe notwendig.
- *Ermittlung der »Hörschwelle«* bei nichtkooperativen Patienten mit Hilfe des akustischen Reflexes.
- *Screening im Kindesalter.* Erforderlich sind Tympanometrie und eventuell der akustisch ausgelöste Stapediusreflex.
- *Hörgeräteanpassung im Kindesalter* mit Hilfe des akustischen Stapediusreflexes.

Stapediusreflexlatenzzeit. Damit ist die Zeit zwischen akustischer Reizung und Beginn der Änderung des Schallwellenwiderstandes des Trommelfells gemeint. Ihre Messung ermöglicht eine **indirekte Funktionsprüfung des VII. und VIII. Hirnnervs**. Es handelt sich um eine einfache Methodik zur Diagnostik retrocochleärer Hörstörungen. Die Dauer des polysynaptischen Stapediusreflexes liegt in einer Größenordnung von 10 bis 20 msec. Zum Beispiel kann es bei einem **Akustikusneurinom** zur Verlängerung der Latenzzeit kommen.

Stapediusreflexdecay (Stapediusreflexermüdung). In der überschwelligeren Hördiagnostik findet das Absinken des Stapediusreflexes bei anhaltender Beschallung, der sog. Reflexdecay, Anwendung. Dem Patienten werden 10 sec lang die Prüftöne mit einer Lautstärke von 10 dB über der Reflexschwelle angeboten und der zeitliche Verlauf der Compliance-Änderung festgehalten. Zwischen den einzelnen Prüftönen ist eine Pause von 10 sec einzuhalten. Ein Ergebnis wird als pathologisch angesehen, wenn die Compliance-Änderung für die Prüftöne 500 Hz und 1000 Hz innerhalb von 5 sec auf die Hälfte ihres ursprünglichen Wertes sinkt. Dies kann bei Patienten mit neuraler Schwerhörigkeit beobachtet werden (*siehe Seite 70*).

4.4.9 Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA) – akustisch evozierte Potentiale (AEP)

Definition. Wirkt ein akustischer Reiz auf den Menschen ein, so kommt es zu elektrischen Vorgängen in den Sinneszellen des Innenohrs, im Hörnerv und den zentralen Hörbahnen einschließlich der kortikalen Assoziationszentren. Diese Vorgänge führen zu elektrischen Fernfeldern oder Potentialen, die vom Schädel abgeleitet werden können. Man spricht von **akustisch evozierten Potentialen**. Die Methode ist an ein Hörvermögen gebunden, das ausreichend erkennbare Wellen erzeugt. Bei ausgeprägten Hörstörungen (Gehörlosigkeit), die eine Generierung von Aktionspotentialen am Hörnerv nicht mehr zulassen, verliert das Verfahren seine Aussagekraft.

Die Bezeichnung »Elektrische Reaktionsaudiometrie« (ERA, Electric Response Audiometry) dient in der Audiometrie als Überbegriff. Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethode werden **akustisch evozierte Potentiale (AEP)** abgeleitet, die als objektive Meßverfahren weite Verbreitung gefunden haben. Die evozierten Potentiale besitzen eine otologisch-audiologische, ophthalmologische, neurologische, neurochirurgische, psychiatrische und neuropsychologische Bedeutung. Neben den akustisch evozierten Potentialen (AEP) werden visuell evozierte Potentiale (VEP) und sensorisch evozierte Potentiale (SEP) eingesetzt. In der Audiologie werden lediglich akustisch evozierte Potentiale verwendet.

Einteilung der akustisch evozierten Potentiale

Wir können zwischen frühen akustisch evozierten Potentialen (FAEP), Potentialen mittlerer Latenz (MLR) und späten akustisch evozierten Potentialen (SAEP) unterscheiden (*siehe Synopsis II*).

Zur besseren Übersichtlichkeit wird die Zeitachse logarithmisch gewählt. Dies hat zur Folge, daß die später auftretenden Antworten zeitlich geräfft erscheinen, ihr tatsächlicher Verlauf also wesentlich langsamer erfolgt, als die graphische Darstellung erkennen läßt.

Die elektrischen Antworten auf einen akustischen Reiz sind gekennzeichnet durch:

- **Latenzzeit** (ms): Zeit zwischen Reiz und Antwort ist von grundlegender Bedeutung für die Bewertung der akustisch evozierten Potentiale.
- **Amplitude** (μV): Größe der auf den Reiz hin auftretenden Spannung. Dem Amplitudenverhalten kommt nur ein begrenzter Stellenwert zu.

Stapediusreflexlatenzzeit

Zeit zwischen akustischer Reizung und Beginn der Änderung des Schallwellenwiderstandes des Trommelfells. Bei einer retrocochleären Hörstörung, z.B. einem **Akustikusneurinom**, kann eine verlängerte Stapediusreflexlatenzzeit beobachtet werden.

Stapediusreflexdecay (Stapediusreflexermüdung)

Bei neuralen Hörschädigungen kann als Ausdruck einer pathologischen Hörermüdung ein Absinken des Stapediusreflexes bei anhaltender Beschallung gemessen werden. Dabei wird der zeitliche Verlauf der Compliance-Änderung bei einer Prüfdauer von 10 sec und einer Lautstärke von 10 dB über der Reflexschwelle geprüft.

4.4.9 Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA) – akustisch evozierte Potentiale (AEP)

◀ Definition

Die **akustisch evozierten Potentiale (AEP)** stellen ein objektives Meßverfahren mit Hilfe einer computergestützten Auswertung dar. Die Bezeichnung »Elektrische Reaktionsaudiometrie (ERA)« dient in der Audiometrie als Überbegriff für diese Untersuchungsmethode.

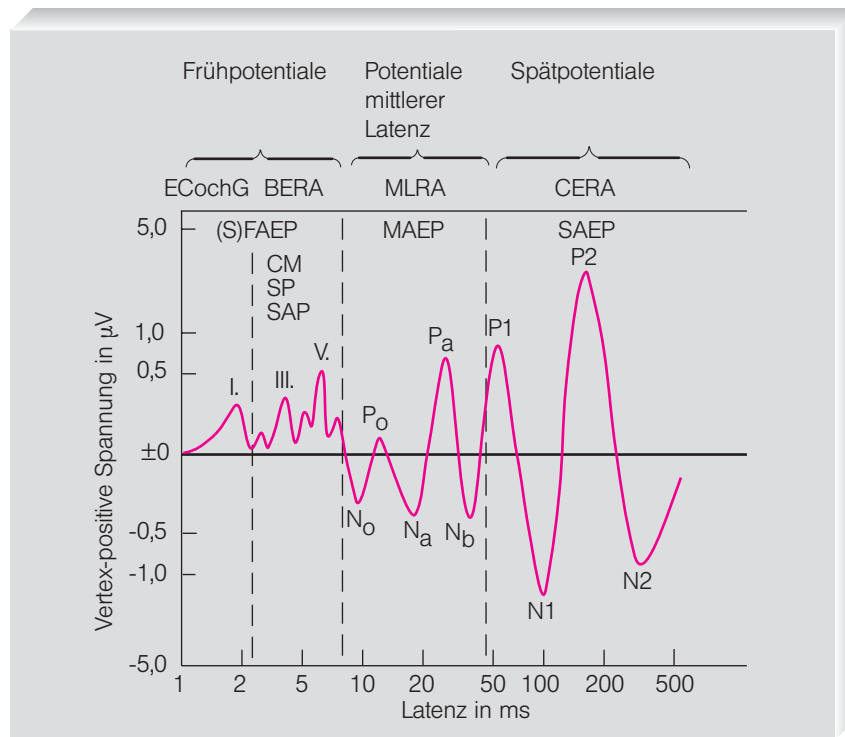
Einteilung der akustisch evozierten Potentiale

Es kann zwischen frühen akustisch evozierten Potentialen (FAEP), Potentialen mittlerer Latenz (MLR) und späten akustisch evozierten Potentialen (SAEP) unterschieden werden (*s. Syn. 11*).

Die elektrischen Antworten auf einen akustischen Reiz sind durch **Latenzzeit** und **Amplitude** gekennzeichnet. Die **Latenzzeit** (ms) ist von grundlegender Bedeutung für die Bewertung der akustisch evozierten Potentiale.

Amplitude (μV): Größe der auf den Reiz hin gemessenen Spannung.

Synopsis 11: ERA-Methoden (oben) und AEP-Gruppen (unten) im Überblick. Amplitude und Latenz sind auf logarithmisch geteilten Achsen aufgetragen. CM, SP und SAP sind entsprechend ihrem zeitlichen Auftreten angezeigt, jedoch nicht dargestellt (nach *Picton et. al.*, modifiziert nach *Hoth und Lenarz*).



ERA = Elektrische Reaktionsaudiometrie (Meßverfahren)

ECochG = Elektrocochleographie

BERA = Hirnstammaudiometrie (»Brainstem Evoked Response Audiometry«)

MLRA = Messung der Antworten mittlerer Latenz (»Middle Latency Response Audiometry«)

CERA = Messung später akustisch evozierter Potentiale (»Cortical Evoked Response Audiometry«)

AEP = Akustisch evozierte Potentiale (Gruppen der physiologischen Phänomene)

SFAEP = Sehr frühe akustisch evozierte Potentiale

FAEP = Frühe akustisch evozierte Potentiale

MAEP = Mittlere akustisch evozierte Potentiale

SAEP = Summenaktionspotential des Hörnervs

Innenohr- und Hörnervenpotentiale

CM = cochleäres Mikrophonpotential

SP = Summationspotential

SAP = Summenaktionspotential des Hörnervs

Nomenklatur der einzelnen Wellen

Die Bezeichnung der einzelnen Wellen ist einheitlich und erfolgt entsprechend ihrer Abfolge mit den Ziffern I, II, III, IV und V. Auch die Bezeichnung JI bis JV, J₁ bis J₅ (J = Jewett) ist gebräuchlich. Die Kennzeichnung der Polarität ist mit N₁ bis N₅ sowie P₁ bis P₆ möglich.

Zuordnung der akustisch evozierten Potentiale nach anatomisch-topographischen Gesichtspunkten

Die Wellen I–V repräsentieren den N. cochlearis, Nucleus cochlearis, die obere Olive und den Colliculus inferior.

Zuordnung der akustisch evozierten Potentiale nach anatomisch-topographischen Gesichtspunkten

- Welle I: ausschließlich distaler Anteil des N. cochlearis
- Welle II: überwiegend proximaler Anteil des N. cochlearis
- Welle III: überwiegend Nucleus cochlearis
- Welle IV: Neurone vorwiegend aus dem Bereich der oberen Olive
- Welle V: Colliculus inferior im Mittelhirnbereich.

Eine abschließende Diskussion über die exakte Zuordnung der Wellen zu definierten Arealen ist noch nicht erreicht.

Zeitliche Zuordnung der akustisch evozierten Potentiale entsprechend ihrer Latenzzeiten

- Frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP): Latenzzeit 0 bis 10 ms
- Mittlere akustisch evozierte Potentiale (MLR): Latenzzeit 10 bis 50 ms
- Späte akustisch evozierte Potentiale (SAEP): Latenzzeit ab ca. 100 ms

Frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP)

Die frühen akustisch evozierten Potentiale (*siehe Abbildung 31a, b*) besitzen eine **hohe klinische Aussagekraft** und haben breite Anwendung gefunden. Zu den frühen Potentialen werden gerechnet:

- cochleäre Mikrofonpotentiale
- Aktionspotentiale des Hörnervs
- Summationspotentiale
- Hirnstammantworten

• **Elektrocochleographie (ECoChG).** Die Ableitung der cochleären Mikrofonpotentiale (CM) der äußeren Haarzellen, Summationspotentiale (SP) und Summenaktionspotentiale (SAP) des distalen VIII. Hirnnervs sowie der SAP alleine wird unter dem Namen Elektrocochleographie zusammengefaßt. Das transtympanale Vorgehen ist invasiv (es wird durch das Trommelfell hindurch eine Nadelelektrode auf das Promontorium aufgesetzt), das extratympanale Vorgehen ist nichtinvasiv. Es wird die Welle I (bis II) dargestellt.

• **Hirnstammaudiometrie (BERA).** Die BERA (Brainstem Evoked Response Audiometry) wertet vor allem die Welle V aus. Hier liegen die Latenzen bei hohem Reizpegel um 5–6 ms. Die Latenzen sind gut bis zur Hörschwelle ableitbar, und die Änderungen der Latenz erlauben Aussagen über Störungen des Mittel- und Innenohres sowie des Hörnervs. Dabei wird über Kopfhörer ein kurzes Knacken, ein Klick, erzeugt. Es erfolgt eine Fernableitung der Potentiale der Hörbahn zwischen Cochlea und dem Hirnstamm über Elektroden der unverletzten Kopfhaut zwischen Vertex und Mastoid/Ohrläppchen. Durch eine reizesynchrone Mittelungstechnik (Averaging) werden die Potentiale von der peripheren Hörbahn (mit Spannung unter einer Million Volt) aus dem EEG (mit größeren Spannungswerten) extrahiert und somit an der Kopfhaut meßbar.

Merke. Die Hirnstammaudiometrie (BERA) besitzt unter den Methoden der akustisch evozierten Potentiale die größte Bedeutung und findet eine breite Anwendung bei zahlreichen klinischen Fragestellungen (siehe unten).

Antworten mittlerer Latenz (MLR, Middle Latency Response)

Als Antworten mittlerer Latenz werden elektrische Aktivitäten bezeichnet, die 10 bis 50 ms nach Einsetzen eines akustischen Reizes abzuleiten sind. Die MLR konnten sich bis jetzt noch nicht in der klinischen Routinediagnostik durchsetzen.

Späte akustisch evozierte Potentiale (SAEP)

Mit einer Latenz ab ca. 100 ms nach Einsetzen eines akustischen Reizes sind von großen Bereichen des menschlichen Schädels Wechselspannungspotentiale abzuleiten. Die späten Antworten sind am besten bei aufmerksamen Versuchspersonen zu erkennen. Interindividuelle Variationen, bedingt durch Alter, Hirnreifung, Aufmerksamkeit usw., erschweren die Beurteilung. Bei Aufmerksamkeitszuwendung können Antworten bis zur Hörschwelle nachgewiesen werden. Da die späten Antworten einerseits frequenzspezifisch, andererseits extrem empfindlich gegenüber Habituation sind (physiologische Gewöhnung des Gehörs nach wiederholter Exposition gegenüber dem auslösenden akustischen Reiz), werden Reize mit einer Dauer von 250 ms verwendet und üblicherweise zwischen Vertex und Mastoid mit der Bezugselektrode zum kontralateralen Mastoid abgeleitet. Ebenso wie die Antworten mittlerer Latenz konnten sich die späten akustisch evozierten Potentiale für die Routinediagnostik nicht durchsetzen.

Merke. Die Voraussetzungen für eine korrekte Bewertung sind eine otologische Beurteilung sowie ein Reintonaudiogramm (im frühen Kindesalter müssen spezielle kinderaudiometrische Verfahren eingesetzt werden).

Zeitliche Zuordnung der akustisch evozierten Potentiale entsprechend ihrer Latenzzeiten

Frühe: 0–10 ms
Mittlere: 10–50 ms
Späte: ab ca. 100 ms

Frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP)

Die frühen akustisch evozierten Potentiale (*s. Abb. 31a, b*) besitzen eine **hohe klinische Aussagekraft**.

Elektrocochleographie (ECoChG)

Dieses Vorgehen wird transtympanal (invasiv) oder extratympanal (nichtinvasiv) verwendet und bringt die Welle I (bis II) zur Darstellung.

Hirnstammaudiometrie (BERA)

Bei diesem Vorgehen kommen die Wellen I–V zur Darstellung, wobei die Welle V von besonderer Bedeutung ist, da sie den Hirnstamm repräsentiert. Es werden Klicks über Kopfhörer angeboten und eine Fernableitung der Potentiale der Hörbahn zwischen Cochlea und dem Hirnstamm über Elektroden von der unverletzten Kopfhaut zwischen Vertex und Mastoid/Ohrläppchen abgeleitet.

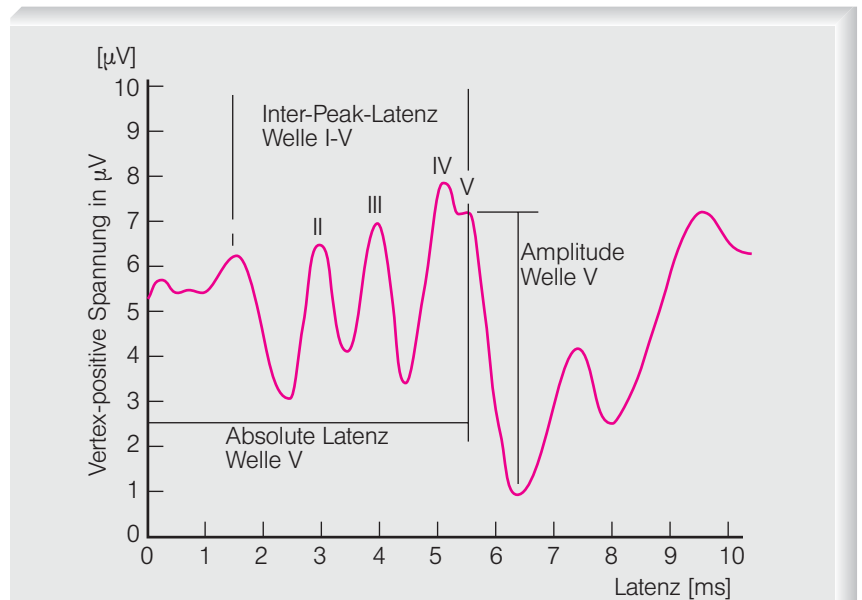
◀ **Merke****Antworten mittlerer Latenz (MLR, Middle Latency Response)**

Dies sind elektrische Aktivitäten, die 10–50 ms nach Einsetzen eines akustischen Reizes abzuleiten sind.

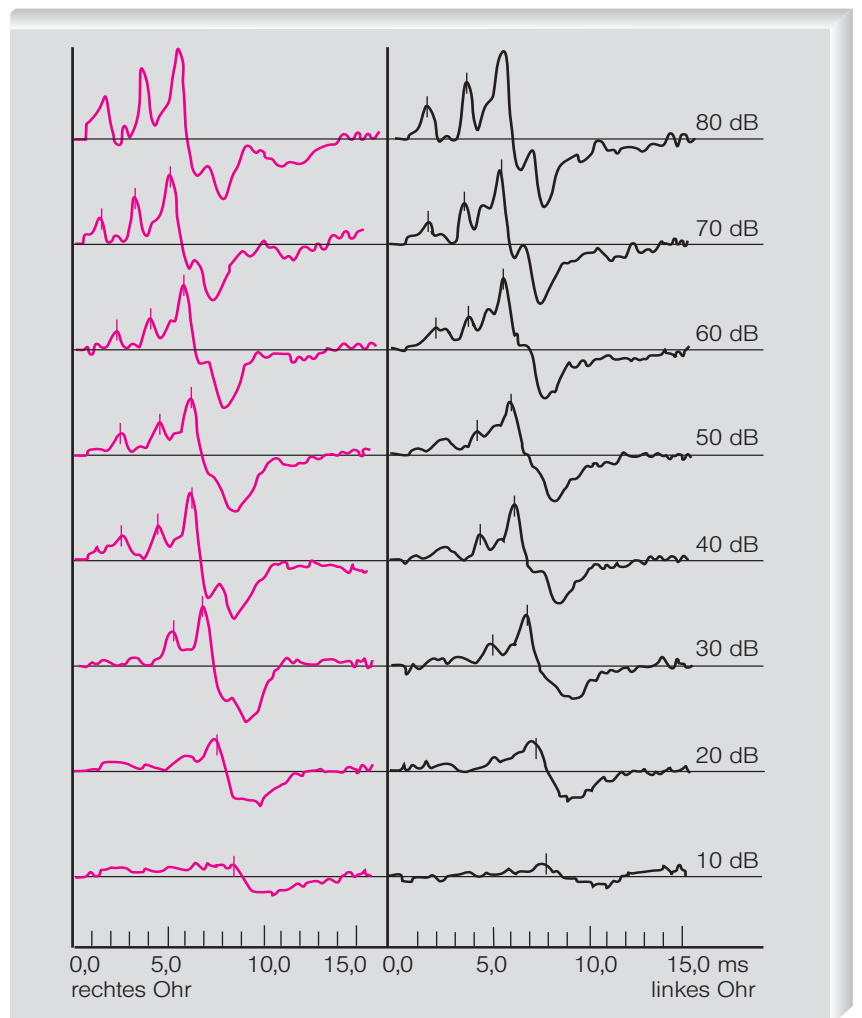
Späte akustisch evozierte Potentiale (SAEP)

Mit einer Latenz ab ca. 100 ms nach akustischem Reiz sind Wechselspannungspotentiale vom menschlichen Schädel ableitbar. Die SAEP sind für frequenzspezifische Aussagen zur Bestimmung der Hörschwelle bedingt geeignet.

◀ **Merke**



a Schematische Darstellung



b Klickevozierte frühe akustische Potentiale eines normalhörenden Probanden

Abb. 31a, b: Frühe akustische Potentiale (FAEP) bei Normalhörigkeit. Die Wellengipfel können orientierend Anteilen der Hörbahn zugeordnet werden. Reiz: Klick.

Hauptsächliche Anwendungsbereiche und klinische Ergebnisse der frühen akustisch evozierten Potentiale

Audiologische Fragestellungen

Hörschwellenbestimmungen. Sie sind notwendig zur

- Hörschwellendiagnostik bei unkooperativen Patienten (Simulation, Aggravation),
- Abklärung von Schalleitungsschwerhörigkeiten, Innenohrschwerhörigkeiten, retrocochleären Hörstörungen und
- Abklärung der Innenohrfunktion bei Vertäubungsproblemen.

Die **Hörschwelle** Normalhörender liegt durchschnittlich zwischen 0 und 30 dB unterhalb des geringsten Reizpegels, bei dem ein Potential nachweisbar ist. Allerdings erlaubt das Fehlen von Aktionspotentialen oder der Welle V auf Klicks keine Aussagen über die Funktion des Gehörs im tiefen Frequenzbereich.

Eine **Differenzierung von Mittelohr Hörverlust, Innenohr Hörverlust mit Hochtonabfall, pancochleärer Hörverlust und Hörnervenschaden** ist mit Hilfe eines **Pegel-Latenz-Diagramms** möglich. Dabei werden die an den Potentialen abgelesenen Latenzen der Welle V in ein Diagramm eingetragen. Eine Schalleitungsschwerhörigkeit führt zu einer Verschiebung der Pegel-Latenz-Funktion aller Komponenten entlang der Intensitätsachse. Um andere latenzverlängernde Befunde auszuschließen, ist eine BERA (Hirnstammaudiometrie) mit Knochenleitungshörer erforderlich. Bei einem pancochleären Hörverlust ist die Kennlinie stärker gekrümmt als im Normalfall. Dagegen ist beim neuralen Hörschaden die Pegel-Latenz-Kennlinie für alle Pegel um den gleichen Zeitbetrag verschoben, welcher der Laufzeitverlängerung über den funktionseingeschränkten Hörnerv entspricht.

Zur Abklärung von Hörstörungen bei **Vertäubungsschwierigkeiten** ist die transtympanale Elektrocochleographie ein sicherer Weg, eine Mittelohrschwerhörigkeit auszuschließen (siehe auch Seite 64, Vertäubung).

- **Päaudiologische Fragestellungen.** Die Hörschwellenbestimmung mit der BERA bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern als Screeningmethode und bei nichtkooperativen Kindern ist neben der Bestimmung der otoakustischen Emissionen (s. u.) ein unersetzbares Verfahren. Die frühen akustisch evozierten Potentiale dienen auch der Ermittlung der **Innenohrfunktion bei Mißbildungen** sowie zur **Vorwahl und Überprüfung individueller Hörgeräte** im frühen Kindesalter.

- **Befunderhebung bei otologischen und neurootologischen Erkrankungen.** Hier gilt es, bei **Gehörlosigkeit, Hörsturz, Morbus Ménière** sowie beim **Akustikusneurinom** und bei **Kleinhirnbrückenwinkeltumoren** gezielt spezielle Befunde zu erheben.

Akustikusneurinom, Kleinhirnbrückenwinkeltumoren. Die Hirnstammaudiometrie ist der zuverlässigste audiometrische Test zur Früherkennung einer retrocochleären Hörstörung infolge eines Akustikusneurinoms bzw. Kleinhirnbrückenwinkeltumors. Selbst bei annähernd normalem Reintonaudiogramm können die frühen akustisch evozierten Potentiale einen retrocochleären Hörschaden, wie z.B. beim Neurinom, aufdecken. Bewertet werden die Latenzzeitdifferenz zwischen Welle I und V und die Morphologie der erhaltenen Kurve, wie Fehlen aller Wellen, Fehlen einiger Wellen und unklare Muster (siehe auch Abbildung 31a und b). Die Diagnosesicherheit wird durch die Verknüpfung von BERA, Elektrocochleographie (s. o.) und Promontoriumstest (s. Cochlea-Implantate) auf ca. 95% gesteigert.

- **Neurologische Fragestellungen.** Im Rahmen der Abklärung neurologischer Fragestellungen gewinnt die ERA zunehmend an Bedeutung. Die FAEP vermitteln, integriert in das gesamte klinische Konzept, wertvolle Hinweise bei **multipler Sklerose, ischämischen Hirnstammläsionen, intraoperativem zerebralem Monitoring** und **Feststellung des Hirntodes**.

Hauptsächliche Anwendungsbereiche und klinische Ergebnisse der FAEP

Audiologische Fragestellungen

Hörschwellenbestimmungen

Bei nichtkooperativen Patienten zur Differenzierung einer schalleitungsbedingten, cochleären oder neuralen Hörschädigung sowie bei Vertäubungsproblemen.

Die **Hörschwelle** Normalhörender liegt zwischen 0 und 30 dB unterhalb des geringsten Reizpegels.

Die **Differenzierung eines mittelohrbedingten, cochleären und retrocochleären Hörverlustes** erfolgt mit Hilfe eines sog. **Pegel-Latenz-Diagramms**. Damit gelingt eine Beschreibung des Hörschwellen- und Latenzverhaltens. Wenn die Grenzen der subjektiven Vertäubungsmöglichkeiten erreicht werden (s. S. 64, Vertäubung), können akustisch evozierte Potentiale zur weiteren Klärung beitragen.

- **Päaudiologische Fragestellungen**

Die **Hörschwellenbestimmung** mit Hilfe von AEP ist, neben der Anwendung von OAE, eine unverzichtbare Methode, um **hörgeschädigte Kinder frühzeitig zu entdecken**.

- **Befunderhebung bei otologischen und neurootologischen Erkrankungen**

Es handelt sich dabei um eine weiterführende Differentialdiagnose bei **Gehörlosigkeit, Hörsturz, Morbus Ménière, Akustikusneurinom bzw. Kleinhirnbrückenwinkeltumor**. Die Hirnstammaudiometrie besitzt unter allen audiometrischen Verfahren die größte Sensitivität bei der Früherkennung eines Akustikusneurinoms.

Neurologische Fragestellungen

Die ERA findet Anwendung bei **multipler Sklerose, ischämischen Hirnstammläsionen, intraoperativem zerebralem Monitoring** und **Feststellung des Hirntodes**.

4.4.10 Otoakustische Emissionen (OAE)

Definition ►

Einteilung

Man unterscheidet **spontane** und **evozierte** otoakustische Emissionen (s. Tab. 8).

Merke ►

Spontane otoakustische Emissionen (SOAE)

Sie treten ohne äußeren, akustischen Reiz auf. Nach jetzigen Kenntnissen haben sie keine klinische Bedeutung.

Evozierte otoakustische Emissionen (EOAE)

Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen

Sie treten bei externer Stimulation mit Hilfe eines Klicks auf. Ihr Nachweis gelingt bei ca. 98 % aller normalhörenden Kindern und Erwachsenen. Bei Hörverlusten von größer als 30 dB sind sie in der Regel nicht mehr nachweisbar (s. Abb. 32b).

Messung

Mit Hilfe einer Sonde (enthält Lautsprecher und Mikrofon) wird der Gehörgang luftdicht abgeschlossen. Nach akustischem Reiz wird mit dem Mikrofon der Schall im äußeren Gehörgang gemessen. Danach wird das Fehlen bzw. Vorhandensein der transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen festgestellt.

4.4.10 Otoakustische Emissionen (OAE)

Definition. Otoakustische Emissionen sind Schalle, die in der Cochlea entstehen, über Mittelohr und Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparat in den äußeren Gehörgang übertragen und dort mit einem empfindlichen Mikrofon gemessen werden können. Sie werden durch normal funktionsfähige, äußere Haarzellen erzeugt und sind Ausdruck eines aktiven, biochemischen Vorgangs im Innenohr.

Einteilung

Man unterscheidet **spontane** otoakustische Emissionen und **evozierte** otoakustische Emissionen (Tabelle 8).

Tabelle 8: Überblick über otoakustische Emissionen

Bezeichnung	Reiz
Spontane otoakustische Emissionen (SOAE)	–
Evozierte otoakustische Emissionen (EOAE)	Klick zwei Töne] ein Ton
• transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE)	
• Distorsionsprodukte (DPOAE)	
• Stimulus-Frequenz-Emissionen (SFOAE) simultan evozierte otoakustische Emissionen (SEOAE)]

Merke. Die TEOAE und DPOAE besitzen den Wert einer audiometrischen Routine-Untersuchung.

Spontane otoakustische Emissionen (SOAE)

Spontane otoakustische Emissionen treten ohne äußeren, akustischen Reiz auf. Sie bestehen zumeist aus schmalbandigen Signalen geringer Intensität (10 bis 20 dB SPL). Sie sind bei ca. 70 % aller hörenden Kinder unter zwei Jahren, aber nur bei ca. 20 % der Normalhörenden über 50 Jahren nachweisbar. Mitunter werden auch bei Hörgestörten SOAE geringer Intensität beobachtet. SOAE hoher Intensität werden in Einzelfällen bei hochgradiger Hörstörung festgestellt. Die klinische Anwendbarkeit dieser Methode ist begrenzt.

Evozierte otoakustische Emissionen (EOAE)

Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE). Sie werden bei externer Stimulation mit einem Klick ausgelöst. TEOAE treten bei ca. 98 % aller normalhörenden Kinder und Erwachsenen auf. Bei Hörverlusten größer als 30 dB sind sie in der Regel nicht mehr nachweisbar (siehe Abbildung 32b).

Die intraindividuelle Schwankungsbreite des zeitlichen Kurvenverlaufs ist bei normaler cochleärer Funktion gering, dagegen ist die interindividuelle Schwankungsbreite groß.

• **Messung.** Ähnlich wie bei der Impedanzmessung (vgl. Seite 70) wird dem Patienten eine Sonde, in die allerdings Lautsprecher und Mikrofon bereits integriert sind, luftdicht in den äußeren Gehörgang eingeführt. Über den Lautsprecher wird der akustische Reiz angeboten, mit dem Mikrofon wird der Schall im äußeren Gehörgang gemessen. Danach wird das Vorhandensein bzw. Fehlen der transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen beurteilt. Dabei werden die Frequenzen von 1 bis 5 kHz erfaßt. Bei Kindern finden sich große Amplituden, der Schwerpunkt liegt bei 3 kHz. Dagegen bestehen bei Erwachsenen kleine Amplituden, der Schwerpunkt findet sich bei 1,5 kHz.

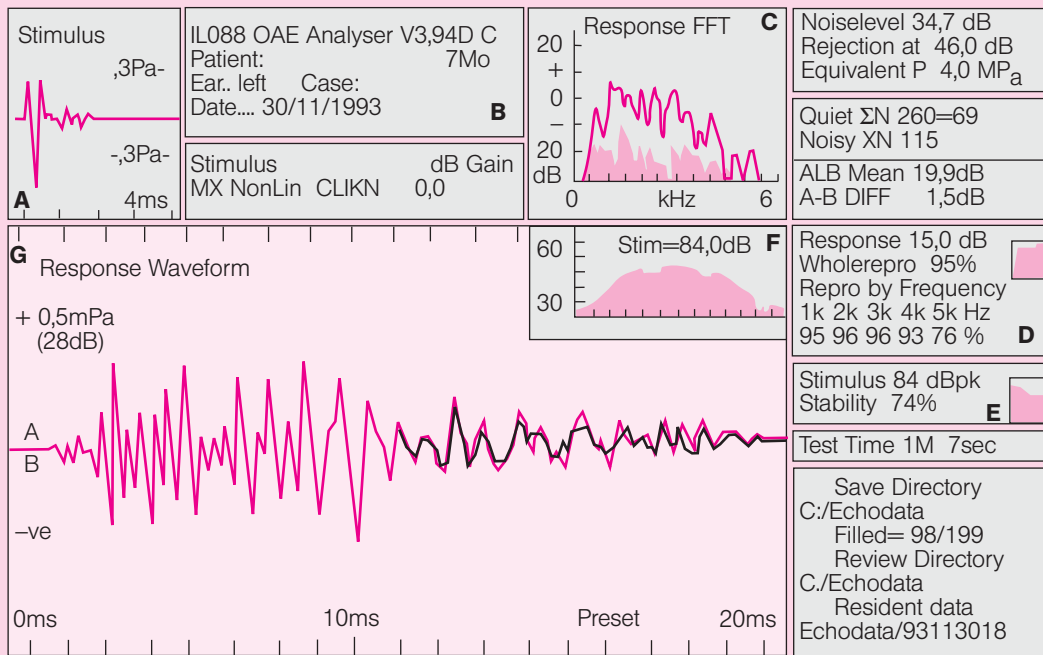
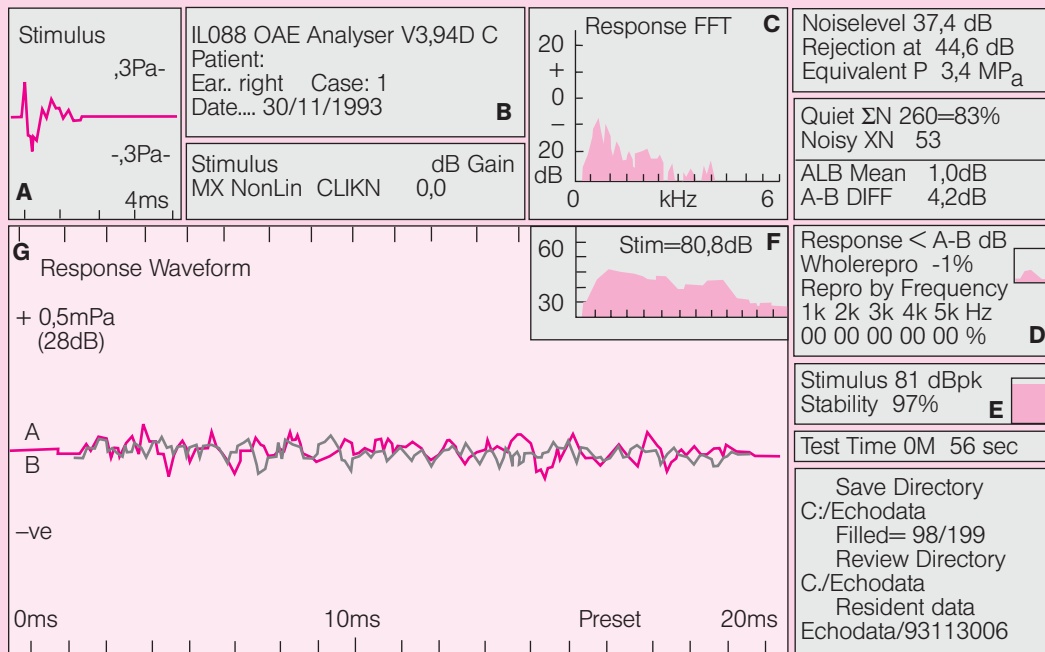


Abb. 32: Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE)

a Normaler Frequenz- und Zeitverlauf bei einem 7 Monate alten Säugling. Abkürzungsschema (modifiziert nach Hauser, Ptok):
A : Intensitäts-Zeit-Relation
B : Patientendaten, Untersuchungsdaten
C : Frequenzspektrum der Reizantwort und Störanteile

D : Zahlenmäßige Aufbereitung des Untersuchungsergebnisses (Reproduzierbarkeit der Antworten beträgt hier 95%)
E : Angaben zum Stimulus
F : Frequenzspektrum des Stimulus (kleines Fenster)
G : Das große Fenster zeigt den Zeitverlauf des Schalldrucks der otoakustischen Emissionen



b 2 1/2-jähriges Kleinkind. Fehlende TEOAE bei Verdacht auf Resthörigkeit (Hirnstammpotentiale nicht ableitbar).

Klinische Anwendungen

Wenn ein mittel- oder innenohrbedingter Hörverlust oberhalb von 30 dB tonaudiometrisch gemessener Hörschwellen auftritt, nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von TEOAE rasch ab.

Merke ►**Nichtinvasive Anwendungsmöglichkeiten der TEOAE:**

- **Screening von frühkindlichen Hörstörungen**
- **Topodiagnostik:** Hinweis auf eine cochleäre Erkrankung bei normaler Mittelohrfunktion. Aussagen über retrocochleäre Störungen sind nicht möglich (s. Abb. 32b).
- **Abklärung der Innenohrfunktion** bei nichtkooperativen Patienten
- Früherkennung von cochleären Schädigungen bei Gabe von **ototoxischen Medikamenten**
- **Seitendifferente Angaben** über die Innenohrfunktion bei Kleinkindern, wenn die Hörschwellenmessung im freien Schallfeld erfolgt.
- **Verlaufskontrolle bei innenohrbedingten Hörstörungen** (u.a. Hörsturz)
- **Schneller Hörtest bei Fremdsprachigen**

Distorsionsprodukte (DPOAE)

DPOAE sind verzerrte otoakustische Emissionen im äußeren Gehörgang, die durch die gleichzeitige Stimulation der Cochlea mit zwei unterschiedlichen Tönen entstehen. Die Frequenz entspricht der Differenz der zwei Tonfrequenzen.

Stimulus-Frequenz-Emissionen (SFOAE)/Simultan evozierte otoakustische Emissionen (SEOAE)
Derzeit besitzen sie keine klinische Bedeutung.

Der Schall im äußeren Gehörgang enthält drei Komponenten:

- die eigentlichen transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen
- Antworten des äußeren Ohres und Mittelohres auf den Reiz selbst
- den im äußeren Gehörgang dauernd vorhandenen Störschall (Atemgeräusch, Störlärm im Raum)

• **Klinische Anwendungen.** Die bisherigen Erfahrungen zeigen, daß die TEOAE nur dann nachweisbar sind, wenn ein mittelohr- oder cochleärbedingter Hörverlust, zumindest bei einem Teil der tonaudiometrisch gewonnenen Frequenzen, weniger als 30 dB beträgt. Oberhalb von 30 dB nimmt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten rasch ab.

Merke. Im Prinzip handelt es sich beim Screening von Neugeborenen, speziell von Risikokindern, um die Anwendung eines Ja-nein-Prinzips. Lassen sich transiente klickevozierte otoakustische Emissionen nicht nachweisen, sind weiterführende kinterauiometrische Untersuchungen (u.a. Tympanometrie, elektrische Reaktionsaudiometrie) erforderlich.

Damit ergeben sich folgende **nichtinvasive Anwendungsmöglichkeiten der TEOAE:**

- **Screening von frühkindlichen Hörstörungen** bei Neugeborenen (ab zweiten bis zum dritten Lebenstag, etwa 30 Minuten nach Nahrungsaufnahme im Spontanschlaf) und Risikokindern im Rahmen einer pädaudiologischen Diagnostik. Sind transitorisch evozierte otoakustische Emissionen nicht nachweisbar, ist eine umfassende Diagnostik erforderlich (siehe Kapitel Pädaudiologie).
- Eine **Topodiagnostik** mit Hilfe der TEOAE (siehe Abbildung 32b) gestattet eine Ergänzung der Impedanzmessung und elektrischen Reaktionsaudiometrie (siehe Seite 70 und 75). Bei normaler Mittelohrfunktion und exakter Meßmethodik ist das Fehlen von TEOAE ein Hinweis auf eine cochleäre Schädigung. Aussagen über retrocochleäre Störungen sind nicht möglich.
- **Abklärung der Innenohrfunktion** bei nicht ausreichend kooperativen Patienten (Mehrfachgeschädigte, psychogene Hörstörungen etc.).
- Bei Therapie mit **ototoxischen Medikamenten** bei Chemotherapie in der Onkologie kann ein Amplitudenverlust der TEOAE vor dem Eintreten eines Hörschadens festgestellt werden (drug-monitoring).
- **Seitendifferente Angaben** über die Innenohrfunktion bei Kleinkindern, wenn die Hörschwellenmessung im freien Schallfeld erfolgt.
- **Verlaufskontrolle bei innenohrbedingten Hörstörungen** (u. a. Hörsturz)
- **Schneller Hörtest bei Fremdsprachigen**

Distorsionsprodukte (DPOAE). Distorsionsprodukte treten als Interferenztöne auf, wenn das Ohr mit zwei Sinusdauertönen unterschiedlicher, jedoch eng benachbarter Frequenz gereizt wird. Bietet man zwei Töne gleichzeitig an, entstehen evozierte otoakustische Emissionen, deren Frequenzen nicht in den Primärtönen enthalten sind, sog. Distorsionsprodukte. Sie können praktisch bei allen Normalhörenden nachgewiesen werden.

Die DPOAE werden auch als Verzerrungsprodukt-Emissionen bezeichnet, da durch eine Verzerrung (Distorsion) ein Ton im Innenohr mit der Differenz der Frequenzen zweier dargebotener Dauertöne entsteht.

Inwieweit die DPOAE einen frequenzabhängigen Hörverlust objektiv ermitteln können und mit dem Tonaudiogramm vergleichbare Informationen zu erzielen sind, wird zunehmend einer Klärung zugeführt. Mit der Messung der Distorsionsprodukte kann man jeden Abschnitt der Cochlea frequenzspezifisch überprüfen. Die Messung der DPOAE wird automatisch für viele Frequenzen durchgeführt und als DP-Gramm erstellt.

Stimulus-Frequenz-Emissionen (SFOAE)/Simultan evozierte otoakustische Emissionen (SEOAE). Sie entstehen durch Stimulation mit Dauertönen. Derzeit besitzen sie keine klinische Bedeutung, da die Wertigkeit noch nicht geklärt ist.

4.5.1 Prüfung der vestibulospinalen Reflexe

Vorteile der otoakustischen Emissionen

- objektiv
- nichtinvasiv
- kostengünstig
- hohe Treffsicherheit (beim Normalhörenden ca. 98%)

Nachteile der otoakustischen Emissionen

- Bei Mittelohrerkrankungen mit Hörverlust über 30 dB nicht mehr meßbar.
- Das Erfassen von retrocochleären Erkrankungen ist nicht möglich.
- Bei Gehörgangverschlüssen (z.B. Atresie) nicht meßbar.

Merke. Bei einem Seromukotympanon ist in der Regel die Messung der TEOAE und DPOAE nicht möglich.

4.4.11 Simulation, Aggravation, psychogene Hörstörung

Simulation

Eine solche liegt vor, wenn der Patient bewußt einen Hörschaden vortäuscht, um sich dadurch Vorteile zu verschaffen.

Aggravation

Hier besteht bereits ein Hörschaden, der Patient gibt ihn bewußt größer an, als er tatsächlich ist.

Psychogene Hörstörung

Sie beruht auf einem nichtorganischen Hörschaden, bei dem im Gegensatz zur Simulation und Aggravation der Patient selbst der Täuschung über seine gestörte Sinnesfunktion unterliegt.

Merke. Verfahren zur objektiven Bestimmung der Hörfunktion sind die Stapediusreflexschwellenmessung (*siehe Seite 73*), akustisch evozierte Potentiale (*siehe Seite 75*) und evozierte otoakustische Emissionen (*siehe Seite 80*).

4.5 Funktionsprüfungen des Gleichgewichts

A. Berghaus

Für die Untersuchung des Gleichgewichtssystems stehen **zwei Gruppen von diagnostischen Methoden** zur Verfügung:

- Einerseits solche Verfahren, die eine **orientierende Aussage** über die Funktion der peripheren und zentralen **Koordination** ermöglichen:
Prüfung der **vestibulospinalen Reflexe**.
- Andererseits gibt es solche, bei denen die Funktion der **peripher-vestibulären Organe** isoliert untersucht wird:
Prüfung auf **Spontan- und Provokationsnystagmus** sowie **rotatorische** bzw. **thermische Reizung** des peripheren vestibulären Systems.

4.5.1 Prüfung der vestibulospinalen Reflexe

Diese Untersuchungen basieren darauf, daß der Körper, solange er sich »im Gleichgewicht« befindet, in Ruhe und bei Bewegung nicht von der gewünschten Position oder intendierten Bewegungsrichtung abweicht. Dies ändert sich bei Gleichgewichtsstörungen unterschiedlicher Ursache, so daß es zu **Abweichreaktionen** kommt.

Vorteile der otoakustischen Emissionen

- objektiv
- nichtinvasiv
- kostengünstig
- hohe Treffsicherheit

Nachteile der otoakustischen Emissionen

Nicht anwendbar:

- bei Mittelohrerkrankungen mit Hörverlusten über 30 dB.
- retrocochleären Erkrankungen
- bei Gehörgangverschlüssen

◀ **Merke**

4.4.11 Simulation, Aggravation, psychogene Hörstörung Simulation

Ein Hörschaden wird vorgetäuscht.

Aggravation

Vorgetäuschte Verschlimmerung.

Psychogene Hörstörung

Sie wird unbewußt vorgetäuscht.

◀ **Merke**

4.5 Funktionsprüfungen des Gleichgewichts

Für die Diagnostik gibt es:

- Verfahren, die eine **orientierende Aussage** über die **Koordination** ermöglichen:
Prüfung der **vestibulospinalen Reflexe**
- die isolierte Untersuchung **peripher-vestibulärer Organe**:
Prüfung auf **Spontan- und Provokationsnystagmus**, **rotatorische** bzw. **thermische Reizung**

4.5.1 Prüfung der vestibulospinalen Reflexe

Bei ihrer Prüfung wird nach **Abweichreaktionen** gesucht, die auf Gleichgewichtsstörungen beruhen. Bei **Tonusüberwiegen** einer Seite kommt es meist zum **gerichteten**

Abweichen zur Gegenseite. Vestibulospinale Reflexe zeigen meist nur im Anfangsstadium von Gleichgewichtsstörungen verwertbare Befunde, da bald zentralnervöse Kompensationsvorgänge einsetzen.

Romberg-Versuch

Mit dem Romberg-Test werden Körperschwankungen beim freien Stehen beurteilt (**»statische Untersuchung«**). Der Patient streckt mit geschlossenen Augen und parallelen Füßen die Arme parallel nach vorne oder verschränkt sie vor dem Thorax (s. Abb. 33a). Beim »Tandem-Romberg-Versuch« werden beide Füße voreinander gestellt.

Beurteilung: Bei peripher-vestibulären Störungen beobachtet man typischerweise eine **gerichtete Fallneigung**. Regellose Fallneigung kommt bei zentralen Gleichgewichtsstörungen vor. Bei der **Posturographie** werden die Schwankungsbewegungen erfaßt und aufgezeichnet.

Im allgemeinen verursacht eine Tonusdifferenz im vestibulären System bei **Tonusüberwiegen** einer Seite eine kontralateral **gerichtete Abweichreaktion** (z.B.: Tonusüberwiegen rechts durch Labyrinthausfall links führt zum Abweichen nach links. Oder Tonusüberwiegen links [z.B. durch entzündlichen Reizzustand links] führt zu Abweichen nach rechts).

Bei der Prüfung der vestibulospinalen Reflexe ist zu beachten, daß sie meist nur in den Anfangsstadien labyrinthärer Erkrankungen deutlich faßbare, verwertbare Ergebnisse liefern, weil sehr bald zentralnervöse Kompensationsvorgänge einsetzen, so daß keine gerichtete Abweichreaktion mehr registriert werden kann.

Romberg-Versuch

Mit dem Romberg-Test werden Körperschwankungen bei freiem Stehen beurteilt (**»statische Untersuchung«**). Der Patient steht mit geschlossenen Augen und parallelen Füßen und streckt entweder die Arme parallel nach vorne, oder er verschränkt sie vor dem Thorax. Beim »erschwertten Romberg-Versuch« (**»Tandem-Romberg«**) werden beide Füße voreinander gestellt (siehe Abbildung 33a).

Beurteilung. Bei labyrinthären (peripher-vestibulären) Störungen wird meist eine **gerichtete Fallneigung** zur betroffenen Seite beobachtet. Regellose Fallneigung kommt bei zentralen Gleichgewichtsstörungen (Ataxie) vor.

Bei Labyrinthausfall ändert sich die Fallrichtung, wenn der Kopf gedreht wird, während die Fallrichtung bei zentraler Störung nicht beeinflußt wird.

Die Schwankungsbewegungen (Amplitude, Frequenz und Gesamtstrecke) können auch elektronisch aufgezeichnet werden. Der Patient steht dann auf einer Platte mit Druckmeßelementen, man spricht von **»Posturographie«** (abgeleitet von englisch »posture«=»Stellung«, »Haltung«).

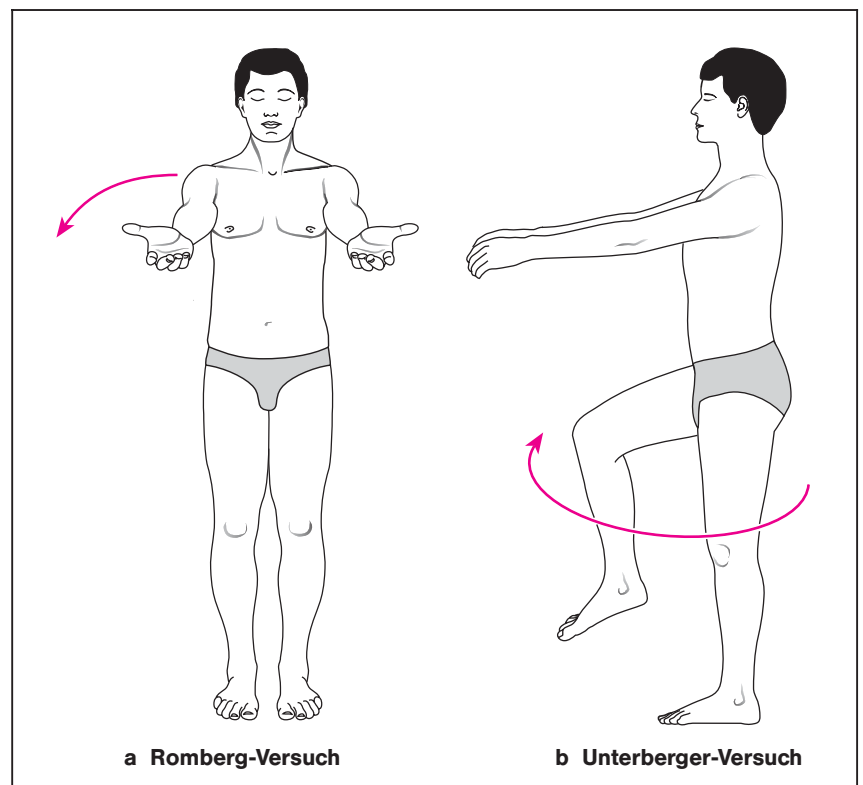


Abb. 33: Prüfung der Abweichreaktionen. Die Pfeile zeigen Fallneigung bzw. Rotation zur Seite bei vestibulären Läsionen.

Unterberger-Tretversuch

Der Patient tritt mit geschlossenen Augen und parallel nach vorne gestreckten Armen auf der Stelle. Es müssen kräftige Schritte mit hoch angehobenen Knien durchgeführt werden, bei denen der Patient am besten selbst mitzählt, bis mindestens 50 Schritte erreicht sind (*siehe Abbildung 33b*).

Beurteilung. Bei einseitigem Funktionsverlust im peripher-vestibulären System kommt es zu einer Rotation der Körperachse zur Seite der Läsion. Wertbar sind nur Abweichungen von mehr als 45° nach links bzw. 60° nach rechts. Bei zentralen Störungen wird eine regellose Unsicherheit oder eine Fallneigung beim Treten auf der Stelle beobachtet. Während eine geringe Vorwärtsbewegung bei dem Test auch beim Gesunden vorkommt, gilt jedes Rückwärtsschreiten als pathologischer Hinweis auf Kleinhirnläsionen.

Setzt man während der Untersuchung Lämpchen auf die Schultern bzw. auf einen Helm, den der Patient trägt, dann können deren Leuchtspuren fotografisch aufgezeichnet und ausgewertet werden. Man spricht von »**Kraniokorpographie**«.

Ähnlich wie der Unterberger-Test werden **Blindgang**, **Strichgang** und **Sternengang** ausgewertet. Das Abweichen von einer intendierten Gehstrecke gilt dann als Hinweis auf eine peripher-vestibuläre Läsion.

Vertikaler Zeichentest

Der Patient zeichnet mit offenen und danach auch mit geschlossenen Augen mehrere senkrechte Reihen von Kreuzchen auf ein Blatt Papier. Bei der Auswertung wird der Abweichwinkel der Reihen von der Vertikalen im Vergleich mit den Ergebnissen bei Gesunden zugrunde gelegt.

Eine konstante Richtungsabweichung spricht für eine peripher-vestibuläre Störung.

Finger-Nase-Zeigerversuch

Bei geschlossenen Augen soll der Zeigefinger zur Nasenspitze geführt werden. Mißlingen dieses Versuchs ist häufig Hinweis auf eine Kleinhirnläsion.

4.5.2 Prüfung auf Spontan- und Provokationsnystagmus

Bezüglich der Definition des Nystagmus und der Beschreibung physiologischer Nystagmusformen und solcher Nystagmen, die durch Erkrankungen im optischen System hervorgerufen werden, vergleiche *Seite 45*.

Ein Nystagmus kann häufig **ohne Hilfsmittel** am Auge des Patienten erkannt werden. Durch dessen visuelle **Fixation** kann aber ein vestibulärer Spontan-nystagmus **unterdrückt** werden. Das liegt an der Dominanz des optischen Systems über das vestibuläre System.

Unterberger-Tretversuch

Der Patient tritt mit geschlossenen Augen und nach vorne gestreckten Armen auf der Stelle (*s. Abb. 33b*).

Beurteilung: Eine Rotation der Körperachse um mehr als 45° nach links oder mehr als 60° nach rechts gilt als Hinweis auf eine einseitige peripher-vestibuläre Störung. Jedes Rückwärtsschreiten gilt als Hinweis auf Kleinhirnläsionen.

Bei der »**Kraniokorpographie**« werden die Abweichbewegungen als Lichtspuren fotografisch aufgezeichnet.

Blindgang, **Strichgang** und **Sternengang** werden ähnlich dem Unterberger-Test ausgewertet.

Vertikaler Zeichentest

Beim Zeichentest (Zeichnen mit offenen und geschlossenen Augen) gilt das Abweichen einer Reihe von Kreuzchen von der Vertikalen als Hinweis auf eine vestibuläre Läsion.

Finger-Nase-Zeigerversuch

Er kann Kleinhirnläsionen aufdecken.

4.5.2 Prüfung auf Spontan- und Provokationsnystagmus

Zur Definition des Nystagmus und zu Nystagmen bei Erkrankungen im optischen System *vgl. S. 45*.

Der Nystagmus kann häufig **ohne Hilfsmittel** erkannt werden, aber er kann durch visuelle **Fixation unterdrückt** sein (Dominanz des optischen über das vestibuläre System).

Untersuchung mit der Frenzel-Brille

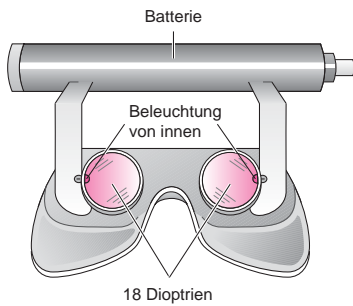
Mit der Frenzel-Brille (s. Syn. 12a) wird die Fixation verhindert, ein Nystagmus wird besser sichtbar. Die Befunde werden in das Frenzel-Schema eingezeichnet (s. Syn. 12b).

Untersuchung mit der Frenzel-Brille

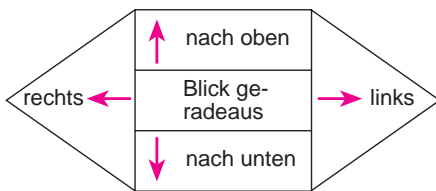
Die Fixation kann durch Verwendung einer Frenzel-Brille (siehe Synopsis 12a) (Leuchtbrille mit 15 Dioptrien) verhindert werden, um einen Nystagmus besser erkennbar zu machen. Die Untersuchung erfolgt dann im abgedunkelten Raum.

Die bei der Nystagmusprüfung mit und ohne Frenzel-Brille erhobenen Befunde werden in ein Schema eingezeichnet (Frenzel-Schema; Synopsis 12b), wobei Richtung, Stärke und Frequenz des Nystagmus berücksichtigt werden.

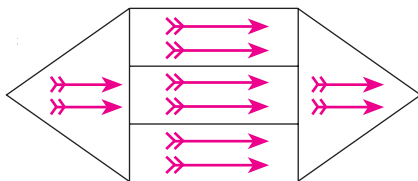
Synopsis 12: Frenzel-Brille, Frenzel-Schema und Symbole für Nystagmus-Befunde



a Leuchtbrille nach Frenzel



b Frenzel-Schema



d Beispiel für einen am Patienten mit der Frenzel-Brille erhobenen Befund: mittelfrequenter, mittelschlägiger Spontan-nystagmus nach links in allen Blickrichtungen (bei Ausfall des peripher-vestibulären Systems rechts)

	Amplitude:	↔ Richtung des Nystagmus	
horizontaler Nystagmus			
	feinschlägig	mittelschlägig	grobschlägig
horizontaler Nystagmus	Frequenz:		
	sehr wenig frequent	mittelfrequent	hochfrequent
Nystagmus			
	vertikaler	diagonaler	rotatorischer
	horizontaler mit rotator. Komponente	unsicherer mit langsamer Komponente	Pendel-Nystagmus

c Symbole für Nystagmus-Befunde

Spontannystagmus

Ein spontan auftretender Nystagmus (Spontannystagmus) ist meist Ausdruck einer peripher-vestibulären Störung. Die schnelle Phase des Nystagmus ist dann meist zur funktionell dominierenden Seite gerichtet (Beispiel: Ausfall des peripher-vestibulären Systems rechts resultiert in einem Linksnystagmus [sog. »Ausfallnystagmus«]).

Suche nach einem Spontannystagmus

Man sucht zunächst ohne Frenzel-Brille nach einem Nystagmus, indem man den Patienten auf den nach vorne, nach oben, nach unten, nach rechts und links positionierten Finger des Untersuchers in die Hauptblickrichtungen schauen läßt. Ein angeborener Pendelnystagmus, der sich bei Fixation verstärkt, fällt dann bereits auf.

Danach erst setzt der Patient die Frenzel-Brille auf, die die Fixation ausschaltet.

Merke. Vor allem zur Seite sollte der Blickwinkel 20° nicht überschreiten, weil sonst der physiologische Endstellnystagmus ausgelöst werden und einen pathologischen Nystagmus vortäuschen kann.

Die erhobenen Befunde werden, unter Verwendung der für die Nystagmusrichtung, -stärke und -frequenz eingeführten Symbole, in das Frenzel-Schema eingezeichnet (*siehe Synopsis 12*).

Pathologische Spontannystagmen

Der richtungsbestimmte Spontannystagmus schlägt unabhängig von der Blickrichtung immer in die gleiche Richtung. Vor allem ein **horizontaler, richtungsbestimmter Spontannystagmus** ist fast immer ein Zeichen einer **peripher-vestibulären** Läsion (z.B. Entzündung oder Ausfall eines Gleichgewichtsorgans).

Die Ausprägung des Nystagmus wird in **drei Grade** eingeteilt:

- **I. Grad:** Ein Spontannystagmus I. Grades tritt nur beim Blick in die Richtung der schnellen Nystagmusphase auf.
- **II. Grad:** Besteht er auch beim Blick geradeaus, so ist es ein Spontannystagmus II. Grades.
- **III. Grad:** Der III. Grad ist erreicht, wenn der Spontannystagmus auch beim Blick entgegen der Nystagmusschlagrichtung auftritt.

Der rein rotierende und vor allem der rein vertikale richtungsbestimmte Spontannystagmus sind meist Hinweise auf eine **zentral-vestibuläre** Störung.

Der regelmäßige Blickrichtungsnystagmus tritt bei Einnahme einer bestimmten **Blickrichtung** auf, schlägt aber nicht beim Blick geradeaus. Die Richtung des Nystagmus folgt immer der Blickrichtung (Rechtsnystagmus bei Blick nach rechts, etc.). Bei der Frenzel-Untersuchung muß die Verwechslung mit dem physiologischen Endstellnystagmus unbedingt vermieden werden! Der regelmäßige Blickrichtungsnystagmus ist Hinweis auf **zentrale** Läsionen im Hirnstamm oder Großhirn.

Der regellose Blickrichtungsnystagmus tritt auch beim **Blick geradeaus** auf und wechselt bei Änderung der Blickrichtung seine Intensität. Als Ursache werden Läsionen der Seh- und Gleichgewichtsbahnen angenommen. Sehr oft findet man den regellosen Blickrichtungsnystagmus bei der **multiplen Sklerose** (Encephalitis disseminata).

Spontannystagmus

Ein Spontannystagmus ist sehr oft Ausdruck einer peripher-vestibulären Läsion. Er schlägt meist zur funktionell dominierenden Seite.

Suche nach einem Spontannystagmus

Man läßt den Patienten in die Hauptblickrichtungen schauen.

Ein Pendelnystagmus, der sich bei Fixation verstärkt, fällt dann bereits auf.

Danach setzt der Patient die Frenzel-Brille auf, die die Fixation ausschaltet.

◀ Merke

Auffällige Befunde werden in das Frenzel-Schema eingezeichnet (*s. Syn. 12*).

Pathologische Spontannystagmen

Besonders der **horizontale, richtungsbestimmte Spontannystagmus** ist fast immer auf eine peripher-vestibuläre Läsion zurückzuführen (Ausfall oder Entzündung des Gleichgewichtsorgans).

Ein Nystagmus wird in **drei Grade** eingeteilt:

- I. Grad:** nur beim Blick in die Richtung der schnellen Nystagmusphase.
- II. Grad:** auch beim Blick geradeaus.

III. Grad: auch beim Blick gegen die Schlagrichtung.

Der rotierende und der vertikale Spontannystagmus weisen auf **zentral-vestibuläre** Störungen hin. **Der regelmäßige Blickrichtungsnystagmus** tritt bei Einnahme einer bestimmten **Blickrichtung** auf, schlägt aber nicht beim Blick geradeaus. Er ist Hinweis auf eine **zentrale** Läsion im Hirnstamm oder Großhirn.

Einen **regellosen Blickrichtungsnystagmus** findet man auch beim **Blick geradeaus**. Er wechselt bei Änderung der Blickrichtung seine Intensität (u.a. bei **multipler Sklerose**).

Provokationsnystagmus

Ein Provokationsnystagmus wird durch Einnahme einer bestimmten Lage bzw. Umlagerung ausgelöst. Man spricht von **Lagenystagmus** und **Lagerungsnystagmus**.

Häufig verwendete **Lockerungsmaßnahmen** sind das Kopfschütteln und die Positionierung des Patienten in die Schwindellage. Z.B. wird der Kopf des Patienten kräftig geschüttelt, wodurch gegebenenfalls ein »**Kopfschüttelnystagmus**« provoziert ist.

Manche Nystagmen treten nur in einer bestimmten »**Schwindellage**« auf.

Lage- und Lagerungsprüfung

Lageprüfung

Mit der Frenzel-Brille wird in **Rücken-, Rechts-, Links- und Kopfhängelage** nach einem Nystagmus gesucht.

- **Formen des Lagenystagmus**
Der **richtungsbestimmte Lagenystagmus** ist meist ein gelöster Spontan-nystagmus. Die **richtungswechselnden Lagenystagmen** sind meist Ausdruck **zentraler** Läsionen.

Lagerungsprüfung

Mit der Frenzel-Brille wird geprüft, ob sich durch schnelle **Lagewechsel** vom Sitzen in die Rücken- bzw. Kopfhängelage ein Nystagmus auslösen läßt.

- **Formen des Lagerungsnystagmus**
Der »**benigne paroxysmale Lagerungsnystagmus**« tritt mit kurzer Latenz nach Wechsel vom Sitzen in die Rückenlage auf. Beim Aufrichten kehrt sich seine Schlagrichtung um. Er ist im allgemeinen von starkem Drehschwindel begleitet. Als Ursache wird die sog. »**Cupulolithiasis**« angenommen (vgl. S. 200).

Prüfung der Erregbarkeit der Vestibularorgane: »experimentelle Gleichgewichtsprüfung«

Die **Erregbarkeit** des peripheren Gleichgewichtsorgans kann vor allem durch **thermische** (»**kalorische**«) oder **rotatorische** Reizung geprüft werden.

Provokationsnystagmus

Durch provozierende Maßnahmen ausgelöste »Provokationsnystagmen« sind in der Regel Zeichen einer zentralen oder peripher-vestibulären Störung. Der Nystagmus kann dann durch Einnahme einer bestimmten Lage (**Lagenystagmus**) oder durch einen Lagewechsel (**Lagerungsnystagmus**) ausgelöst werden.

Durch **Lockerungsmaßnahmen** können Nystagmen, die durch zentrale Kompensation in Ruhe nicht erkennbar sind, wieder sichtbar gemacht werden. Hierzu gehören ruckartige Kopfbewegungen, Kopfschütteln, schnelles Bücken und Aufrichten. Z.B. wird der Kopf des Patienten vom Untersucher mehrfach kräftig geschüttelt, wodurch gegebenenfalls ein »**Kopfschüttelnystagmus**« provoziert ist. Manche Nystagmen treten nur bei Einnahme einer bestimmten Kopfhaltung auf. Man kann dann versuchen, den Nystagmus durch Aufsuchen dieser »**Schwindellage**« zu provozieren.

Bei allen derartigen Untersuchungen trägt der Patient die Leuchtbrille nach Frenzel.

Lage- und Lagerungsprüfung

Lageprüfung. Der Patient liegt bei der Untersuchung zunächst auf dem Rücken. Der Körper wird dann ohne Hast in die **Rechtslage**, danach über die **Rückenlage** in die **Linkslage** gebracht. Es folgt nochmals die Rückenlage und dann eine **Kopfhängelage**, bei der der Kopf über die Kante der Trage abgesenkt wird. Die mit der Frenzel-Brille erhobenen Befunde werden in ein Schemaformular eingetragen.

- **Formen des Lagenystagmus.** Der **richtungsbestimmte Lagenystagmus** schlägt stets in dieselbe Richtung. Man kann ihn als gelockerten Spontan-nystagmus ansehen. Er kann eine periphere oder zentrale Ursache haben. Der **regellos richtungswechselnde Lagenystagmus** wechselt ohne Regelmäßigkeit in allen Lagen die Richtung. Er ist im allgemeinen **zentral** ausgelöst und kommt nur passager beim M. Ménière auch als Zeichen einer peripher-vestibulären Erkrankung vor.

Lagerungsprüfung. Bei dieser Untersuchung wird geprüft, ob sich ein Nystagmus nicht nur durch Einnahme einer Lage, sondern eventuell durch schnellen **Lagewechsel** auslösen läßt. Der Patient sitzt zunächst mit geradeaus gerichtetem Kopf und wird dann schnell in eine Rücken- oder Kopfhängelage gebracht, die er einige Sekunden einhält, um dann wieder schnell aufgesetzt zu werden. Dieses Vorgehen wird unter Wechsel der Kopfhaltung mehrfach wiederholt. Die Befunde werden in ein Schema eingetragen.

- **Formen des Lagerungsnystagmus.** Durch Lagewechsel kann der »**benigne paroxysmale Lagerungsnystagmus**« mit kurzer Latenz (ca. 5-10 sec) nach dem Wechsel in die Rücken- oder Kopfhängelage ausgelöst werden. Der Nystagmus schlägt horizontal-rotatorisch mit anfänglicher Intensitätszunahme, dann folgender Intensitätsabnahme (»Crescendo und Decrescendo«). Bei Wiederaufrichten kehrt sich die Schlagrichtung des Nystagmus um. Er ist im allgemeinen von starken Drehschwindelbeschwerden des Patienten begleitet. Als Ursache wird die Irritation einer Cupula durch einen losgelösten Otolithen angenommen (sog. »**Cupulolithiasis**«, vgl. Seite 200).

Prüfung der Erregbarkeit der Vestibularorgane: (»experimentelle Gleichgewichtsprüfung«)

Gute Aussagen über die Funktionsfähigkeit eines peripher-vestibulären Organs erhält man durch die Ermittlung seiner **Erregbarkeit**. Dabei macht man sich zunutze, daß durch verschiedene Reize ein Nystagmus ausgelöst werden kann. Die Reizung kann durch Spülung des äußeren Gehörgangs mit kaltem oder warmem Wasser erfolgen (**thermische** oder »**kalorische**« **Prüfung**). Außerdem ist die Reizung durch Rotation des Patienten auf einem Drehstuhl möglich, was ebenfalls Nystagmen auslöst (**rotatorische Prüfung**).

Ferner kann mit dem **Halsdrehtest** (siehe Seite 92) danach gefahndet werden, ob sensible Afferenzen von Hals und Nacken einen pathologischen Gleichgewichtsreiz ausüben.

Thermische Labyrinthprüfung

Durch Spülung von warmem oder kaltem Wasser in den äußeren Gehörgang kann ein Nystagmus ausgelöst werden. Die Temperaturänderung löst im lateralen Bogengang eine Endolymphströmung aus, die über eine Bewegung der Cupula zur Reizung des peripher-vestibulären Organs führt. Über den vestibulo-okulären Reflex (**VOR**) wird dann analog zu einer Winkelbeschleunigung des Kopfes ein **Nystagmus** ausgelöst.

Merke. Bei Spülung mit warmem Wasser (44 °C) wird beim Gesunden ein Nystagmus ausgelöst, der zur Seite des geprüften Ohres weist. Bei Spülung mit kaltem Wasser (30 °C) zeigt dagegen die schnelle Phase des Nystagmus zur Gegenseite.

Man hat diese Temperaturen gewählt, weil sie im gleichen Maß von der Körpertemperatur (37 °C) abweichen. Zur Prüfung einer Resterregbarkeit bei geschädigtem Gleichgewichtsorgan kann ausnahmsweise zusätzlich die Spülung mit 20 °C kaltem Wasser erfolgen, wenn mit den üblichen Temperaturen (s.o.) keine Erregbarkeit nachweisbar ist (Starkreiz).

Bei der thermischen Prüfung werden beide Seiten untersucht, um die Stärke bzw. Frequenz der Reizantwort auf **beiden Seiten vergleichen** zu können. Auf diese Weise ist eine Unter- oder Unerregbarkeit eines gereizten Bogengangssystems erkennbar. Wird die Reizantwort in Form des Nystagmus mit der Frenzel-Brille erfaßt, dann ist es günstiger, wenn der Patient bei der Untersuchung sitzt. Erfolgt dagegen die Aufzeichnung der Nystagmen im Elektronystagogramm (s.u.), dann liegt der Patient auf einer Trage, wobei der Kopf um 30° angehoben ist (»**Optimumstellung**«). Die Spüldauer beträgt jeweils 30 sec mit ca. 50 bis 100 cm³ Wasser.

Thermische Prüfung mit der Frenzel-Brille. Die Untersuchung beginnt mit dem Warmreiz. Besteht kein Spontan- oder Provokationsnystagmus, kann bei seitengleicher Reizantwort nach der Warmspülung die Prüfung beendet werden (Normalbefund). Ist aber eine Seitendifferenz erkennbar, dann fährt man mit der Kaltspülung fort. Zwischen den Spülungen sind **Pausen** von 7 bis 10 Min. erforderlich.

• **Auswertung.** Zur Auswertung wird nach jeder Spülung die Anzahl der Nystagmusschläge (**Frequenz**) gezählt und auf einen 10 sec-Zeitraum gemittelt. Es hat sich ein Auswertungsverfahren durchgesetzt, bei dem jeweils die Summe der Ergebnisse der 44 °C- und der 30 °C-Spülungen einer Seite addiert und der Summe des anderen Ohres gegenübergestellt wird.

Das Resultat kann in eine übersichtliche Grafik eingetragen werden, die gleichzeitig erkennen läßt, ob und gegebenenfalls wie stark das Ergebnis von den beim Gesunden gefundenen Daten abweicht (siehe Abbildung 34).

In ähnlicher Weise kann ein **Richtungsüberwiegen** der Nystagmusreizantworten erkannt werden, indem man die Schlagzahlen der rechts- bzw. linksgerichteten Nystagmen addiert und miteinander vergleicht (z. B. Schlagzahlen bei Spülungen von 44 °C rechts + 30 °C links). Ein Richtungsüberwiegen muß nicht pathologisch sein, kann aber auf einen (verborgenen) Spontannystagmus oder eine zentral-vestibuläre Störung hinweisen.

Mit dem **Halsdrehtest** (s. S. 92) wird nach pathologischen Einflüssen von Halsafferenzen gesucht.

Thermische Labyrinthprüfung

Das peripher-vestibuläre Organ kann durch Spülung des Gehörgangs mit warmem oder kaltem Wasser gereizt werden. Über den vestibulo-okulären Reflex (**VOR**) wird ein **Nystagmus** ausgelöst.

◀ Merke

Die Temperaturen weichen im gleichen Maß von der Körpertemperatur ab. Mit 20 °C kaltem Wasser wird ein besonders starker Reiz ausgelöst. Beim **Seitenvergleich** wird erkennbar, ob ein peripheres Gleichgewichtsorgan untererregbar ist. Die Reizantworten können mit der Frenzel-Brille oder mit dem Elektronystagogramm in »**Optimumstellung**« erfaßt werden. Die Spüldauer beträgt 30 sec.

Thermische Prüfung mit der Frenzel-Brille

Läßt die Warmspülung eine Seitendifferenz erkennen, dann folgt nach **Pausen** von 7–10 Min. die Kaltspülung.

• Auswertung

Die Anzahl der Nystagmusschläge (**Frequenz**) bei **Kalt- und Warmspülung über einen 10 sec-Zeitraum** ist das Kriterium für den Seitenvergleich.

Das Ergebnis wird in eine Grafik übertragen (s. Abb. 34).

Ein **Richtungsüberwiegen** der Reizantworten kann Hinweis sein auf einen verborgenen Spontannystagmus oder eine zentral-vestibuläre Störung.

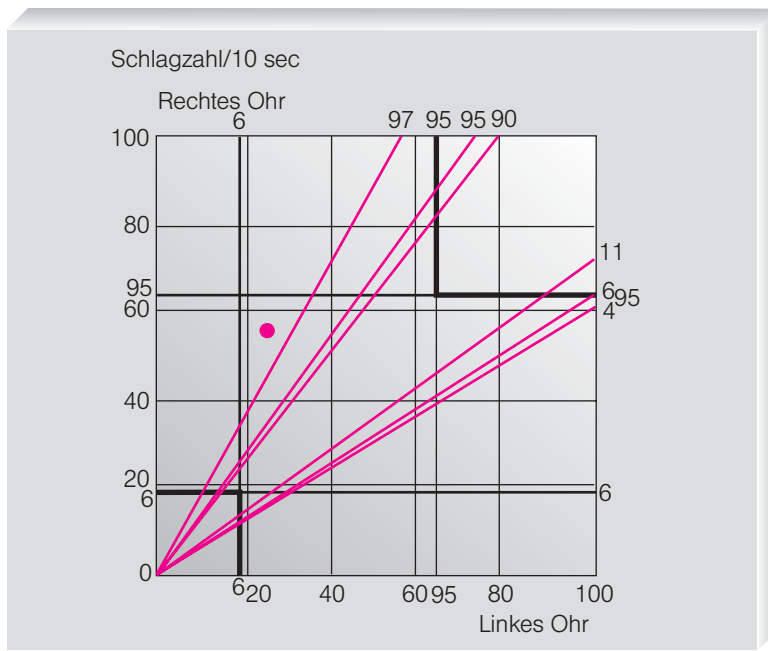


Abb. 34: Ergebnis der thermischen Prüfung in der Schema-Graphik. Das Beispiel (roter Punkt) zeigt eine deutliche Mindererregbarkeit der linken Seite. »Zwischen den Perzentilen 90 und 11 liegen die thermischen Reaktionen von 80% aller Gesunden, zwischen 95 und 6 die von 90%, zwischen 97 und 4 die von 94% aller Gesunden. Die horizontalen und vertikalen Perzentilen markieren die Streubreite der Ergebnisse jedes Gleichgewichtsorgans getrennt. Sie rahmen ein Feld links unten ein, in denen Patienten mit sehr schwachen Reaktionen (z. B. nach Streptomycin-Therapie) zu finden sind, und ein Feld rechts oben, in denen wir die Patienten mit einer symmetrischen, übermäßig kräftigen Erregbarkeit (z. B. als Enthemmungssymptom nach Schädel-Hirn-Traumen) finden.« (Zit. nach Scherer 1984.)

4.5.3 Elektronystagographie (ENG)

Mit dem ENG (s. Abb. 35) werden Potentiale zwischen Cornea und Retina abgegriffen, die sich bei Nystagmen verändern. Die Potentialschwankungen, die die Nystagmen repräsentieren, werden auf einen Papierstreifen aufgezeichnet und im Seitenvergleich ausgewertet. Die Reizung der Gleichgewichtsorgane erfolgt meist durch thermische Spülung.

4.5.3 Elektronystagographie (ENG)

Zur Durchführung der Elektronystagographie (ENG; siehe Abbildung 35) macht man sich die Tatsache zunutze, daß das Auge ein Dipol ist, wobei an der Cornea eine positive, an der Retina eine negative Ladung besteht. Das elektrische Potential zwischen Cornea und Retina verändert sich bei Augenbewegungen, so auch bei Nystagmen. Die Veränderungen verhalten sich proportional zur Frequenz, Amplitude und Geschwindigkeit des Nystagmus. Mit Elektroden, die um das Auge herum plaziert werden, können die durch den Nystagmus ausgelösten Potentialschwankungen abgeleitet und auf einem Papierstreifen aufgezeichnet werden. Auf diese Weise können Spontan-nystagmen ebenso wie okulomotorische (optokinetische) Augenbewegungen registriert werden. Bei der thermischen Prüfung erfolgt die Aufzeichnung der Nystagmen im ENG nach Spülung beider Ohren mit warmem und kaltem Wasser. Die Kurven beider Seiten können dann exakt ausgemessen und rechnerisch miteinander verglichen werden. Damit ist eine zuverlässige Aussage über den aktuellen Funktionsstand der peripheren Gleichgewichtsorgane möglich.

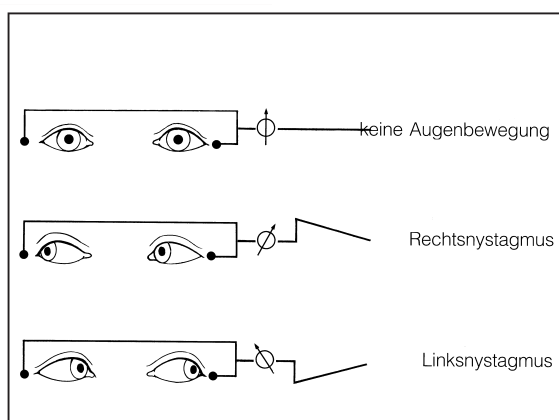


Abb. 35: Elektronystagographie (schematisch)

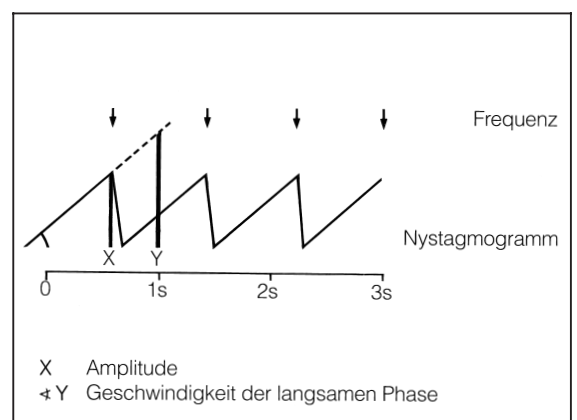


Abb. 36: Parameter bei der Auswertung des Nystagmogramms

Auswertung. An den für jede Spülung typischen Kurven des Elektronystagmogramms (ENG) werden durch geometrische Berechnungen bestimmte Parameter (siehe Abbildung 36) abgegriffen, die einen Vergleich der Reizantworten für beide Ohren erlauben. Solche Parameter sind u. a.:

- die **maximale Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase**, die über einen 10 sec-Intervall gemittelt wird. Diesen Wert erhält man durch Anlegen von Tangenten an Kurvenabschnitte, die die langsamen Phasen der Nystagmusschläge repräsentieren. Um beide Ohren miteinander zu vergleichen, wird auch hier die Summe der Reizantworten des rechten der des linken Ohres gegenübergestellt und in ein grafisches Schema eingezeichnet (siehe Abbildung 37b).

Auswertung

Für den Seitenvergleich werden an den Kurven des ENG bestimmte Parameter (s. Abb. 36) ausgewertet:

- die **maximale Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase**. Die Reizantworten werden im Seitenvergleich ausgewertet (s. Abb. 37a).

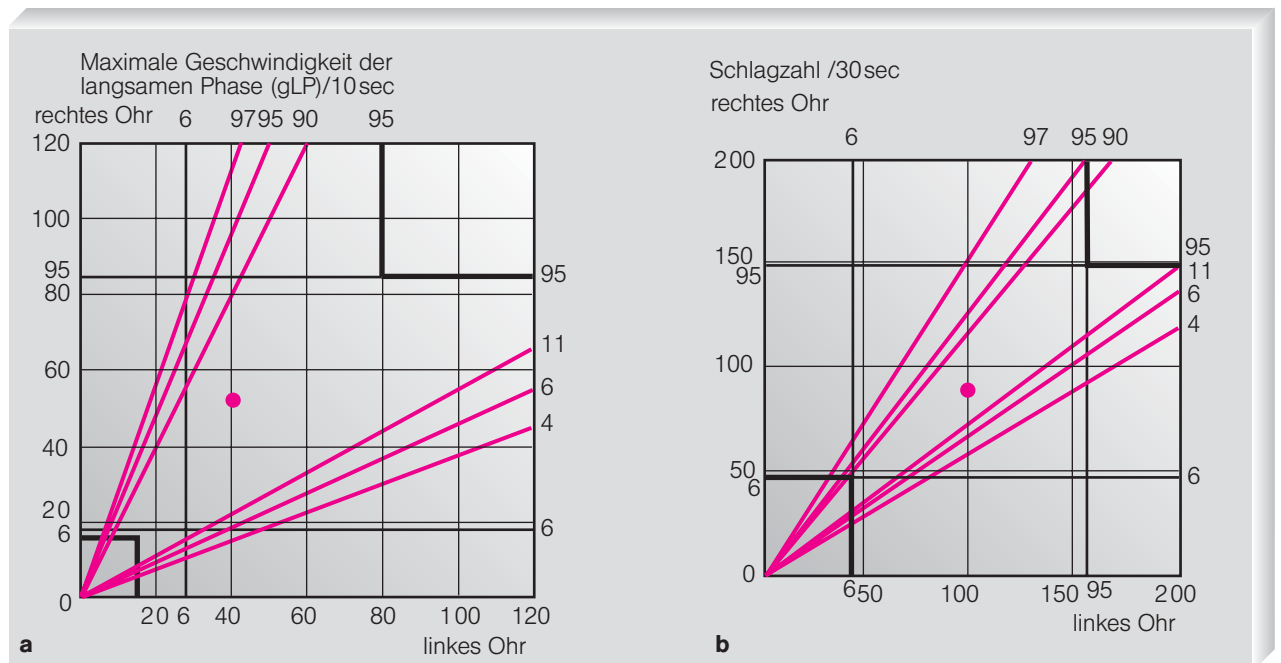


Abb. 37: Schema zur Darstellung der Seitendifferenz bei dem Parameter

a Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase/10 sec.

b Schlagzahl (Frequenz)/30 sec (nach Scherer)

Die roten Punkte bezeichnen beispielhaft eingetragene Normalbefunde.

Zur Erläuterung der Perzentilen vgl. Legende der Abb. 34.

- die **Kulminationsschlagzahl** des Nystagmus in einem 30 sec-Intervall (Abbildung 37b). Diese Auswertung entspricht etwa der bei der thermischen Prüfung mit der Frenzel-Brille. Weitere Vergleichsparameter für die Reizantworten beider Seiten wurden vorgeschlagen, haben sich aber nicht allgemein durchgesetzt. Zur Beurteilung der Seitendifferenz der Reizantworten auf mathematischer Grundlage wurden auch Formeln vorgeschlagen (Jongkees-Formel), die aber an Bedeutung verloren haben.

- die **Kulminationsschlagzahl** kann auch mit der Frenzel-Brille gemessen werden (Abb. 37b).

4.5.4 Rotatorische Gleichgewichtsprüfung

Die rotatorische Prüfung basiert auf der Tatsache, daß das Einsetzen und Abbremsen einer Drehbewegung des Kopfes zu einem Endolymphfluß in den Bogengängen führt, der einen Nystagmus hervorruft. Dabei werden im Unterschied zur thermischen Prüfung beide Ohren gleichzeitig gereizt. Eine Drehbeschleunigung nach rechts führt zu einem Rechtsnystagmus, eine Bremsung aus Rechtsdrehung zu einem Linksnystagmus, und umgekehrt. Der nach dem Abbremsen einer Drehung auftretende Nystagmus wird »**postrotatorischer Nystagmus**« genannt.

Computergesteuerte bzw. -kontrollierte Drehprüfungen erlauben die Variation der Rotationsgeschwindigkeit und weitere Modifikationen des Testablaufs. Damit soll die differentialdiagnostische Unterscheidung peripherer und zentra-

4.5.4 Rotatorische Gleichgewichtsprüfung

Kopfdrehungen bewirken einen Endolymphfluß im Labyrinth und damit einen Nystagmus. Beide Gleichgewichtsorgane werden gleichzeitig gereizt. Nach der Beschleunigung tritt ein Nystagmus in Drehrichtung auf, der sich beim Abbremsen umkehrt (**»postrotatorischer Nystagmus«**).

Rechnergestützte Dreh- und Pendelprüfungen dienen der Analyse vor allem zentraler Gleichgewichtsstörungen.

ler Gleichgewichtsstörungen möglich werden. Insbesondere die Pendelprüfung (der Patient sitzt auf einem Drehstuhl, der nach bestimmten, variablen Bewegungsmustern hin und her pendelt) dient der Untersuchung des zentral-vestibulären Systems bzw. zentraler Ausgleichsprozesse bei peripher-vestibulären Läsionen.

Merke ►

Merke. Ein Nystagmus zur anderen Seite tritt auf:

- beim Ausfall des Vestibularorgans einer Seite
- bei Kaltspülung
- beim Anhalten während einer Drehprüfung
- bei Aspiration zur Prüfung des Fistelsymptoms (vgl. Seite 144)

4.5.5 Halsdrehtest

Sensible Halsafferenzen können das Gleichgewichtssystem in pathologischer Weise beeinflussen. Auch **Durchblutungsstörungen** der A. vertebralis, die ihre Ursachen in Schädigungen des Halsbereiches haben, können zu Schwindel und Nystagmus führen.

Bei fixiertem Kopf wird der Stuhl mit dem Patienten um ca. **60° gedreht**. Der Test gibt Hinweise auf eine zervikale Schwindelursache, wenn sich der Nystagmus beim Wechsel der Drehrichtung umkehrt.

4.5.6 Okulomotorische Untersuchungen

Zu jeder vollständigen Gleichgewichtsuntersuchung gehört die Prüfung der willkürlichen Blickfolgebewegung (**Sinusblickpendeltest**), des **optokinetischen Nystagmus** und der **Fixationssuppression**.

Sinusblickpendeltest

Die Blickfolgebewegung wird mit einem schwingenden **Pendel** geprüft, während die Augenbewegung, wie beim ENG, aufgezeichnet wird. Beim Gesunden entsteht eine glatte **Sinuskurve**, während »**Sakkadierte**« pathologisch sind (s. Abb. 38).

4.5.5 Halsdrehtest

Diese Untersuchung dient zur Klärung der Frage, ob eine vorhandene Gleichgewichtsstörung auf einer Schädigung im Halsbereich beruht. Grundlage für diese Annahme sind **sensible Halsafferenzen**, die von Muskel-, Sehnen- und Gelenkfühlern Verbindungen zu den Gleichgewichtskernen und zum Kleinhirn haben. Schädigungen im Halsbereich können auch über eine Beeinflussung der Durchströmung der A. vertebralis und ihrer Stromgebiete und somit im Sinne einer vaskulären Störung (**Durchblutungsstörung**) zu Schwindel und Nystagmus führen. Der Test besteht darin, daß bei fixiertem Kopf der Stuhl gedreht wird, auf dem der Patient sitzt. Dadurch kommt es ohne Kopfdrehung zu einer **Körperdrehung** um etwa **60°** nach rechts bzw. links. Ein dabei auftretender Nystagmus wird dann als »zervikal« gedeutet, wenn er sich beim Wechsel der Körper- bzw. Stuhldrehung umkehrt.

4.5.6 Okulomotorische Untersuchungen

Zu den okulomotorischen Untersuchungen gehören, als Bestandteil jeder vollständigen Gleichgewichtsuntersuchung, die Prüfung der willkürlichen, langsamen Blickfolgebewegung (**Sinusblickpendeltest**), des reflektorischen **optokinetischen Nystagmus** bei Betrachtung eines bewegten Objektes und der **Fixationssuppression**, worunter man die Fähigkeit des optischen Systems versteht, einen vestibulär ausgelösten Nystagmus durch Fixation eines Punktes zu unterdrücken.

Sinusblickpendeltest

Zur Untersuchung der langsamen, willkürlichen Blickfolgebewegungen blickt der Patient einem schwingenden **Pendel** nach. Der Papierschreiber, der (wie beim Elektronystagmogramm) die Augenbewegungen erfaßt, zeichnet dabei normalerweise eine glatte **Sinuskurve** auf. »**Sakkadierte**« (treppenförmige) Kurvenverläufe bzw. Augenbewegungen sind pathologisch (siehe Abbildung 38).

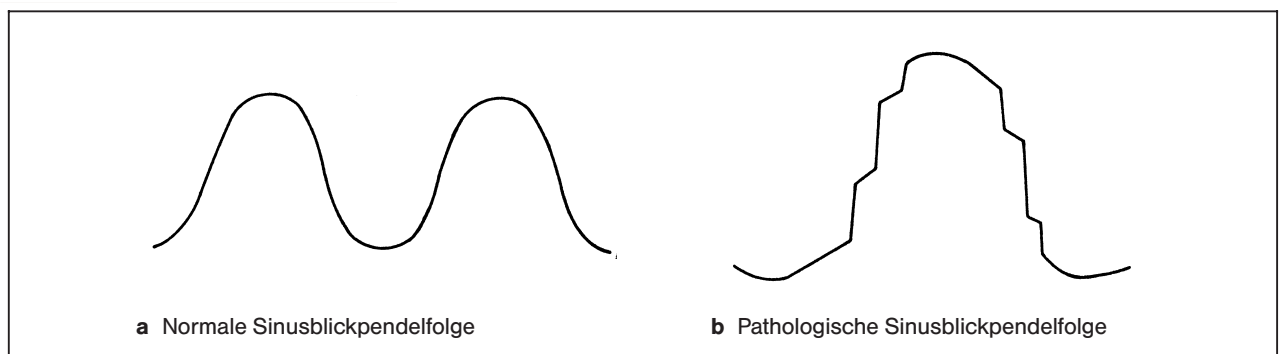


Abb. 38a, b: Normale und pathologische Sinusblickpendelfolge (nach Scherer)

Prüfung des optokinetischen Nystagmus

Zur Untersuchung des optokinetischen Nystagmus schaut der Patient auf ein rotierendes Muster (z.B. eine Trommel) mit vertikal angeordneten Streifen. Aufgrund der Bewegung dieser Streifen kommt es zu einer reflektorischen Folgebewegung der Augen mit rascher Rückstellbewegung. Die Geschwindigkeit dieses optokinetischen Nystagmus hängt von der Drehgeschwindigkeit des Streifenmusters ab. Bei zentralen Störungen wird der Nystagmus arrhythmisch bzw. deformiert oder kommt zum Stillstand.

Prüfung der Fixationssuppression

Die Dominanz des optischen über das vestibuläre System sorgt dafür, daß ein Nystagmus durch Fixieren eines Punktes unterdrückt wird.

Auch ein experimentell (z.B. thermisch) ausgelöster Nystagmus muß sistieren, wenn der Patient aufgefordert wird, einen Leuchtpunkt anzuschauen. Bei zentralen Läsionen und nach Alkoholgenuß ist diese Fixationssuppression gestört.

Prüfung des optokinetischen Nystagmus

Der optokinetische Nystagmus entsteht durch Betrachtung eines rotierenden Streifenmusters. Deformationen oder Arrhythmien dieses Nystagmus weisen auf zentrale Störungen hin.

Prüfung der Fixationssuppression

Solange das optische System über das vestibuläre dominiert, wird jeder Nystagmus durch Fixieren eines Punktes unterdrückt. Zentrale Läsionen und Alkoholgenuß stören die Fixationssuppression.