

# Untersuchungsmethoden

## 2.1 Anamnese – 32

## 2.2 Inspektion – 32

## 2.3 Otoskopie – 32

### 2.3.1 Instrumentarium – 32

### 2.3.2 Ausführung – 33

## 2.4 Palpation – 34

## 2.5 Funktionsprüfungen – 34

### 2.5.1 Hörprüfungen – 34

### 2.5.2 Vestibularisprüfungen – 48

### 2.5.3 Tubenfunktionsprüfungen – 59

## 2.6 Bildgebende Verfahren – 61

### 2.6.1 Röntgenuntersuchung des Felsenbeins – 61

### 2.6.2 Kernspintomographie (Magnetresonanztomographie = MRT, Magnetic Resonance Imaging = MRI) – 62

### 2.6.3 Dreidimensionale Rekonstruktionsverfahren – 63

### 2.6.4 Positronenemissionstomographie (PET) – 63

## 2.7 N. facialis: Funktion und Diagnostik – 64

### 2.7.1 Funktionen – 64

### 2.7.2 Topische Diagnose – 64

### 2.7.3 Elektrische und magnetische Erregbarkeitsprüfung – 64

### 2.7.4 Schädigungsformen – 65

### 2.7.5 Symptome der Fazialislähmung – 65

Neben der **Anamnese** und den direkten **klinischen Untersuchungen** wie Inspektion, Palpation und Otoskopie sind zur Differenzierung und Quantifizierung von Hör- und Gleichgewichtsstörungen standardisierte Funktionsprüfungen erforderlich. Lähmungen des N. facialis müssen hinsichtlich der Lokalisation und des Schweregrades durch **Testbatterien** untersucht werden.

Moderne bildgebende Verfahren wie **CT, DVT, MRT und PET** ermöglichen mit geringer Strahlenbelastung eine aussagekräftige Darstellung von morphologischen sowie funktionellen Veränderungen und haben die konventionellen Röntgenaufnahmen abgelöst.

## 2.1 Anamnese

Bei der Erhebung der Vorgeschichte ist nach folgenden Gesundheitsstörungen zu fragen:

- Druckgefühl
  - Gefühl der verstopften Ohren?
  - Gefühl wie Watte im Ohr?
- Schmerzen
  - Wo lokalisiert?
  - Art (dumpf, bohrend, stechend)?
  - Wohin ausstrahlend?
  - Dauer?
- Absonderung aus dem Gehörgang
  - Farbe?
  - Geruch?
  - Eitrig, schleimig, wässrig, blutig?
- Ohrgeräusch
  - Frequenz?
  - Art (Sausen, Brausen, Brummen, Zischen, Pfeifen)?
  - Pulsierend oder kontinuierlich?
  - Dauer?
  - Lautheit?
  - Belästigungsgrad?
  - Sekundärsymptome (Schlafstörungen, Konzentrationsmangel, Depression)?
- Schwerhörigkeit
  - Für welche Töne?
  - Bei Unterhaltung mit einem Gesprächspartner?
  - Bei Konferenzen, bei Vorträgen, bei Nebengeräuschen?

- Nach vorangegangenem Infekt?
- Dauer?
- Wechselnde Stärke?
- Allmählich oder plötzlich einsetzend?
- Gleichbleibend oder zunehmend?
- Schwindel
  - Art?
  - Schwindelanfall oder Dauerschwindel?
  - Dreh-, Schwank- oder Liftschwindel?
  - Ohnmachtähnlich, Schwarzwerden vor den Augen, Sternchensehen?
  - Verstärkung in bestimmter Körperlage, bei Belastungen, im Dunkeln?
  - Unsicherheit beim Gehen, bei geschlossenen Augen, Gangabweichung?
  - Verbunden mit Übelkeit, Erbrechen, Schwerhörigkeit, Ohrensausen?

## 2.2 Inspektion

Es ist zu achten auf:

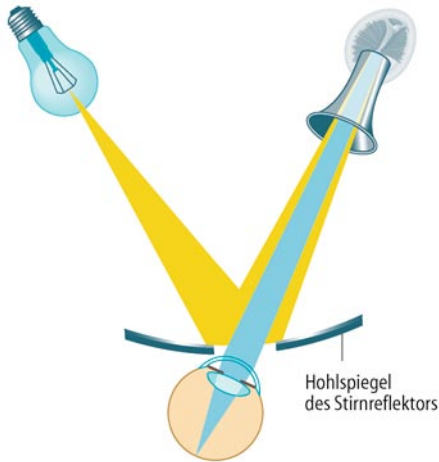
- Veränderungen der Ohrmuschelform (angeboren, traumatisch, tumorös),
- Rötung und Schwellung der Ohrmuschel,
- Konturen des knorpeligen Ohrmuschelgerüsts,
- Rötung und Schwellung des prä- und postaurikulären Bereichs,
- Absonderung aus dem Gehörgang (Schleim, Eiter, Blut, Liquor).

## 2.3 Otoskopie

### 2.3.1 Instrumentarium

Für Geübte ist die Untersuchung von Ohr, Nase, Hals und Kehlkopf mit reflektiertem Licht gebräuchlich. Man benötigt zur Ohrenspiegelung:

- Eine **Lichtquelle** mit einer matten 100-Watt-Glüh- bzw. Halogenlampe, die neben der rechten Kopfseite des Patienten angebracht sein soll,
- einen in der Mitte perforierten **Hohlspiegel** mit einer Brennweite von 10–20 cm (sog. **Ohrenspiegel**), der mit einem Stirnreif durch ein Kugelgelenk verbunden ist (Stirnreflektor) und
- einen Satz **Ohrtrichter** in verschiedenen Größen.



■ Abb. 2.1 Otoskopie mit Stirnreflektor

Das **linke Auge** soll sich möglichst nahe an dem Loch des Spiegels befinden, um ein großes Blickfeld zu haben. Die Sehachse links muss mit der Achse des reflektierten Lichtes zusammenfallen, um größte Helligkeit in die Tiefe des Gehörgangs zu bekommen (■ Abb. 2.1).

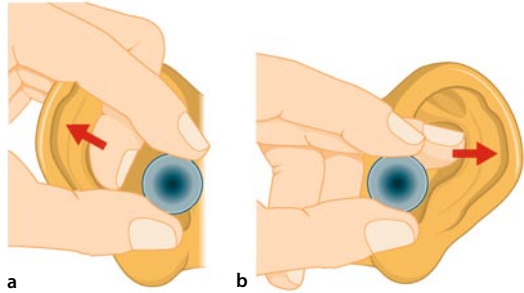
### 2.3.2 Ausführung

#### Praxisbox

##### Otoskopie

Der knorpelige Gehörgang ist durch Zug bzw. Druck an der Ohrmuschel nach hinten oben in eine Achse mit dem knöchernen zu bringen, ehe der Ohrtrichter durch eine leicht drehende Bewegung eingeführt wird (■ Abb. 2.2). Der Zug an der rechten Ohrmuschel mit Mittelfinger und Ringfinger bzw. das Drücken der linken Ohrmuschel mit dem Mittelfinger und das Halten des Trichters mit Daumen und Zeigefinger während der Spiegeluntersuchung geschehen stets mit der linken Hand, um die rechte Hand für Manipulationen im Gehörgang, Veränderungen der Kopfstellung des Patienten oder Einstellen des Ohrmikroskopes frei zu haben.

Anstelle der Ohrspiegelung mit reflektiertem Licht können Gehörgang und Trommelfell auch durch



■ Abb. 2.2a,b Einsetzen des Ohrtrichters. a Rechtes Ohr; b linkes Ohr



■ Abb. 2.3a,b Otoskopie. a Mit Stirnlampe, b mit Mikroskop

eine Kaltlichtlampe, die auf dem Stirnreifen befestigt ist, beleuchtet werden (**Stirnlampe** ■ Abb. 2.3a).

Außerdem finden (vor allem bei Nicht-Hals-Nasen-Ohrenärzten) **Otoskope** mit eigener Lichtquelle und aufgesetztem Ohrtrichter Verwendung. Auch hierbei muss die Ohrmuschel mit knorpeligem Gehörgang nach hinten oben gezogen werden.

Die beste und heute allgemein übliche Beurteilung des Trommelfells ist durch das **Ohrmikroskop** (■ Abb. 2.3b; Untersuchungs- bzw. Operationsmik-

roskop) möglich, das 6- bis 40-fach vergrößert. Zusätzlich kommt das Endoskop zum Einsatz.

Zerumen, Eiter oder Epidermisschuppen müssen zur vollständigen Übersicht über Gehörgang und Trommelfell durch Tupfen oder Wischen mit einem **Wattetriller**, durch stumpfe kleine **Küretten** oder durch Spülung mit der **Ohrspritze** (▣ Abb. 3.2) entfernt werden. Sekret kann mit einem **Ohrsauger** abgesaugt werden.

### ! Cave

**Eine Ohrspülung ist bei Verdacht auf Vorliegen einer trockenen Trommelfellperforation oder bei einem Schädelbasisbruch im Ohrbereich (laterobasale Fraktur) kontraindiziert.**

#### In Kürze

##### Otoskopie

- Die Otoskopie mit einem Ohrtrichter ist die wichtigste Untersuchungstechnik des Ohres.
- Sie wird am besten mit einem Untersuchungsmikroskop zur Beurteilung von Gehörgang und Trommelfell ausgeführt. Durch beidhändiges Arbeiten können Fremdkörper und Verschmutzungen beseitigt und Abstriche entnommen werden
- Beurteilt werden Form, Farbe und Beweglichkeit des Trommelfells sowie Sekretion und Blutungen aus dem Mittelohr.

## 2.4 Palpation

Dazu gehört die Untersuchung

- einer Schwellung nach Konsistenz, Ausdehnung und Schmerzhaftigkeit,
- eines Druck- oder Zugschmerzes an der Ohrmuschel,
- eines Druckschmerzes am Tragus,
- eines Druck- oder Klopfschmerzes auf dem Warzenfortsatz und
- eines Druckschmerzes der Ohrmuschelumgebung (Glandula parotidea, Fossa retro-mandibularis, Fossa infratemporalis, Lymphknoten).

## 2.5 Funktionsprüfungen

### 2.5.1 Hörprüfungen

Durch die Hörprüfungen sollen festgestellt werden:

- der Schweregrad = die Quantität,
- die Art (d. h. der Frequenzbereich) = die Qualität,
- der Sitz (Behinderung der Schallleitung oder der Schallempfindung) und
- die mögliche Ursache einer Hörstörung.

Eine **Schallleitungsschwerhörigkeit (konduktive Schwerhörigkeit)** entsteht im äußeren Ohr bzw. im Mittelohr (Mittelohrschwerhörigkeit).

Eine **Schallempfindungsschwerhörigkeit** entsteht entweder im Innenohr (**Innenohrschwerhörigkeit = sensorische oder kochleäre Schwerhörigkeit**), im Hörnerven (**Nervenschwerhörigkeit = neurale Schwerhörigkeit**) oder in der zentralen Hörbahn (**zentrale Schwerhörigkeit**) mit Auswirkung auf Sprachverstehen und Geräuschunterdrückung.

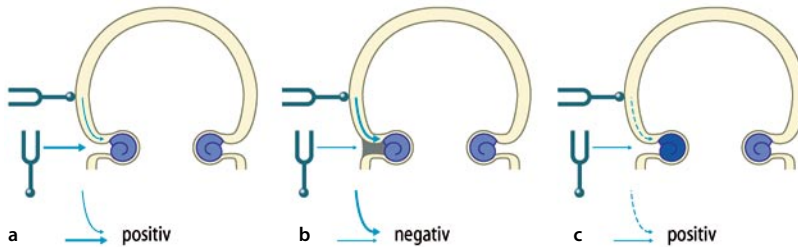
Neurale und zentrale Schwerhörigkeit haben ihren Sitz zentral des Innenohres. Sie werden deswegen zusammen als **retrokokleäre Schwerhörigkeit** bezeichnet.

### Tongehörprüfung

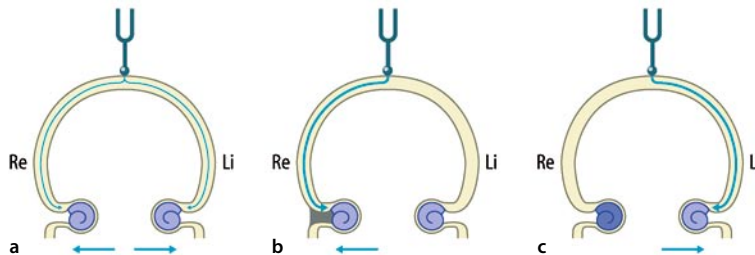
#### ■ Definition

**Stimmgabelprüfungen** ermöglichen als orientierende Hörprüfungen die Unterscheidung zwischen Schallleitungs- und Schallempfindungsschwerhörigkeit. Die Tonaudiometrie bestimmt quantitativ das Ausmaß des Hörverlustes.

**Rinne-Versuch** (▣ Abb. 2.4) Vergleich zwischen **Luftleitung** und **Knochenleitung** des gleichen Ohres. Die schwingende a1-Stimmgabel (435 Hz) wird zunächst auf den Knochen des Warzenfortsatzes gesetzt. Sobald der Patient die Stimmgabel nicht mehr hört, wird sie – ohne neu angeschlagen zu werden – vor das Ohr gehalten. Der **Normalhörige** hört die Stimmgabel dann wieder (Luftleitung besser als Knochenleitung = Rinne-positiv). Er hört also vor dem Ohr lauter und länger. Der **Schallleitungsschwerhörige** hört über Knochenleitung lauter und länger als über die behinderte Luftleitung



■ Abb. 2.4a–c Rinne-Versuch. a Normales Gehör; b Schallleitungsschwerhörigkeit; c Schallempfindungsschwerhörigkeit



■ Abb. 2.5a–c Weber-Versuch. a Seitengleiches Gehör; b rechts Schallleitungsschwerhörigkeit; c rechts Schallempfindungsschwerhörigkeit

(Rinne-negativ). Zumindest ist die Luftleitung gegenüber dem Normalhörigen verkürzt. Der **Schallempfindungsschwerhörige** hört sowohl über Luft als auch über Knochenleitung kürzer als der Normalhörige, über Luftleitung wird aber stets lauter und länger gehört als über Knochenleitung (Rinne-positiv).

**F06 Weber-Versuch** (■ Abb. 2.5) Prüfung der **Kopfknochenleitung**. Die auf die Mitte des Schädels aufgesetzte schwingende a1-Stimmgabel wird von einem **Normalhörigen** oder von einem **seitengleich Schwerhörigen** in beiden Ohren oder in der Kopfmitte gehört. Bei einem **einseitig Schallleitungsschwerhörigen** wird die Stimmgabel im schlechter hörenden Ohr, bei einem einseitig Schallempfindungsschwerhörigen im besser hörenden Ohr gehört (lateralisiert).

**Erklärungsversuch:** Beim Schallleitungsschwerhörigen nach der **Schallabflusstheorie von Mach**: Die Abstrahlung des dem Innenohr über den Knochen zugeführten Schalls in Richtung Mittelohr und Gehörgang wird behindert. Der Ton wird daher in diesem Ohr lauter gehört.

## Tonaudiometrie

### Definition

Sie dient der Überprüfung des Tongehörs mit elektroakustischen Mitteln. Es werden Schwellentests von überschwelligen Verfahren unterschieden.

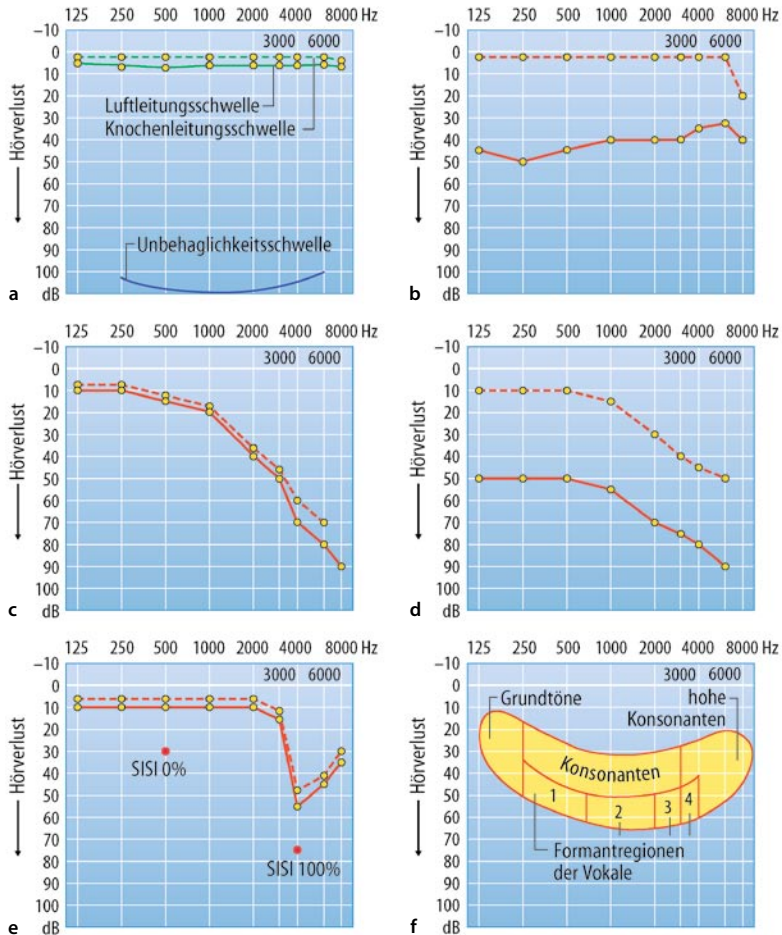
### Praxisbox

#### Tonaudiometrie

Das am meisten verwendete Tonaudiometer (Tongenerator) erzeugt reine Töne in Oktav- oder Quintabständen von C bis c6 (ca. 62 Hz bis 8000 Hz = 8 kHz oder 10 000 Hz = 10 kHz), die durch Lautstärkeregler von der Hörschwelle bis zur Unbehaglichkeitsschwelle verstärkt werden können. Die Töne werden für jedes Ohr einzeln – bei größerer Seitendifferenz des Gehörs und möglichem Überhören unter Ausschaltung des anderen Ohres durch Vertäubung – zunächst mittels Kopfhörer über Luftleitung und anschließend mit einem Knochenleitungshörer (aufgesetzt auf den Warzenfortsatz) über Knochenleitung gegeben.

### Hörschwellenmessung (Tonschwellenaudiometrie)

Im Tonaudiogramm entspricht die Nulllinie der psy-



■ **Abb. 2.6a–f** Tonaudiogramm. **a** Normales Gehör; **b** Schallleitungsschwerhörigkeit; **c** Schallempfindungsschwerhörigkeit; **d** kombinierte Schallleitungs-Schallempfindungsschwerhörigkeit; **e** akustisches Trauma (SISI 100% = SISI-Test im Beispiel bei 4000 Hz positiv); **f** Sprachfeld

chophysischen Hörschwelle eines normalhörenden Jugendlichen. Von hier aus wird jede Frequenz – beginnend mit der meist gut erkennbaren Frequenz 1000 Hz – in Stufen von je 1 dB verstärkt, bis sie vom Patienten gehört wird. Die Hörschwellen für die einzelnen Frequenzen werden markiert. Man erhält in dieser Relativdarstellung dann – für jedes Ohr getrennt – durch Verbindung der Hörschwellenpunkte Hörschwellenkurven für **Luftleitung**, die zuerst auf dem besser hörenden Ohr geprüft wird, und für **Knochenleitung** (■ Abb. 2.6a).

Die Nulllinie verläuft bei der Relativdarstellung (**subjektive Hörschwelle** Normalhöriger, **Hearing Level** = HL) horizontal. In einer Absolutdarstellung

(**physikalische Hörschwelle**, **Sound Pressure Level** = SPL) würde die Nulllinie im tiefen und im hohen Frequenzbereich abwärts gekrümmt verlaufen, weil die **Empfindlichkeit des Ohres** im mittleren Frequenzbereich am größten ist. In den tiefen und den hohen Tonlagen sind für die gleiche Lautheitsempfindung größere Schalldrucke erforderlich.

Das **Dezibel** (dB) ist das logarithmische Verhältnismaß zwischen dem Bezugsschalldruck (0 dB) und dem Prüfschalldruck. Nur so lässt sich der große Umfang des zu erfassenden Schalldruckbereiches darstellen.

0 dB entsprechen in der physikalisch exakten Absolutdarstellung einem Schalldruck von 20 Mikro-



pascal ( $\mu\text{Pa} = 2 \times 10^{-4}$  Mikrobar ( $\mu\text{bar}$ ) bei 1 kHz). Die Schmerzschwelle liegt bei etwa 120 dB. Der Abstand zwischen Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle wird als **Dynamikbereich** bezeichnet. Die Lautstärke normaler **Umgangssprache** liegt zwischen 60 und 70 dB. **Industrielärm** wird mit Lärmpegelmessern unter Verwendung des Filters A gemessen – wobei besonders die schädlichen hohen Frequenzen berücksichtigt werden – und in dB (A) angegeben.

Das **Phon** ist ein Maß der Lautstärke, das die Frequenzabhängigkeit des Ohres berücksichtigt und sich an der Lautstärkeempfindung orientiert, die ein Ton von 1000 Hz auslöst. Die Skalen für Dezibel und Phon sind bei 1000 Hz identisch.

### Formen der Schwerhörigkeit

- Eine **Schallleitungsschwerhörigkeit** zeigt sich an einer Differenz zwischen der Hörschwellenkurve für Knochenleitung und der für Luftleitung, die schlechter liegt, d. h. für die größere Lautstärken benötigt werden (Air-Bone Gap). Der Hörverlust über Luftleitung, angegeben in Dezibel (dB), ist größer als über Knochenleitung (■ Abb. 2.6b).
- Bei einer **Schallempfindungsschwerhörigkeit** (z. B. Altersschwerhörigkeit) besteht keine Differenz zwischen der Schwelle für Luft- und Knochenleitung.

Da der Schallempfindungsschwerhörige im Allgemeinen die hohen Frequenzen aber besonders schlecht hört, werden in diesem Bereich größere Lautstärken benötigt, bis die Hörschwelle angegeben wird. Die Hörschwellenkurven sinken im hohen Tonbereich ab, d. h. es besteht vor allem ein Hörverlust – in dB ausgedrückt – im hohen Tonbereich (**Hochtonschwerhörigkeit**; ■ Abb. 2.6c). Neben diesem häufigsten **basokochleären Typ** der Schwerhörigkeit gibt es seltener den **mediokochleären Typ** (bei **hereditärer Schwerhörigkeit**) und den **apikokochleären Typ** (**Bass-Schwerhörigkeit** bei Morbus Menière). Die **pantonale Schwerhörigkeit** zeigt einen Hörverlust über alle Frequenzen.

Beim **akustischen Trauma** treten Senken der Hörschwellenkurven im hohen Tonbereich (c5 = 4000 Hz) auf (■ Abb. 2.6e).

➤ Bei einer kombinierten Schallleitungs-Schallempfindungsschwerhörigkeit findet man eine Knochenleitungs-Luftleitungs-Differenz als Ausdruck der Schallleitungskomponente und einen Abfall der Hörschwellenkurven für Knochenleitung als Ausdruck der Schallempfindungskomponente (■ Abb. 2.6d).

Der Verlauf der Knochenleitungskurve zeigt die noch vorhandene Innenohrleistung an. Lediglich bei der **otosklerotischen Stapesfixation** zeigt sich auch bei einer reinen Schallleitungsschwerhörigkeit neben der Knochenleitungs-Luftleitungs-Differenz eine Verschlechterung der Knochenleitung im mittleren Frequenzbereich um etwa 15 dB (**Carhart-Senke**), die wahrscheinlich mittelohrbedingt ist.

Denkt man sich in ein Tonaudiogramm das »**Sprachfeld**« (Sprachbanane) eingezeichnet (■ Abb. 2.6f), so bekommt man eine Vorstellung vom **sprachlichen Restgehör**. Alle Anteile der Sprache, die bei einem Schwerhörigen oberhalb der Hörschwellenkurve (Luftleitung) liegen, können nicht mehr gehört werden.

### Überschwellige Hörmessungen

F07

- Hörfeldskalierung
- Recruitmentmessung nach Fowler
- Geräuschaudiometrie nach Langenbeck
- SISI-Test nach Jerger
- Objektive Hörtests (METZ-Recruitment, ERA, otoakustische Emissionen)
- Sprachaudiometrie

#### ■ Definition

Sie erfassen das überschwellige Verhalten des Gehörs. Bei den subjektiven Verfahren werden die reizpegelabhängige Lautheit und das Sprachverständnis, bei den objektiven Verfahren die Reizantwort bewertet.

Bei einer **sensorischen Schwerhörigkeit** (Innenohrschwerhörigkeit = Haarzellschaden = Corti-Organschaden = sog. kochleäre Schwerhörigkeit, wie z. B. bei einem akustischen Trauma und einem Morbus Menière) liegt ein sog. Recruitment vor. Bei einer **retrokochleären Schwerhörigkeit** wie z. B. bei einem Akustikusneurinom oder einer Multiplen Sklerose kann das Recruitment fehlen (bei negativem

Ausfall liegt kein Haarzellschaden vor). Nachgewiesen wird eine retrokochleäre Schwerhörigkeit mit Hilfe der akustisch evozierten Potenziale (BERA).

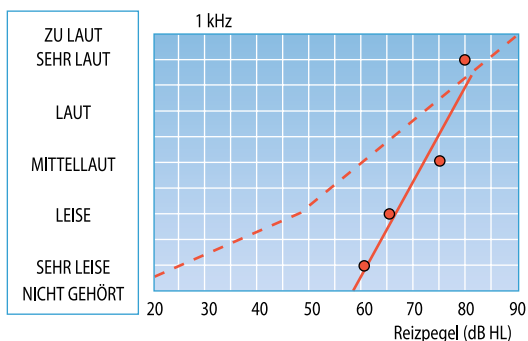
**Recruitment-Hypothese** Bei **normalem Hörvermögen** wirken die äußeren Haarzellen bei geringen Schallintensitäten schallverstärkend. Bei mittlerer Schallintensität reicht die Auslenkung der Basilarmembran allein durch den Schallreiz aus, die inneren Haarzellen anzuregen. Bei hoher Schallintensität wird die Auslenkung der Basilarmembran durch die äußeren Haarzellen aktiv gedämpft, so dass die inneren Haarzellen erst bei hohen Schallpegeln maximal erregt werden und die **Unbehaglichkeitsschwelle** erreicht wird (■ Abb. 2.6a).

Fallen nun die äußeren Haarzellen aus (wie bei den meisten Fällen **sensorischer Schwerhörigkeit**), fehlen die Schallverstärkung und die Dämpfung der Basilarmembran. Die fehlende Schallverstärkung führt zu einem Hörverlust. Durch Wegfall der Dämpfung werden die inneren Haarzellen bereits bei niedrigeren Schallpegeln maximal erregt.

Dadurch kommt es bei Schallpegeln oberhalb der Hörschwelle des Innenohrschwerhörigen zu einem überproportional starken Zuwachs der Lautheitsempfindung (**Recruitment**) mit vorzeitigem Erreichen der Unbehaglichkeitsschwelle. Der Dynamikbereich des Gehörs ist somit eingeschränkt.

**Hörfeldskalierung** (■ Abb. 2.7) bei **ein- und beidseitiger Schallempfindungsschwerhörigkeit** Sie dient der Bestimmung des frequenzabhängigen Dynamikbereiches mit Hilfe von Lautheitskategorien. Der Schwerhörige ordnet die dargebotenen Lautstärken einer Lautheitskategorie zwischen sehr leise bis sehr laut zu. Damit lässt sich das verbliebene **Hörfeld** zwischen Hörschwelle und Unbehaglichkeitsschwelle frequenzbezogen genau vermessen. Bei der **Anpassung von Hörhilfen** (► Kap. 5.2.12) wird ein Abgleich zwischen der geräteseitigen Verstärkung und dem Hörfeld vorgenommen und so die optimale Geräteauswahl und -anpassung erleichtert.

**Recruitmentmessung nach Fowler (Lautheitsausgleich) bei einseitiger Schwerhörigkeit** (■ Abb. 2.8) Es wird bei seitendifferentem Gehör festgestellt, ob auf dem schlechter hörenden Ohr im überschwelligen Bereich bei zunehmender Intensität der Töne



■ **Abb. 2.7** Lautheitsskalierung. Der Patient ordnet verschiedene Hörbeispiele den Lautheitskategorien sehr leise bis sehr laut zu. Bei Normalhörenden ergibt sich ein diagonalen Anstieg. Liegt eine eingeschränkte Dynamik vor, kommt es zu einem steilen Anstieg der Lautheitsempfindung (—)

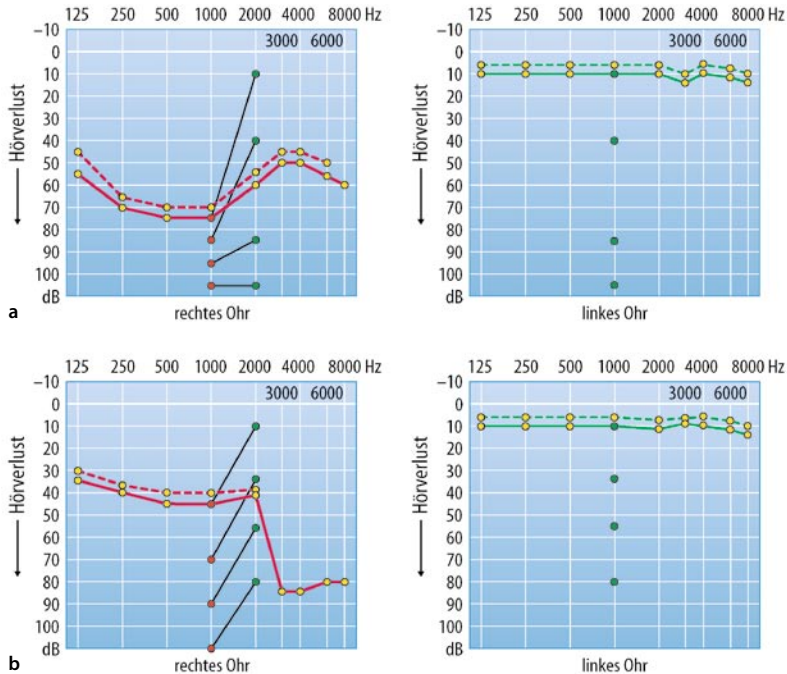
diese gleich laut wie auf dem besser hörenden Ohr empfunden werden oder nicht. Der Fowler-Test ist positiv (Recruitment positiv) und spricht für eine sensorische Schwerhörigkeit (Corti-Organschaden), wenn ein Lautheitsausgleich auftritt. Er wird heute selten verwendet.

**Geräuschaudiometrie nach Langenbeck bei ein- und doppelseitiger Schwerhörigkeit** (■ Abb. 2.9) Es wird festgestellt, ob ein Prüftön im Niveau der benutzten Geräuschlautstärke gehört wird oder ob er verdeckt ist, also nicht gehört wird (Mithörschwelle).

**SISI-Test nach Jerger (Short Increment Sensitivity Index = Erkennbarkeit kurzer Lautstärkeerhöhungen)** Es wird das Intensitätsunterscheidungsvermögen festgestellt. Ein Dauerton 20 dB über der Hörschwelle wird 20mal für je 0,2 Sekunden vorübergehend um ein dB verstärkt. Empfindet der Schallempfindungsschwerhörige im Bereich seines Hörverlustes alle oder fast alle Lautstärkeerhöhungen (60–100%), so ist der Test positiv (■ Abb. 2.6e) und spricht für eine sensorische Schwerhörigkeit. Patienten mit neuraler Schwerhörigkeit empfinden oft keine der geringen Lautstärkeerhöhungen oder nur wenige (0–15% = SISI-Test negativ).

► **Der positive SISI-Test zeigt eine sensorische Schwerhörigkeit (Corti-Organschaden) an und kann bei einseitiger und doppelseitiger Schwerhörigkeit angewendet werden.**





■ **Abb. 2.8a,b** Fowler-Test. **a** Positives Recruitment (Lautheitsausgleich) bei M. Menière rechts = sensorische Schwerhörigkeit. Überträgt man die Punkte gleicher Lautheit aus dem Audiogramm des gesunden (linken) Ohres auf das Audiogramm des kranken (rechten) Ohres – und zwar der Übersichtlichkeit wegen in eine benachbarte Frequenz – und verbindet sie, so ergeben sich konvergierende Linien gleicher Lautheit von der gesunden zur kranken Seite im überschwelligen Bereich. **b** Negatives Recruitment (fehlender Lautheitsausgleich) bei einem Akustikusneurinom rechts = neurale Schwerhörigkeit. Die Linien gleicher Lautheit von der gesunden zur kranken Seite laufen parallel

## Hörermüdungstests

### ■ Definition

Sie erfassen das zeitliche Verhalten der mit Dauerton und Pulston bestimmten Hörschwelle.

### ➤ Eine pathologische Hörermüdung spricht für eine retrokocleäre Schwerhörigkeit.

**Carhart-Schwellenschwundtest (Tone Decay)** Die Hörschwelle eines gegebenen Dauertons verschlechtert sich bei **pathologischer Hörermüdung**, so dass die Lautstärke mehrfach um 5 dB erhöht werden muss, damit der Patient wieder wahrnimmt. Es handelt sich um eine neurale Schwerhörigkeit, wenn die Hörschwelle um 30 dB abwandert.

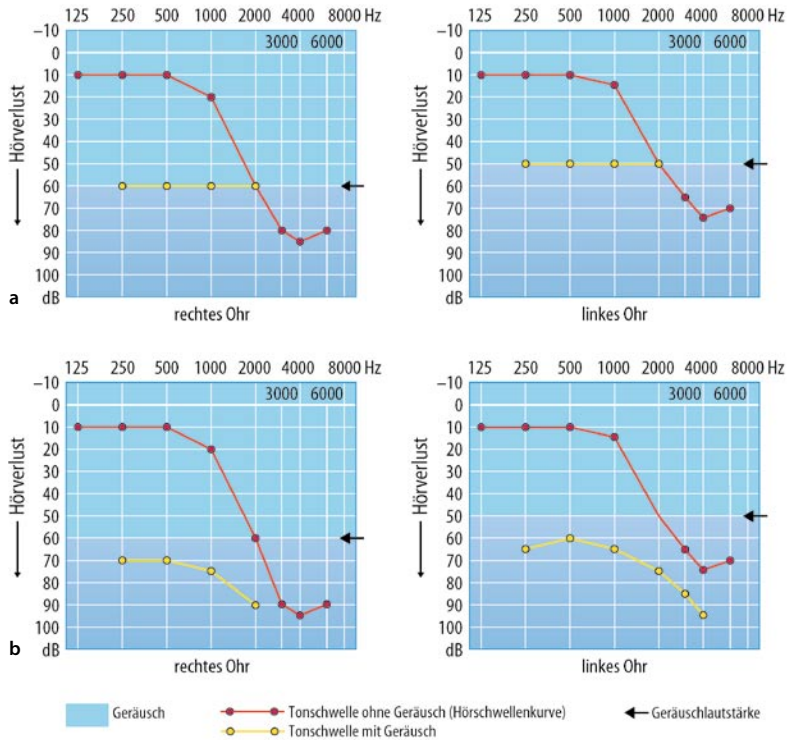
**Automatische Audiometrie nach von Békésy** Der Patient zeichnet seine Hörschwellen selbst laufend mit einem automatisch arbeitenden Audiometer

auf. Die Frequenzen werden als Dauerton oder Impulston gegeben. Die **Dauertonhörschwelle** verschlechtert sich bei pathologischer Hörermüdung ständig. Die **Impulstonhörschwelle** dagegen zeigt ein geringeres Absinken, weil das Ohr Gelegenheit hat, sich immer wieder zu erholen. Es kommt zur »**Separation**« der Dauertonschwellenkurve von der Impulstonhörschwelle.

## Sprachgehörprüfung

**Hörweitenprüfung (Sprachabstandsprüfung)** Geprüft wird das Verständnis für **Flüstersprache** (mit Reserluft gesprochen) und für **Umgangssprache** aus verschiedenen Entfernungen. Als Testmaterial dienen viersilbige Zahlwörter zwischen 21 und 99. Jedes Ohr wird einzeln geprüft. Die Hörweite wird in Metern angegeben.

Die nur orientierende Hörweitenprüfung und die Stimmgabelprüfungen werden als »**klassische Hör-**



**Abb. 2.9a,b** Langenbeck-Test. **a** Sensorische Schwerhörigkeit (Haarzellschaden, Corti-Organschaden) beiderseits, Prüftöne werden im Niveau der benutzten Geräuschlautstärke gehört und durch Geräusch nicht verdeckt = »Einmünden« der im Geräusch gehörten Tonschwelle in die Hörschwellenkurve (im Beispiel bei 2000 Hz). **b** Neurale Schwerhörigkeit beiderseits. Prüftöne durch Geräusch verdeckt = »Ausweichen« der im Geräusch gehörten Tonschwelle vor der Hörschwellenkurve

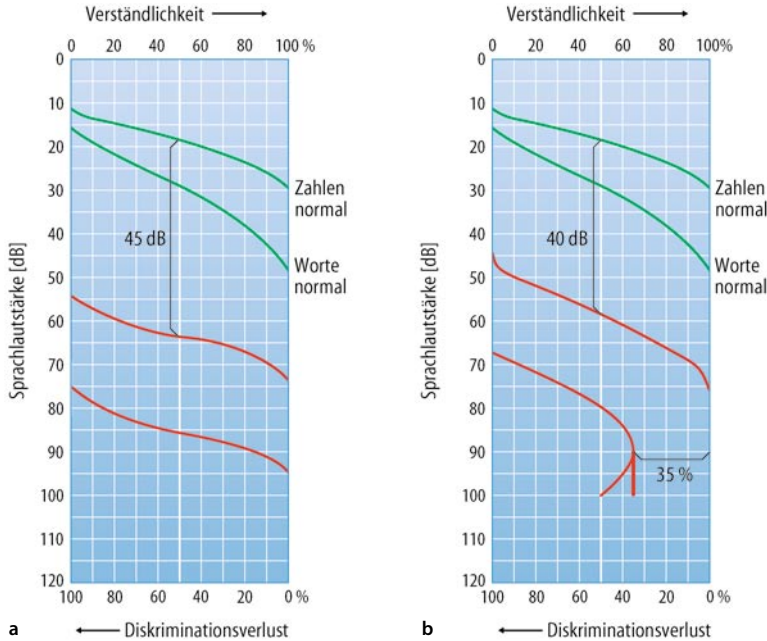
prüfung«, die audiometrischen Verfahren als »elektroakustische Hörprüfmethode« bezeichnet.

**Sprachaudiometrie** Bei dieser Form der Sprachgehörprüfung werden über Kopfhörer oder über Lautsprecher – zuerst für das besser hörende Ohr – Reihen **mehrsilbiger Zahlen** und anschließend **einsilbiger Testwörter** abgespielt (Freiburger Sprachtest). Die Lautstärke ist anfangs gering und wird von Testreihe zu Testreihe erhöht. Es wird festgestellt, wie viel Prozent der Zahlen bzw. Wörter in jeder Testreihe bei den verschiedenen Verstärkungen gehört werden. In das Sprachaudiogramm werden die Kurven für das **Zahlenverstehen** und für das **Wortverstehen** eingetragen (Abb. 2.10).

Die Untersuchung in geräuschfreier Umgebung ist zwar unnatürlich, muss jedoch solange als Standard zur Erfassung des Sprachgehörs gelten, bis validierte Sprachtests mit Störgeräusch zur Verfü-

gung stehen. Wenn die Sprachgehörprüfung unter Bedingungen des täglichen Lebens vorgenommen werden soll, wird bei der Sprachaudiometrie zusätzlich verschiedener, standardisierter **Störschall** (z. B. Stimmengewirr) verwandt (z. B. Göttinger Satztest, Oldenburger Satztest).

Bei einer **Schallleitungsschwerhörigkeit** sind Zahlenkurve und Einsilberkurve nach den großen Lautstärken verschoben, erreichen aber bei genügender Verstärkung stets 100% Verständlichkeit. Bei manchen **Schallempfindungsschwerhörigkeiten** wird trotz maximaler Verstärkung keine 100%ige Wortverständlichkeit erreicht, es besteht dann ein Wortverständnisverlust (**Diskriminationsverlust**). Diese Patienten haben einen besonders starken Hörverlust in den hohen Frequenzen. Bei Patienten mit **retrokokleärer Schwerhörigkeit** kann das Sprachverstehen bei größeren Lautstärken sogar absinken.



■ Abb. 2.10a,b Sprachaudiogramm. a Schallleitungsschwerhörigkeit; b Schallempfindungsschwerhörigkeit

➤ Bei der Schallleitungsschwerhörigkeit ist die akustische Information abgeschwächt, bei der Schallempfindungsschwerhörigkeit ist sie verstümmelt.

Charakterisiert wird der **Grad der Schwerhörigkeit**

- durch die Verschiebung der Zahlenkurve auf der Linie der 50%igen Verständlichkeit. Die Verschiebung ergibt den **Hörverlust für Zahlen** in Dezibel (dB) – im Beispiel ■ Abb. 2.10a: 45 dB, in ■ Abb. 2.10b: 40 dB,
- durch den **Diskriminationsverlust** bei Prüfung mit einsilbigen Wörtern in Prozent – im Beispiel ■ Abb. 2.10a: 0%, in ■ Abb. 2.10b: 35%.

Für **Begutachtungszwecke** lassen sich aus Tabellen aufgrund der Werte der Sprachaudiometrie die prozentualen Hörverluste gegenüber dem Normalhörenden ablesen und danach die **Minderung der Erwerbsfähigkeit** bzw. der **Grad der Behinderung** festsetzen. Außer bei der Begutachtung wird die Sprachaudiometrie zur Feststellung des vorhandenen Sprachgehörs vor allem vor und nach gehörverbessernden Operationen und bei der Anpassung von Hörgeräten durchgeführt. **Satztests** verwenden

phonetisch balancierte Listen mit Mehrwortsätzen. Sie erlauben eine bessere Abschätzung des Sprachverstehens unter Alltagsbedingungen (z. B. Oldenburger Satztest mit und ohne Störgeräusch).

## Prüfung der zentralen Hörfunktionen

Durch künstlich erschwerte Testsprache (Verstümmelung, Unterbrechung, Akzeleration) der einem Ohr zugeleiteten oder beiden Ohren gleichzeitig gegebenen mehrsilbigen, rechts und links verschiedenen Wörter (dichotischer Diskriminationstest nach Feldmann) lässt sich die **zentrale Sprachsynthese** oder das **Unterscheidungsvermögen** als zentrale Hörleistung überprüfen. Als zentrale Hörleistung gilt auch das **Richtungshörvermögen**, das mit Hilfe eines Lautsprecherkreises geprüft wird. Die **binaurale Hörleistung** wird als Differenz zwischen ein- und beidseitiger Darbietung des Sprachsignals im Störgeräusch bestimmt.

Das **zentrale Sprachverstehen** kann z. B. herabgesetzt sein bei Hirntumoren, bei Multipler Sklerose, durch Medikamente, bei Durchblutungsstörungen und im Alter (Topodiagnostik zentraler Hörstörungen durch ERA). Bei der Prüfung des zentralen Sprachverstehens hängt das Ergebnis nicht

zuletzt vom Intelligenzgrad und der Compliance des Patienten ab.

Die Hörfunktion kann bei normaler Hörschwelle durch eine zentrale auditorische **Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörung** oder eine **zentrale Fehlhörigkeit** beeinträchtigt sein. Sie führen bei Kindern durch Nachlassen der Aufmerksamkeit und rascher Ermüdung zu ungenügenden schulischen Leistungen und haben Einfluss auf die **Sprachentwicklung**. Die akustischen Informationen werden im Gehirn fehlerhaft verarbeitet. Die Fähigkeit, aus komplexen Schallereignissen Wörter und Sätze herauszufiltern, insbesondere die **Spracherkennung im Störgeräusch** und das **Richtungshören**, sind eingeschränkt.

## Kinderaudiometrie im Rahmen der Pädaudiologie

**Audiometrie im Kindesalter (Pädaudiologie)** Erste Reaktionen auf Schallreize zeigen Feten ab dem 6. Schwangerschaftsmonat. Mittel- und Innenohr sind bei Geburt bereits entwickelt und funktionsfähig. Die zentrale Hörbahn durchläuft einen **Reifungsprozess**, der erst mit dem 12. Lebensjahr abgeschlossen ist. An Hörstörungen bei Säuglingen und Kleinkindern ist bei »Risikokindern« (► Kap. 5.2.10), Ohrmissbildungen, Elternverdacht oder Entwicklungsstörungen der Sprache besonders zu denken. Man bedient sich zur Hörprüfung je nach dem Alter des Kindes

- des **Neugeborenenhörscreenings** mittels otoakustischer Emissionen oder automatisierter BERA;
- der **Reflexaudiometrie** bis zum 2. Lebensjahr: Bei akustischen Reizen kommt es zum auri-palpebralen Reflex (Lidschlag) oder zum Blickwenden bzw. Kopfwenden zur Schallquelle (**Verhaltensaudiometrie**, Distraction Test);
- der **Spielaudiometrie** ab dem 2. bis zum 4. Lebensjahr, wobei das Kind beim Hören eines Tones einen Baustein zum anderen legen oder ein neues Märchendiaapositiv einschalten darf (»Peep Show«);
- **spezieller Kinderhörtests** mit altersadaptiertem Testmaterial;
- der **Siebttests** im Kindergarten- und Schulalter z. B. mit Dreitonaudiometern als Reihenuntersuchungen zur Prüfung der wichtigsten Fre-

quenzen. Wird dadurch eine Schwerhörigkeit aufgedeckt, folgen dann eingehende Untersuchungen einschließlich der objektiven Audiometrie (ERA und otoakustische Emissionen s. unten);

- der **objektiven Audiometrie** (s. unten).

➤ **Zur Untersuchung gehört die Prüfung des Intelligenzgrades, des allgemeinen und motorischen Entwicklungsstandes, des Sprachentwicklungsstandes und der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung, letztere zur Diagnostik von zentralen Hör- und Wahrnehmungsstörungen**

**Therapeutische Folgerungen** aus den Ergebnissen der Hörprüfungen bei Neugeborenen und Kleinkindern sind eine Frühförderung durch Anpassen eines Hörgerätes im Alter ab 3 Monaten, die Cochlea-Implantation bei kongenitaler oder erworbener Taubheit und ein Hörtraining oder eine hörverbessernde Operation bei Schallleitungsschwerhörigkeit sowie Hör-, Sprach- und Sprecherziehung.

## Objektive Audiometrie, ERA

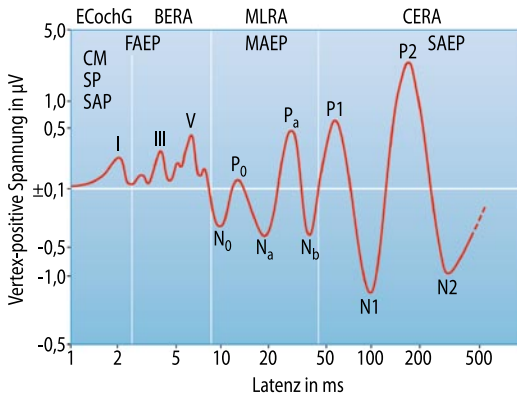
### ■ Definition

Im Gegensatz zu den subjektiven – psychoakustischen Verfahren ermöglichen die objektiven Hörprüfungsmethoden eine Beurteilung des Hörvermögens ohne Angaben des Patienten allein durch Registrierung auditorischer reizkorrelierter Parameter.

➤ **Neben der Reflexaudiometrie, den otoakustischen Emissionen und der Impedanzaudiometrie hat sich die ERA (= Electric Response Audiometry, elektrische Reaktionsaudiometrie) zum wichtigsten Verfahren entwickelt.**

Die unter periodischer akustischer Reizeinwirkung entstehenden sinnesspezifischen elektrischen Potenzialschwankungen des Hörsystems (**AEP = Akustisch Evozierte Potenziale**) lassen sich durch die computergestützte Mittelungstechnik (**Averaging**) vom überlagerten reizunabhängigen EEG trennen. Die Ableitung erfolgt mit Oberflächen Elektroden vom Schädel bzw. mit Nadelelektroden vom Promontorium.

Die AEP entstehen in örtlich-zeitlicher Reihenfolge entlang der Hörbahn ab den Haarzellen in der



■ **Abb. 2.11** ERA-Methoden (oben) und AEP (darunter) im Überblick. CM, SP und SAP sind zur Orientierung in die Abbildung eingetragen, jedoch nicht dargestellt (I–V, N u. P = Potenzialbezeichnungen; in Anlehnung an Picton)

Cochlea bis zur Hörrinde, spiegeln Teilfunktionen des Hörvorganges wieder und können bestimmten anatomischen Strukturen zugeordnet werden (**Topodiagnostik**). Für klinische Zwecke werden folgende Verfahren eingesetzt (■ Abb. 2.11):

- Bei der **ECochG** (Elektrokochleographie) wird eine Nadelelektrode transtympanal auf dem Promontorium platziert. Für die Innenohr-diagnostik werden gewonnen: reizsynchrone Antworten der Haarzellen (**CM** = Cochlear Microphonics), das durch asymmetrische Auslenkung der Basilarmembran während des Reizvorganges entstehende Summationspotenzial (**SP**) sowie das Summenaktionspotenzial des Hörnerven (**SAP** = Welle I der FAEP).
- Bei der nicht invasiven **BERA** (Brainstem Electric Response Audiometry) werden über Oberflächenelektroden an Vertex und Mastoid die klinisch wichtigen frühen akustisch evozierten Potenziale (**FAEP**) aus Hörnerv und Hirnstamm abgeleitet.
- Mit ähnlicher Technik werden die mittleren akustisch evozierten Potenziale (**MAEP**) aus Thalamus und primärer Hörrinde (**MLRA** = Middle Latency Response Audiometry) und die langsamen oder späten akustisch evozierten Potenziale (**SAEP**) aus primärer und sekundärer Hörrinde (**CERA** = Cortical Electric Response Audiometry) registriert.

Die ERA nimmt an Bedeutung ständig zu und ist für folgende Aufgaben als zuverlässiges Verfahren unerlässlich: H10

- **Hörscreening** und **Schwellenbestimmung** bei Neugeborenen und Kleinkindern (**BERA**) im Schlaf, in Sedierung oder Narkose.
- **Hörschwellenbestimmung** bei Aggravation und Simulation im Rahmen der Begutachtung und bei Verdacht auf **psychogene Schwerhörigkeit** (**CERA**, **MLRA**).
- **Topodiagnostik** von Hörstörungen in kochleär/neural/zentral (**ECochG**, **BERA**, **CERA**).
- Nachweis eines **Akustikusneurinoms** durch Verlängerung der Leitzeit (die Potenziale treten verzögert auf = Latenzverlängerung, und der zeitliche Abstand zwischen den Potenzialgipfeln ist verlängert; **BERA**).
- **Hydropsnachweis** bei M. Menière durch vergrößertes Summationspotenzial (**ECochG**).

**Funktionsnachweis von Hörgeräten und Cochlea-Implantaten:** Bei akustischer Reizung des Innenohres oder elektrischer Reizung des Hörnerven können evozierte Potenziale zum Nachweis der Hörverbesserung und Integrität des Hörnerven (Neural Response Telemetry) eingesetzt werden.

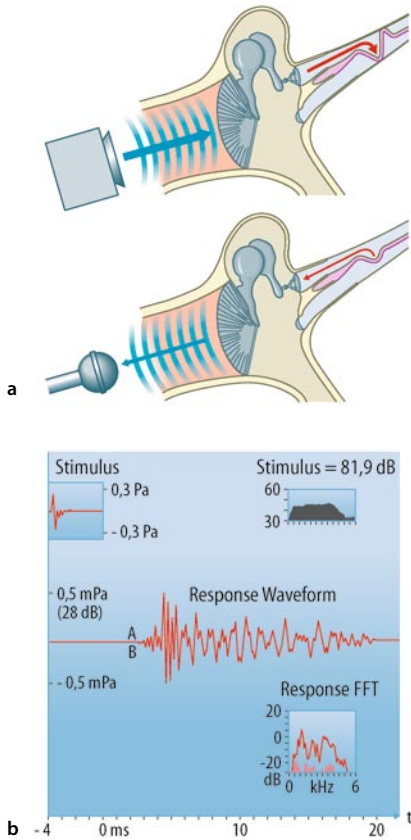
## Otoakustische Emissionen H10 F11

Nach akustischem Reiz können vom gesunden Ohr »aktive« **otoakustische Emissionen** (**OAE**, akustische Geräuschaussendungen) registriert werden, entstanden wahrscheinlich durch **Kontraktionen äußerer Haarzellen**. Die in ihrer Intensität meistens unterhalb der Hörschwelle liegenden Schallsignale des Innenohres werden mit hochempfindlichen Messmikrofonen registriert. Sie erlauben eine objektive Funktionsprüfung des Innenohres

➤ **Abhängig vom Hörvermögen in den einzelnen Frequenzen fehlen sie bei sensorischen Hörverlusten von mehr als 30 dB, bei sicherem Nachweis dieser transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen (TEOAE) ist die Funktion äußerer Haarzellen normal oder nur gering gestört (■ Abb. 2.12)**

Bei ca. 30% der Normalhörenden können OAE auch ohne einwirkenden akustischen Reiz fortlaufend registriert werden, sog. **Spontane Otoakustische**





■ Abb. 2.12a,b Otoakustische Emissionen (OAE). a Entstehung im Innenohr; b transitorisch evozierte OAE (Response-Wave-Form)

**Emissionen (SOAE)**, die ebenfalls Ausdruck einer normalen Innenohrfunktion sind. Eine weitere Gruppe stellen **kochleäre Distorsionsprodukte (DPOAE)** dar. Sie entstehen als zusätzliche Töne bei Stimulation der Cochlea durch zwei Sinustöne unterschiedlicher Frequenz (nachweisbar bis 50 dB Hörverlust). Die klinische Bedeutung der OAE liegt im Nachweis von Funktion und Funktionsstörungen äußerer Haarzellen, die bei der überwiegenden Anzahl aller Innenohrschwerhörigkeiten geschädigt sind (OAE nicht anwendbar bei Schallleitungs-schwerhörigkeiten). Einsatzgebiete sind:

- Hörscreening ab Geburt (im Zusammenhang mit der BERA, ► Abschn. 2.5.1);
- Früherfassung ototoxischer Schädigungen (durch Zytostatika [Cisplatin], Aminoglykosidantibiotika und Schleifendiuretika);

- Nachweis gesteigerter Lärmempfindlichkeit des Innenohres (vergrößerte Amplitude);
- Hörschwellenüberprüfung bei Aggravation und Simulation im Rahmen der Begutachtung sowie bei psychogener Schwerhörigkeit;
- Topodiagnostik von Hörstörungen in kochleär/retrokokleär zusammen mit der BERA.

## Impedanzänderungsmessung

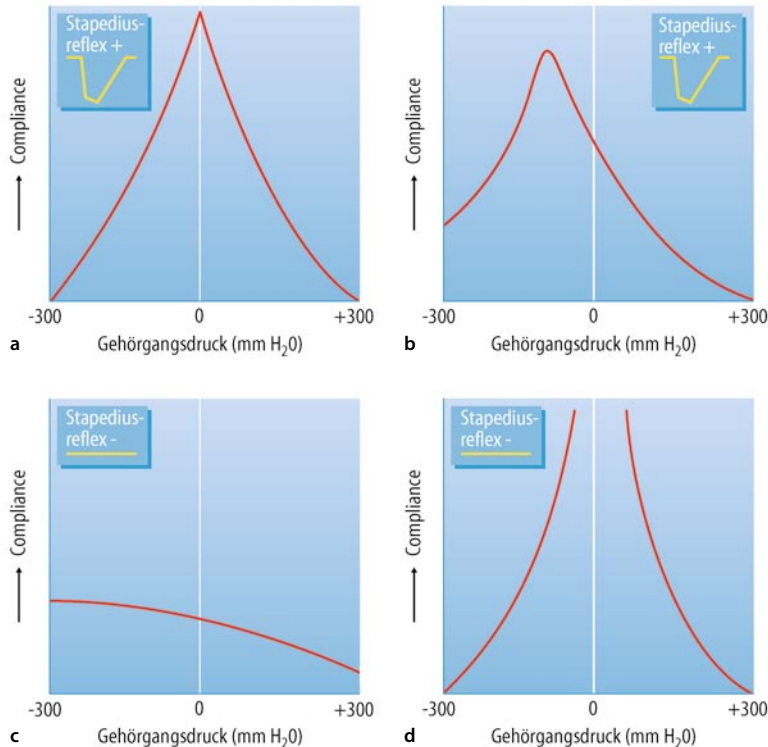
Sie dient in erster Linie der objektiven Funktionsdiagnostik des **Schallleitungsapparates**. Bei normalem Trommelfell und Mittelohr wird der größte Teil der auftretenden Schallenergie absorbiert und dem Innenohr zugeführt. Ein kleiner Teil wird durch den akustischen Widerstand (= Impedanz) des Trommelfelles und des Mittelohres reflektiert. Gemessen werden die Amplitude und Phase des vom Trommelfell reflektierten Schallanteiles (Sondenton 220 Hz) bei **Impedanzänderungen**. Diese Änderungen werden bewirkt

- durch Kontraktion der Mittelohrmuskeln (reflektorisch) mit Versteifung der Gehörknöchelchenkette (Stapediusreflex/Tensorreflex) und
- durch Änderung des Luftdruckes im äußeren Gehörgang und dadurch bedingter veränderter Spannung des Trommelfell-Gehörknöchelchen-Apparates (**Tympanometrie**). Beides wird diagnostisch genutzt.

**Stapediusreflexprüfung/Tensorreflex** Bei Beschallung eines Ohres mit großer Lautstärke von 70–90 dB über der Schwelle kommt es über die Kerngebiete zu einer Kontraktion des M. stapedius (**akustikofazialer Reflex**) auf beiden Seiten. Die Auslösung des zu prüfenden Stapediusreflexes geschieht meist durch die Beschallung des kontralateralen Ohres (**Reizohr**). Die Impedanzänderungsmessung (Reflexmessung) erfolgt auf dem Reaktionsohr (**Sondenohr, Messohr**), in dem der reflektierte Sondentonschallanteil gemessen wird. Der **ipsilaterale Stapediusreflex** ist bei Taubheit des Gegenohres oder Unterbrechung des kontralateralen Reflexbogens im Stammhirn erhalten.

Der **Tensorreflex** kann nach einem taktilen Reiz (Anblasen der Orbitalregion) auf der gleichen Seite auftreten. Er verläuft über einen **trigeminofazialen Reflexbogen**.





■ **Abb. 2.13a–d** Tympanogramm. **a** Normales Mittelohr: Tympanogrammkurven nicht verändert = normale Compliance (Nachgiebigkeit) des Trommelfells. Stapediusreflex vorhanden; **b** Tubenmittelohrkatarrh mit Unterdruck in der Paukenhöhle: Kurvengipfel nach links zu den negativen Drucken (mm WS) verschoben und flacher. Stapediusreflex vorhanden; **c** Seromucotympanum: Kurve abgeflacht, maximale Impedanz. Stapediusreflex fehlt; **d** Amblyosklerose: steile, oben offene Kurve (überhöhte Compliance). Stapediusreflex fehlt

Voraussetzung für eine Messung der reflektorischen Impedanzänderung ist ein intaktes Mittelohr und die Möglichkeit, den gleichen Druck, wie er im Mittelohr herrscht, im äußeren Gehörgang herzustellen (s. unten, Tympanometrie).

Die **Impedanzänderung** durch den akustisch ausgelösten Stapediusreflex sagt etwas aus

- über das **Hörvermögen des beschallten Ohres** (objektive Hörprüfungsmethode), weil der Reflex ausbleibt, wenn die Reflexschwelle nicht erreicht wird, z. B. bei hochgradiger Schwerhörigkeit (auf dem beschallten Ohr);
- über das Vorhandensein eines **Recruitment (METZ-Recruitment)** auf dem beschallten Ohr, weil dann die Reflexschwelle abnorm nahe (30 dB) an der Hörschwelle liegt (**Stapedius-lautheitstest**);

- über das Vorhandensein einer **retrokochlären Schwerhörigkeit** auf dem beschallten Ohr, weil dann ein größerer Abstand zwischen Hörschwelle und Reflexschwelle besteht (oder der Stapediusreflex fehlt);
- über das Vorhandensein einer **Hörermüdung** auf dem beschallten Ohr (afferenter Schenkel), weil bei Dauerbeschallung dann der Stapediusreflex der Reaktionsseite (efferenter Schenkel) ebenfalls »ermüdet« (**Reflex Decay**);
- über den **Zustand der Gehörknöchelchenkette** der Reaktionsseite, weil der Stapediusreflex nicht registrierbar ist bei Fixation der Kette (z. B. Stapesankylose bei Otosklerose: dabei bleibt der Tensorreflex erhalten; oder z. B. Tympanosklerose: dabei fehlt der Tensorreflex ebenfalls) und bei Unterbrechung der Kette (z. B. Amblyosklerose: dabei bleibt der Tensorreflex erhalten);

- über den **Schädigungsort der Fazialisparese**, weil der Stapediusreflex der Reaktionsseite bei einer Fazialisunterbrechung proximal vom Abgang des N. stapedius fehlt, und
- über den **Reflexbogen im Stammhirn**, weil der Stapediusreflex bei zentraler Unterbrechung des Reflexbogens fehlt (Hirntumoren, Blutungen).

**Tympanometrie (Messung des Mittelohrdrucks; ▣ Abb. 2.13)** Erzeugt man bei intaktem Trommelfell im Gehörgang, in dem sich die Messsonde für den reflektierten Schallanteil befindet, zunächst einen Überdruck, dann eine Druckgleichheit wie im Mittelohr und anschließend einen Unterdruck, lässt sich die **druckabhängige Impedanzänderung** durch die Messung des reflektierten Sondentonschallanteils in einer Kurve (**Tympanogramm**) aufzeichnen (normales Mittelohr, Kurve ▣ Abb. 2.13a). Bei der Tympanometrie bekommt man – zusammen mit der Stapediusreflexprüfung – neben Hinweisen auf die **Trommelfellbeschaffenheit** (je steifer das Trommelfell, umso niedriger der Kurven Gipfel) vor allem eine Bestätigung der Diagnose

- eines **Tubenmittelohrkatarrhs** bei retrahiertem Trommelfell mit Unterdruck in der Paukenhöhle (mit dem Gipfel nach links zu den negativen Drucken verschobene und flachere Kurve, ▣ Abb. 2.13b);
- eines **Paukenergusses** (z. B. Mukotympanum) oder eines Adhäsivprozesses (sehr flache, oft fast horizontale nach links verschobene Kurve und fehlender Stapediusreflex, ▣ Abb. 2.13c);
- einer **Gehörknöchelchenluxation** (sehr hohe, steile, oben offene Kurve und fehlender Stapediusreflex, ▣ Abb. 2.13d);
- einer **Otosklerose** (Normalkurve, fehlender Stapediusreflex);
- einer **Tubendurchgängigkeit** beim Schlucken oder beim Valsalva-Versuch durch kurze Auslenkung der Kurve (Tubenfunktionsprüfung, nur bei geschlossenem Trommelfell);
- einer **klaffenden Tube** durch atemabhängige Impedanzänderungen und
- eines **Glomustumors** durch pulssynchrone Impedanzänderungen.

Die Schwingungen des Trommelfells können direkt mit Hilfe der **Laser-Doppler-Velozimetrie (LDV)**

gemessen werden, bei der die Frequenzverschiebungen des Laserlichtstrahles zur Analyse von Schwingungsmustern genutzt werden.

## Prüfung des Hörvermögens bei Simulation und Aggravation

Zum Nachweis der Simulation einer Schwerhörigkeit oder Taubheit (bei normalem Gehör) oder der Aggravation (vorgetäuschte Verschlimmerung einer bestehenden Schwerhörigkeit) kommen heute als zuverlässigste Verfahren die ERA, die eine objektive Hörschwellenbestimmung erlaubt, und die OAE zum Einsatz. Die Stapediusreflexbestimmung hilft bei der Aufdeckung grober Simulation oder Aggravation.

**Verdachtsmomente** bestehen,

- wenn die mit verschiedenen Methoden gewonnenen Ergebnisse nicht übereinstimmen,
- wenn zögernd nachgesprochen wird oder an verschiedenen Tagen deutlich unterschiedliche Werte für dieselben Methoden ermittelt werden,
- wenn bei der Tonaudiometrie die Geräuschschwelle deutlich besser als die Tonschwelle oder die Luftleitungskurve besser als die Knochenleitungskurve liegen und
- wenn bei der Békésy-Audiometrie die Dauertonkurve besser als die Impulstonschwelle verläuft.

Unter **psychogener Schwerhörigkeit** versteht man eine unbewusst vorgetäuschte Schwerhörigkeit, die sich im Wesentlichen nur auf die Situation bei Hörprüfungen beschränkt. Die Sprachverständlichkeit ist deutlich besser, als der Hörschwelle im Tonaudiogramm entsprechen würde. Die Hörschwellen der ERA entsprechen nicht den schlechten Hörschwellen im Tonaudiogramm. Bei der Békésy-Audiometrie kann sich ein kongruentes Absinken der Dauer- und der Impulstonschwellenkurven finden

➤ **Der Patient mit psychogener Schwerhörigkeit will nicht betrügen, er täuscht sich selbst!**

## Prüfung der Funktion des Hörnerven und der Hörbahn bei Taubheit

Sie ist erforderlich im Rahmen der Cochlea-Implantat-Versorgung. Bei kooperativen Patienten gelingt

dies mit dem sog. Promontoriumtest, bei dem über eine transtympanal auf dem Promontorium platzierte Reizelektrode probeweise der Hörnerv elektrisch gereizt wird. Sind Hörnerv und Hörbahn intakt, empfindet der Patient einen Höreindruck. Bei Kindern werden in Narkose elektrisch evozierte Hirnstammpotenziale abgeleitet (E-BERA = elektrische Hirnstammaudiometrie). Der Nachweis der

funktionellen Integrität des Hörkortex kann mit Hilfe der elektrisch-evozierten kortikalen Potenziale (E-CERA) geführt werden. Die funktionelle Bildgebung mittels Positronenemissionstomographie und funktioneller Kernspintomographie ergänzt das Bild (► Abschn. 2.6.2 und ► Abschn. 2.6.3).

**Synopsis der Hörprüfungen** ■ Tab. 2.1

■ Tab. 2.1 Synopsis der Hörprüfungen

Hörprüfung	Schalleitungsschwerhörigkeit (v. a. Mittelohrschwerhörigkeit)	Schallempfindungsschwerhörigkeit (Innenohrschwerhörigkeit, Nervenschwerhörigkeit und zentrale Schwerhörigkeit)	
Rinne	Negativ	Positiv	
Weber	Im kranken Ohr gehört	Im gesunden Ohr gehört	
Tonaudiogramm	Differenz zwischen Knochenleitung und Luftleitung	Hörverlust häufig im hohen Tonbereich	
Tympanogramm	Änderung des Kurvenverlaufes	Normaler Kurvenverlauf	
Sprachaudiometrie	Kein Diskriminationsverlust	Oft Diskriminationsverlust	
		Sensorische (= Innenohr-) Schwerhörigkeit	Neurale oder zentrale Schwerhörigkeit
Lautheitsausgleich (Recruitment nach Fowler)		Positiv	Kann negativ sein
Geräuschaudiogramm (Langenbeck)		Prüftön nicht verdeckt	Prüftön kann verdeckt sein
SISI-Test		60–100%	Kann 0–15% sein
Hörfeldskalierung		Eingeengtes Hörfeld, steiler Lautheitsanstieg	Normaler oder flacher Lautheitsanstieg
Hörermüdung		Nicht vorhanden	Vorhanden
Dichotischer Diskriminationstest		Normal	Gestört
Stapediusreflexprüfung	Reflex nicht nachweisbar	Metz-Recruitment vorhanden	Fehlt oft
Hirnstammaudiometrie (BERA)		Leitzeit (Latenz) normal	Verlängerung der Leitzeit (Latenz, Interpeaklatenz)
Otoakustische Emissionen	Nicht nachweisbar	Fehlen	Vorhanden

## In Kürze

## Hörprüfungen

- Sie geben Auskunft über Art, Grad und Sitz der Schwerhörigkeit.
- Subjektive Verfahren stützen sich auf Angaben des Probanden.
  - Hörschwellenbestimmung (Tonaudiometrie)
  - Bestimmung des überschwelligen Lautheitsempfindens (Lautheitsskalierung)
  - Bestimmung des Richtungshörens
  - Bestimmung des Sprachverstehens in Ruhe und im Störgeräusch (Sprachaudiometrie)
- Bei objektiven Testverfahren werden aktive Schallaussendungen des Innenohrs (otoakustische Emissionen), die Impedanzaudiometrie mit Tympanometrie und Registrierung des Stapediusreflexes sowie die akustisch evozierten Potenziale verwendet.
- Stimmgabeltests nach Weber und Rinne zur Differenzierung einer Schallleitungs- und Schallempfindungsschwerhörigkeit
- Tonaudiometrie: Unterscheidung von Schallleitungs-, kombinierter und Schallempfindungsschwerhörigkeit
- Sprachaudiometrie: Quantifizierung der Auswirkung einer Schwerhörigkeit auf das Sprachverstehen, Veränderungen im Zeitverlauf sowie Therapieeffekte (z. B. bei Hörgeräteanpassung)
- Schallleitungsschwerhörigkeit: Absenkung der Luftleitungsschwelle bei normaler Knochenleitungsschwelle; weitere Differenzierung durch Impedanzaudiometrie
- Schallempfindungsschwerhörigkeit: kochleäre, neurale und zentrale Schwerhörigkeiten (neurale und zentrale = retrokochleäre Schwerhörigkeit)
- Kochleäre Schwerhörigkeit: Recruitment als Ausdruck eines abnormen, überschwelligen Lautheitsanstieges bei gleichzeitiger Einengung des Dynamikbereichs; Nachweis u. a. durch Lautheitsskalierung und

Metz-Recruitment des Stapediusreflexes sowie fehlende otoakustische Emissionen

- Retrokochleäre Schwerhörigkeit: Hörmündung für Dauertöne (Carhart-Test), nicht jedoch für Impulstöne (Békésy-Audiometrie), Reflex-Decay des Stapediusreflexes. Otoakustische Emissionen sind bei ungestörter Innenohrfunktion vorhanden. BERA: Verlängerungen der Inter-Peak-Latenzen oder Fehlen der Potenziale
- Bei Taubheit lässt sich die Funktion des Hörnerven mittels Elektrostimulation überprüfen.
- Aggravation oder Simulation einer Schwerhörigkeit: nicht zueinander passende Ergebnisse einzelner Hörtestverfahren
- Psychogene Schwerhörigkeit: eigenständige Krankheit, bei der der Patient subjektiv vom Vorliegen einer Schwerhörigkeit bei tatsächlicher Normalhörigkeit überzeugt ist.

## 2.5.2 Vestibularisprüfungen

### ■ Definition

Sie dienen der Feststellung, ob der angegebene Schwindel vestibulär bedingt ist (Objektivierung) und ob eine Vestibularisstörung peripher oder zentral ausgelöst ist.

### Schwindelanamnese

Schwindel bedeutet **Verlust der Körpersicherheit** im Raum (Raumorientierung) und entsteht, wenn die Auskünfte der verschiedenen Sinnesorgane einander widersprechen. Der **vestibuläre Schwindel (systematischer Schwindel)** wird vom Patienten als Drehschwindel, Liftschwindel (Otolithenschwindel), Schwankschwindel, Ziehen nach einer Seite oder Taumeligkeit geschildert. Der Schwindel nach Art **ohnmachtsähnlicher Gefühle**, »Schwarzwerden« oder »Sternchensehen vor den Augen« hat seine Ursache im Allgemeinen nicht in einer Funktionsstörung des Vestibularapparates, sondern ist als herz- bzw. kreislaufbedingt, vaskulär oder als diffuser Hirnschwindel (**unsystematischer Schwindel**) anzusehen.

**Höhenschwindel** ist eine visuelle Reizschwindelform und tritt bei manchen Menschen schon auf, wenn die Distanz zwischen Auge und in der Tiefe liegendem Fixpunkt mehr als einige Meter beträgt (eine psychische Komponente und Angstgefühle spielen eine Rolle).

Der **vestibuläre Schwindel** tritt als Schwindelanfall für Minuten bis Stunden (z. B. bei der Menière-Krankheit) oder als **Dauerschwindel** über längere Zeit (z. B. nach einseitigem Labyrinthausfall) auf. In beiden Fällen kommt es zu einer Verstärkung der Beschwerden bei Belastungen wie z. B. bei schnellen Bewegungen oder bei Dunkelheit. Schließlich gibt es den **Lageschwindel**, der nach Einnahme einer bestimmten Körperlage oder -haltung einsetzt, und den **Lagerungsschwindel**, der nach einem Lagewechsel beginnt und oft nur Sekunden andauert (benigner paroxysmaler Schwindel, Lagerungsnystagmus). Schwindel, der allein beim Aufrichten auftritt, ist meist kreislaufbedingt, Schwindel beim Aufrichten und Wiederhinlegen ist eher vestibulärer Genese. Mit dem vestibulären Schwindel sind häufig Vagussymptome (Übelkeit, Erbrechen) verbunden.

F09

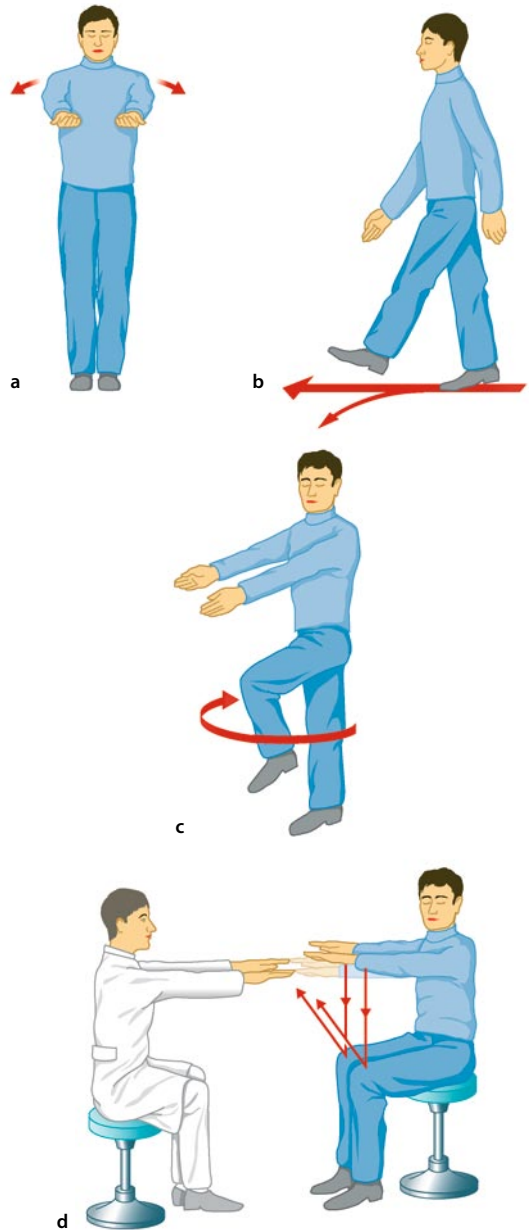
F11

### Abweichreaktionen (Koordinationsprüfungen, Prüfung der vestibulospinalen Reflexe; ■ Abb. 2.14)

Geprüft werden bei Verdacht auf eine Vestibulariserkrankung:

- der **Romberg-Versuch** (Stehen auf beiden oder auf einem Bein bei geschlossenen Augen),
- die **Gangabweichung** beim Gehen geradeaus mit geschlossenen Augen,
- der **Tretversuch nach Unterberger**, bei dem der Patient mit geschlossenen Augen auf der Stelle marschieren muss,
- der **Zeigerversuch**, bei dem mit geschlossenen Augen bei Heben der Arme die Fingerspitzen des Arztes getroffen werden sollen und
- der **Zeichentest nach Fukuda** zur Bestimmung der subjektiven Vertikalen, bei dem mit geschlossenen Augen rechts und links freihändig Kreuzchen in vertikalen Reihen gezeichnet werden müssen.

Fallneigung, Gangabweichung, Drehung beim Tretversuch, Abweichung beim Zeigerversuch und beim Zeichentest treten bei **vestibulären Störungen** auf



■ Abb. 2.14a–d Abweichreaktionen (nach rechts). a Romberg-Versuch; b Gangabweichung; c Tretversuch nach Unterberger; d Zeigerversuch

und sind z. B. bei einem Labyrinthausfall nach der Seite des kranken (vestibulär ausgefallenen) Ohres gerichtet und entsprechen der Richtung der langsamen Komponente der Nystagmusschläge. Bei **Änderung der Kopfstellung** bleibt die Fallneigung

in Richtung auf das kranke Ohr bestehen. Der Kleinhirnrinne dagegen fällt auch nach Kopfdrehung stets in die gleiche Richtung.

Die Körperschwankungen beim Romberg-Ver such können auf einer elektronischen Waage registriert werden (**Posturographie**). Die Integration der Sinnesmodalitäten lässt sich durch zusätzliche Verwendung einer Kippbühne mit Schwerpunktverlagerung sowie variablem optischen Horizont überprüfen (dynamische Posturographie). Sie wird auch zur Überprüfung der Kompensation eingesetzt.

### Klassische Vestibularisprüfungen

Sie erfassen die Funktion des vestibulären Systems ohne experimentelle Reizung.

**Spontan-, Provokations- und Lagenystagmus**  
Schwindelbeschwerden, über die ein Patient klagt, werden durch den Nachweis eines Spontan-, Provokations-, Lagerungs- oder Lagenystagmus als **vestibuläre Funktionsstörung** erkannt.

Das periphere Vestibularisorgan gibt ständig Impulse (Aktionsströme, Ruheaktivität) über den Nerven zu den Vestibulariszentren ab und bewirkt dort einen »**Ruhetonus**«. Zwischen rechts und links besteht »**Tonusgleichgewicht**«. Durch eine **Erregung des peripheren Organs** (z. B. durch eine Ausbuchtung der Cupula nach der einen oder anderen Richtung, durch eine traumatische Schädigung des Innenohres oder durch eine entzündliche Erkrankung) kommt es zu einer Zunahme oder Abnahme der Impulsfrequenz im Nerven und einer Steigerung oder Abschwächung des Tonus in den Vestibulariszentren.

Je nach Größe der »**Tonusdifferenz**« zwischen rechts und links tritt eine Nystagmusneigung, ein latenter oder ein manifester **Nystagmus** auf. Bei einer Erkrankung, die mit einem Reizzustand des Labyrinths einhergeht, ist der Nystagmus zur kranken Seite, bei einem Labyrinthausfall dagegen durch Überwiegen des anderen Labyrinths zur gesunden Seite gerichtet.

➤ **Der Nystagmus entsteht also zentral, er kann jedoch auf eben geschilderte Weise peripher oder durch eine zerebrale Störung auch zentral ausgelöst sein.**



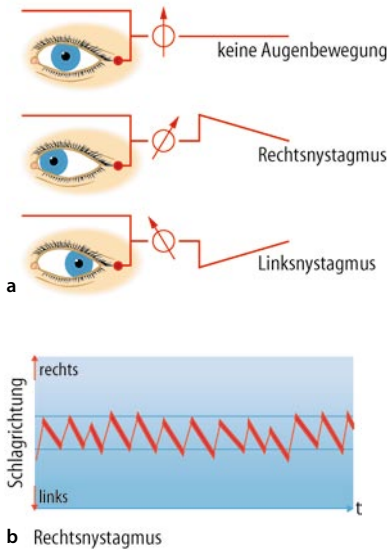
■ Abb. 2.15 Frenzel-Brille

Der **vestibuläre Nystagmus** ist ein rhythmischer **Rucknystagmus**, dessen einzelne Schläge sich aus einer langsamen labyrinthären Komponente und einer schnellen – als zentrale Ausgleichsbewegung aufgefassten – Komponente zusammensetzen. Seine Richtung wird nach der besser sichtbaren schnellen Komponente bezeichnet. Das subjektive Drehgefühl ist der schnellen Nystagmuskomponente, die Fallneigung der langsamen Komponente gleichgerichtet. Das Nystagmusschlagfeld liegt vorwiegend in der Orbitahälfte, nach der die langsame Komponente gerichtet ist. Der Nystagmus kommt meist als **Horizontalnystagmus** zur Beobachtung, tritt aber auch als **rotierender** und selten – und dann stets zentral bedingt – als **vertikaler Nystagmus** auf. Er kann fein-, mittel- und grobschlägig und wenig, mittel oder sehr frequent sein.

Der Nystagmus wird bei der Fahndung nach Spontan nystagmus und Provokations nystagmus zunächst ohne und anschließend im abgedunkelten Raum unter der **Leuchtbrille nach Frenzel** (■ Abb. 2.15) beobachtet. Die Brille verhindert durch die Gläser von 15 Dioptrien eine Fixation, die den Nystagmus hemmen würde, und erleichtert durch die Vergrößerung und Beleuchtung der Bulbi die Nystagmusuntersuchung.

Eine **Nystagmusregistrierung** ist auf elektro-physiologischem Wege (**Elektronystagmographie, ENG**) möglich: die bei jedem Nystagmusschlag auftretende Verschiebung der zwischen Kornea (+) und Retina (–) bestehenden Potenzialdifferenz (**korneoretinales Bestandspotenzial**) wird über bitemporal angelegte Elektroden abgeleitet, ver-



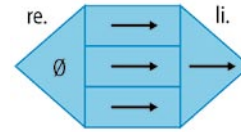


■ **Abb. 2.16a,b** Elektronystagmographie. **a** Schema Augenbewegungen; **b** Nystagmogramm bei Rechtsnystagmus

stärkt und mit einem X-Y-Schreiber registriert (Nystagmogramm). Damit lassen sich neben der Nystagmusdauer und der Schlagzahl auch die Amplituden der Nystagmusschläge und die Winkelgeschwindigkeiten der langsamen Nystagmuskomponenten feststellen und dokumentieren (■ Abb. 2.16). Die Untersuchung wird bei geschlossenen Augen oder bei geöffneten Lidern im Dunkeln vorgenommen. Dadurch kann ein Spontannystagmus verstärkt werden. Zur Nystagmusregistrierung bei geöffneten Augen werden die **Infrarotvideonystagmographie** oder die **Photoelektronystagmographie** (PENG) verwendet.

Der **Spontannystagmus** wird in den fünf Hauptblickrichtungen geprüft: Blick geradeaus, nach links, nach rechts, nach oben, nach unten. Sein Auftreten ist nicht vom Willen des Patienten abhängig oder von äußeren Reizen ausgelöst und hat **krankhafte Bedeutung**. Man unterscheidet:

- den **richtungsbestimmten Spontannystagmus**, der nur in eine Richtung schlägt und mehr für Erkrankungen des peripheren Organs spricht (■ Abb. 2.17) und
- den **Blickrichtungsnystagmus**, der seine Schlagrichtung je nach Blickrichtung ändert und häufig bei zentralen Vestibularisstörungen (z. B. Hirnstammläsionen) beobachtet wird.



■ **Abb. 2.17** Richtungsbestimmter Spontannystagmus. 2. Grades nach links (in ein Schema für Blickrichtungen geradeaus, nach oben, nach unten, nach rechts und nach links eingezeichnet)

Der festgestellte Nystagmus wird in ein übersichtliches Schema eingezeichnet.

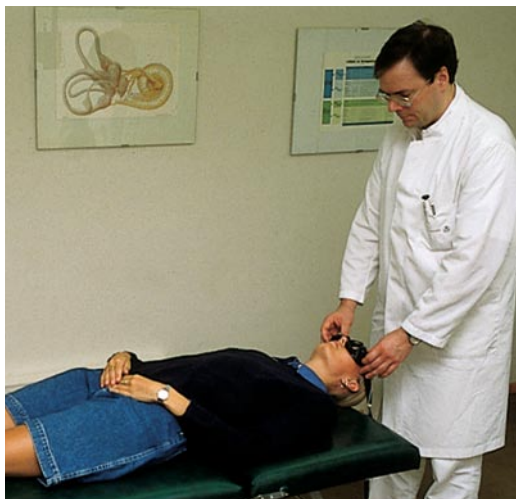
Beim richtungsbestimmten Spontannystagmus tritt ein Nystagmus 1. Grades lediglich in Blickrichtung der schnellen Komponente, ein Nystagmus 2. Grades auch beim Blick geradeaus und ein Nystagmus 3. Grades bereits beim Blick in die Gegenrichtung auf.

Der **Provokationsnystagmus** (unter der Frenzel-Brille geprüft) wird durch Einnahme der Schwindellage, durch Kopfschütteln, durch Bücken und Wiederaufrichten und durch die Lageprüfung untersucht. Ein latenter Nystagmus kann durch diese »Lockerungsmaßnahmen« aktiviert und vorübergehend zu einem Spontannystagmus werden.

Bei der **Lageprüfung** wird unter der Leuchtblinde beobachtet, ob in Rückenlage, in rechter und linker Seitenlage, in Kopfhängelage (■ Abb. 2.18) und beim Wechsel von Aufsitzen und Hinlegen ein **Lage- oder Lagerungsnystagmus** auftritt. Man unterscheidet:

- den **richtungsbestimmten Lagenystagmus**, der sich häufiger bei peripheren Schäden findet, aber als gelockerter Spontannystagmus auch bei zentralen Schäden vorkommt,
- den **richtungswechselnden Lagenystagmus**, der für einen zentralen Schaden spricht – der echte Lagenystagmus hält nach Einnahme der Lage länger als 30 Sekunden an – und
- den (**benignen paroxysmalen**) **Lagerungsnystagmus**.

Letzterer meist **peripher** durch kinetische Reize beim Lagewechsel ausgelöst und nur wenige Sekunden andauernde Nystagmus mit Schwindel tritt beim schnellen Wechsel zwischen Aufrichten und Wiederhinlegen in Kopfhängelage mit seitwärts gedrehtem Kopf auf. Er wird mit absprenghen,



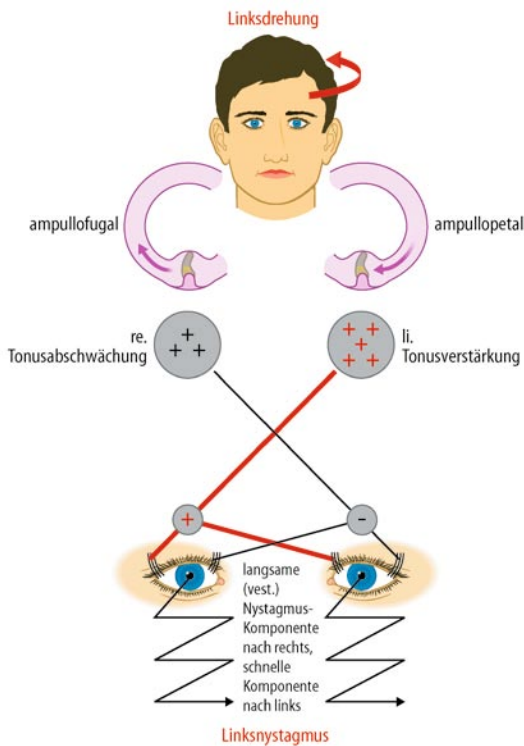
■ Abb. 2.18 Kopfhängelage (Lageprüfung)

die Cupula des hinteren vertikalen Bogenganges reizenden utrikulären Otolithen nach Kopftraumen erklärt (**Cupulolithiasis**, Therapie: vestibuläres Lagerungstraining durch rasches Seitwärtslagern des Oberkörpers vom Sitzen erst auf die Seite des betroffenen Ohres, danach des gesunden Ohres und wieder zum Sitzen oder durch Rotationsmanöver. Vestibuläres Training ► Kap. 5.2.3).

**Lagefistelsymptom:** Der Nystagmus tritt nach Lagerungsänderung bei Vorliegen einer **Labyrinthfistel** auf und kann auch vaskulärer Genese oder zervikal bedingt sein.

**Nicht vestibuläre Nystagmusformen** Sie entstehen außerhalb des vestibulären Systems. Zu nennen sind:

- der **Endstellungsnystagmus** (muskulär bedingt),
- der **optokinetische Nystagmus** (Eisenbahn-nystagmus) als schnelle Korrekturbewegung des blickmotorischen Systems zur Blickfeldstabilisierung,
- der **Bergarbeiternystagmus** (infolge langer Dunkelarbeit tritt ein Pendelnystagmus auf),
- der **okuläre Nystagmus** bei Sehschwäche als Folge einer mangelnden Fixationsmöglichkeit des Auges,
- der angeborene **Pendelnystagmus** (**Zervikalnystagmus** ► S. 58 u. 115).



■ Abb. 2.19 Nystagmusentstehung bei der Drehung

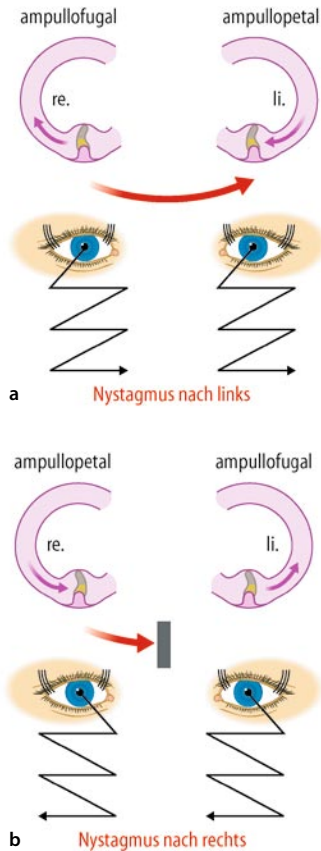
## Experimentelle Gleichgewichtsprüfungen

### ■ Definition

Sie umfassen alle Tests zur gezielten Reizung von Teilen des vestibulären Systems und ermöglichen so Aussagen zur Einzel- und Gesamtfunktion.

Bei der rotatorischen Prüfung, der thermischen Prüfung, der VEMP und der Prüfung des Fistelsymptoms werden Endolymphbewegungen ausgelöst, und ein Nystagmus entsteht (vestibulo-okulärer Reflex).

**Rotatorische Prüfung** Im Endolymphschlauch des waagrecht gestellten horizontalen Bogenganges entsteht bei der Drehung des Patienten nach rechts oder links eine **Trägheitsströmung der Endolympe** mit einer Ausbuchtung der Cupula und entsprechender Ablenkung der Sinneszellhaare. Die Strömung kommt beim **Andrehen** (Beschleunigung) durch Zurückbleiben der Endolympe (■ Abb. 2.19) und beim **Anhalten** aus der Drehung durch Weiterbewegen der Endolympe zustande.



■ Abb. 2.20a,b Rotatorische Prüfung. a Andrehen nach links; b Stopp aus der Linksdrehung

Eine **ampullopetale Strömung** im horizontalen Bogengang bewirkt eine **utrikulopetale Cupulaausbuchtung** mit einer Depolarisierung der Sinneszellen, eine Steigerung der Frequenz der Nervenimpulse, eine Verstärkung des Ruhetonus im gleichseitigen Vestibulariszentrum und einen Nystagmus zur gleichen Seite. Eine **ampullofugale Endolymphströmung** hat eine **utrikulofugale Cupulaausbuchtung** mit einer Hyperpolarisierung der Sinneszellen, eine Minderung der Frequenz der Nervenimpulse, eine Abschwächung des Ruhetonus im gleichseitigen Vestibulariszentrum und einen Nystagmus zur anderen Seite zur Folge. Bei starken Reizen zeigt die ampullopetale Endolymphströmung im horizontalen Bogengang eine größere Wirkung als die ampullofugale Endolymphströmung (2. Ewald-Gesetz).

Die **Linksdrehung** führt im rechten horizontalen Bogengang zu einer ampullofugalen Endolymphströmung, im linken horizontalen Bogengang zu einer gleichzeitigen ampullopetalen Endolymphströmung. Es tritt also beim Andrehen ein **perrotatorischer Linksnystagmus** auf (■ Abb. 2.20a).



Beim **Anhalten aus der Linksdrehung** ist die Endolymphströmung rechts ampullopetal und links ampullofugal gerichtet, die Folge ist ein **postrotatorischer Rechtsnystagmus** (■ Abb. 2.20). Nach dieser ersten postrotatorischen Nystagmusphase, die durch die Cupulaausbuchtung bedingt ist, kann eine zweite (evtl. auch eine dritte) postrotatorische Nystagmusphase folgen, deren Nystagmusrichtung der vorausgegangenen Phase jeweils entgegengesetzt ist. Das phasenhafte Auspendeln der Nystagmusreaktion ist als zentrale Antwort auf die periphere Erregung anzusehen.

Bei der **Rechtsdrehung** treten Endolymphbewegungen und Nystagmusphasen jeweils entsprechend entgegengesetzt auf.

### Praxisbox

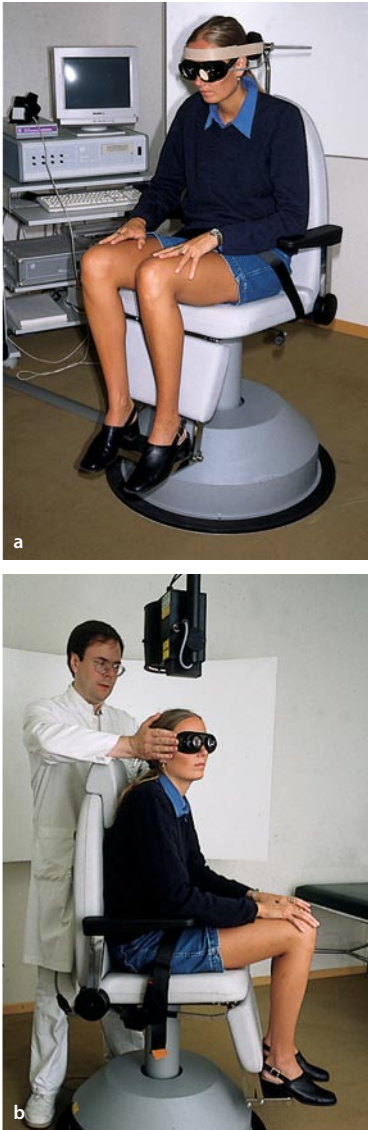
#### Rotatorische Prüfung

Der Kopf muss dabei um 30 Grad nach vorn geneigt sein, damit die horizontalen (lateralen) Bogengänge möglichst waagrecht stehen. Festgestellt wird die Dauer des postrotatorischen Nystagmus nach Rechtsdrehung und anschließend nach Linksdrehung. Die Nystagmusdauer beträgt jeweils zwischen 20 und 40 Sekunden.

Die Untersuchung auf einem elektronisch gesteuerten Drehstuhl (■ Abb. 2.21) vermeidet durch unterschwelliges Andrehen das Auftreten eines perrotatorischen Nystagmus und damit Interferenzen zwischen per- und postrotatorischem Nystagmus. Bei dieser sog. Langdrehmethode wird unterschwellig (unter  $1^\circ/\text{s}^2$  Beschleunigung) bis zu einer Winkelgeschwindigkeit von  $60^\circ/\text{s}$  angedreht, anschließend eine Minute mit dieser Winkelgeschwindigkeit gleichmäßig weitergedreht und dann ruckartig gestoppt. Unter der Leuchtblinde werden Dauer und Schlagzahl des postrotatorischen Nystagmus der ersten und zweiten Phase festgestellt oder mittels der Elektronystagmographie registriert. Nach 10 min folgt dann in gleicher Weise die Ausführung in entgegengesetzter Richtung.

Zu den rotatorischen Prüfungen rechnet auch die **Pendelprüfung**, bei der die Nystagmusreaktionen während der sinusförmigen Hin- und Herbewegungen auf dem Pendelstuhl nystagmographisch registriert werden.

Prüfung auf Zervikalnystagmus ► S. 58.



■ Abb. 2.21a,b Drehstuhl. a Rotatorische Prüfung; b Zervikaltest (Halsdrehtest) mit rotiertem Körper und fixiertem Kopf

- Mit der rotatorischen Prüfung, bei der stets beide Vestibularorgane gleichzeitig erregt werden, kann man feststellen, ob sich der Vestibularapparat in einem Funktionsgleichgewicht (seitengleiche Nystagmusreaktionen) befindet oder ob Zeichen einer Funktions- bzw. Regulationsstörung ▼

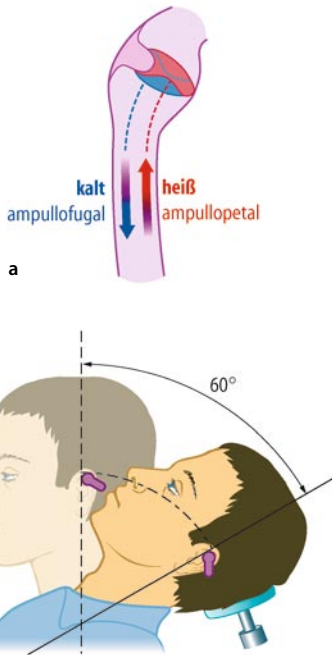
(z. B. Nystagmusneigung bzw. Überwiegen des Nystagmus nach einer Richtung oder bei der Pendelung zusätzlich unterschiedliche »Nystagmusschriften« bei zentralen Störungen) vorhanden sind. Subjektive Schwindelercheinungen können damit objektiviert werden, was z. B. bei einer Gutachtenerstellung nach Schädeltrauma wichtig ist.

Nach einem **peripheren Ausfall** z. B. kommt es zunächst zu einem **Spontannystagmus** zur gesunden Seite. Im Laufe von einigen Monaten tritt im Allgemeinen ein **zentraler Ausgleich (Kompensation)** ein. Zuerst verschwindet der Spontannystagmus, allmählich kann auch das Richtungsüberwiegen des Nystagmus bei den rotatorischen Prüfungen geringer werden und schließlich bei vollständigem Ausgleich verschwinden. Der **Rückgang der Regulationsstörung** lässt sich so – trotz bleibenden peripheren Ausfalls – durch die rotatorischen Prüfungen verfolgen. Bei multisensorischem Defizit erlaubt die dynamische Posturographie differenzierte Aussagen. Förderung der Kompensation durch **vestibuläres Training**.

Bei der Erholung eines vorher untererregbaren oder vorübergehend ausgefallenen peripheren Vestibularorgans kann nach Abklingen des **Ausfallnystagmus** (Spontannystagmus zur gesunden Seite) ein **Erholungsnystagmus** auftreten, der dann als Spontannystagmus zur Seite des kranken Ohres gerichtet ist.

**Thermische Prüfung (kalorische Prüfung).** Steht der horizontale Bogengang senkrecht (vertikal), so lässt sich unter dem Einfluss der Schwerkraft (Gravitation) durch Abkühlung oder Erwärmung des äußeren Bogengangschenkels eine – nicht physiologische – Bewegung der Endolymphe durch Änderung des spezifischen Gewichtes (**Konvektionsströmung**) und damit eine **Cupulaausbuchtung** erreichen (Bárány; ■ Abb. 2.22a).

Eine **Erwärmung** führt zu einer **ampullopeta-len Endolymphbewegung**, einer utrikulopetalen Cupulaausbuchtung mit einer Depolarisierung der Sinneszellen, einer Steigerung der Frequenz der Nervenimpulse, einer Verstärkung des Ruhetonus im gleichseitigen Vestibulariszentrum und einem



■ **Abb. 2.22a,b** Thermische Prüfung. **a** Bewegung aus der Endolymphe durch Änderung des spezifischen Gewichtes und Cupulaausbuchtung; **b** Optimumstellung des horizontalen Bogenganges

Nystagmus zur gleichen Seite. Eine **Abkühlung** ist von einer **ampullofugalen Endolymphebewegung**, einer utrikulofugalen Cupulaausbuchtung mit einer Hyperpolarisierung der Sinneszellen, einer Minderung der Frequenz der Nervenimpulse, einer Abschwächung des Ruhetonus im gleichseitigen Vestibulariszentrum und einem Nystagmus zur anderen Seite gefolgt. (Nach **Kaltreiz Nystagmus** zum anderen Ohr, nach **Warmreiz Nystagmus** zum gleichen Ohr! Das subjektive Drehgefühl ist dem Nystagmus jeweils gleichgerichtet.)

### Praxisbox

#### Thermische Prüfung

Der Kopf des Patienten wird in die »Optimumstellung« gebracht, d. h. der Kopf muss im Liegen um 30 Grad angehoben oder im Sitzen um 60 Grad zurückgeneigt werden (■ Abb. 2.22b), damit die horizontalen Bogengänge möglichst senkrecht stehen. Jeder Gehörgang wird nach-

einander mit warmem Wasser (erst rechts, dann links) und mit kaltem Wasser gespült (erst links, dann rechts). Es sind also vier Spülungen erforderlich, zwischen denen jeweils eine Pause von einigen Minuten eingelegt werden soll. Die Temperaturänderung setzt sich durch Wärmeleitung über die hintere knöcherne Gehörgangswand und auch durch Wärmestrahlung über das Trommelfell ins Antrum mastoideum fort und erreicht dort den horizontalen Bogengang.

Bei der **Methode nach Hallpike**, bei der der Patient liegend untersucht wird, lässt man jeweils 30 Sekunden lang Wasser von 44 °C und danach von 30 °C durch den Gehörgang laufen.

Der thermische Nystagmus wird unter der Leuchtblinde beobachtet oder elektronystagmographisch registriert. Eine Änderung der Kopfstellung um 180 Grad während der Prüfung führt – im Gegensatz zur rotatorischen Prüfung – zu einem Umschlag des Nystagmus.

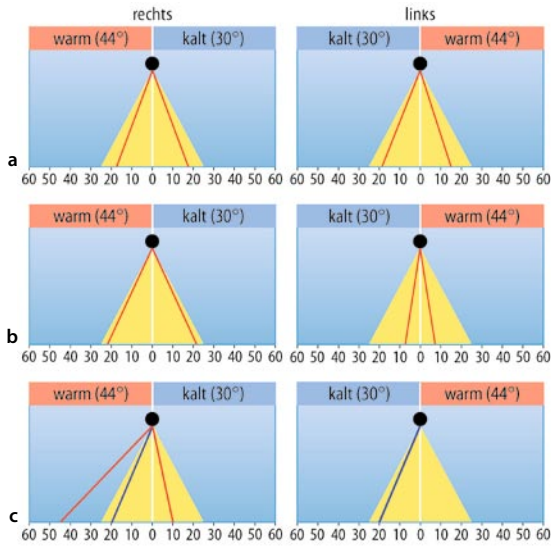
Mit der **thermischen Vestibularisprüfung** wird jedes Vestibularorgan einzeln untersucht. Sie dient der Feststellung der peripheren Erregbarkeit. Man vergleicht die Erregbarkeit einer Seite nach Kalt- und nach Warmspülung mit der der anderen und kann Erregbarkeitsdifferenzen zwischen rechts und links bis zur thermischen Unerregbarkeit einer oder beider Seiten aufdecken

➤ **Ein Vestibularorgan gilt als unerregbar, wenn auch nach starker thermischer Reizung (17°C) keine Nystagmusreaktion auftritt** (■ Abb. 2.23).

Ein bei der thermischen Prüfung festgestelltes **Richtungsüberwiegen des Nystagmus** nach einer Seite kann eine **periphere Ursache** haben (z. B. bei peripherer Untererregbarkeit der anderen Seite und dadurch ausgelöstem Spontan- oder latenter Nystagmus; dabei oft auch kochleäre Funktionsstörung der erkrankten Seite) oder einen **zentralen Schaden** anzeigen (z. B. bei beidseits normaler peripherer Erregbarkeit und nachweisbaren weiteren zerebralen Symptomen).

Eine Spülung des Gehörganges muss bei trockenen **Trommelfelldefekten** unterbleiben. Man bläst





■ **Abb. 2.23a–c** Schematische Darstellung (Stoll) der Ergebnisse der thermischen Prüfung. **a** Normalbefund; **b** verminderte Erregbarkeit links; **c** Ausfall links, nicht kompensiert, mit Spontannystagmus nach rechts (*lila*)

dann zur orientierenden thermischen Prüfung – falls ein geschlossenes Durchflusssystem nicht zur Verfügung steht – kalte Luft in den Gehörgang oder legt einen äthergetränkten Wattebausch ein, durch den Verdunstungskälte erzeugt wird.

Wiederholte Reizanwendungen führen zu einer Abnahme der – zentral gesteuerten – vestibulären Reaktion (**Habituat**ion).

Weil auch in der **Schwerelosigkeit** ein kalorischer Nystagmus nachweisbar ist, wird diskutiert, dass in dieser Situation eine gravitations- und lage-unabhängige Volumenänderung von Teilen der Endolymphpe erregungsauslösend sein könnte.

## Prüfung der Otolithenfunktion

**Torsionale Augenbewegungen** Die bei statischer Kopfkippung von 45° nach rechts und links auftretenden kompensatorischen Augendrehbewegungen sind von der Funktion der Macula abhängig und können unter der Frenzel-Brille beobachtet oder besser mittels Videookulographie registriert werden.

**Haptische subjektive Vertikale (HAPT)** Das Lageempfinden im Raum kann durch den Vertikaleindruck bei Ausschalten der optischen Orientierung

geprüft werden, indem in aufrecht sitzender oder gekippter Position des Oberkörpers eine vertikale Linie gezeichnet wird.

**Thermische Reizung der Macula** Die bei der kalorischen Prüfung auftretende Nystagmusreaktion kehrt sich beim Wechsel von der Rücken- in die Bauchlage um. Der Test erlaubt die einseitige Prüfung der Macula.

**Vestibär-evozierte myogene Potenziale (VEMP)** Durch einen starken akustischen Reiz können Muskelpotenziale mittlerer Latenz vom Musculus sternocleidomastoideus abgeleitet werden. Sie erlauben die seitengetrennte Untersuchung der Sacculusfunktion.

## Prüfung des Fistelsymptoms (mechanische Reizung)

Es kommt zur Auslösung eines Nystagmus durch direktmechanische Einwirkung auf das Labyrinth.

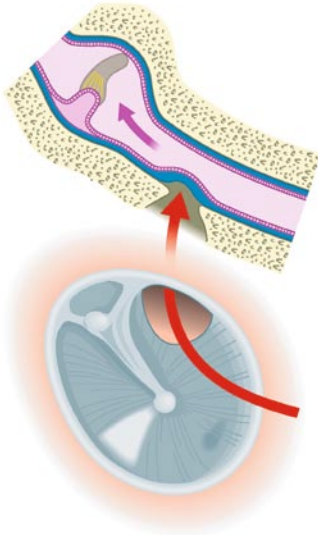
Beim **pressorischen Fistelsymptom** bestehen ein Trommelfeldefekt und gleichzeitig eine Arrosion des knöchernen horizontalen Bogenganges bei noch bindegewebig abgeschlossenem Perilymphraum (z. B. bei einer chronischen epitympanalen Mittelohrreiterung mit einer Knochendestruktion durch ein Cholesteatom). Es lässt sich ein direkter Druck auf den häutigen Bogengangsschlauch an umschriebener Stelle ausüben (■ Abb. 2.24). Dadurch kommt es zu einer ampullopeta len Endolymphbewegung und zum Nystagmus zur gleichen Seite. Bei Aspiration schlägt der Nystagmus zur anderen Seite um.

### Praxisbox

#### Prüfung des pressorischen Fistelsymptoms

Ein Politzer-Ballon wird mit der durchbohrten Olive luftdicht in den Gehörgang eingesetzt. Gleichzeitig wird unter der Leuchtblille beobachtet, ob ein Nystagmus auftritt. Liegt eine Bogengangsfistel auf dieser Seite vor, entsteht bei Kompression ein Nystagmus zur kranken Seite (■ Abb. 2.25), bei Aspiration ein Nystagmus zur anderen Seite. Gelegentlich genügt auch ein Druck auf den Tragus, um ein Fistelsymptom auszulösen.



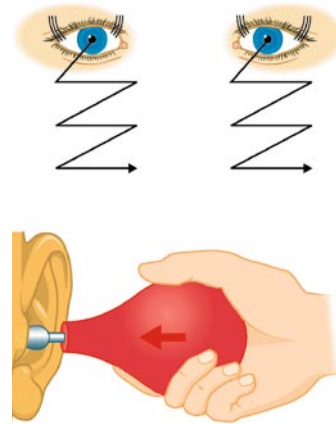


■ **Abb. 2.24** Kompression des häutigen Bogenganges bei Defekt im knöchernen Bogengang

➤ **Die Prüfung des pressorischen Fistelsymptoms wird bei jeder chronischen Mittelohrentzündung mit randständigem Trommelfellddefekt vorgenommen, um gegebenenfalls eine umschriebene Zerstörung der Labyrinthkapsel zu erkennen. Bei positivem Ausfall des Fistelsymptoms muss umgehend ein operativer Eingriff durchgeführt werden, um eine drohende diffuse Labyrinthitis zu verhindern und endokraniellen Komplikationen vorzubeugen (absolute Operationsindikation).**

Bei Vorliegen einer Bogengangsfistel oder einer Perilymphfistel im Bereich des runden oder ovalen Fensters lässt sich gelegentlich auch ein »**Lagefistelsymptom**« auslösen: Es tritt ein transitorischer Nystagmus zur gesunden Seite nach Kopfhängelage und ein entgegengesetzt gerichteter Nystagmus nach schnellem Aufsitzen des Patienten auf.

**Tullio-Reaktion (-Phänomen):** Vestibuläre Reizerscheinungen mit Nystagmus bzw. Raddrehung der Augen können sich gelegentlich auch bei intaktem Trommelfell während starker akustischer Belastung zeigen. Als Ursache werden Bogengangsfisteln, Stapesubluxationen bzw. -missbildungen, Verwachsungen zwischen Stapesfußplatte und Utrikulus oder eine Lues angeschuldigt.



■ **Abb. 2.25** Prüfung des Fistelsymptoms (Kompressionsnystagmus)

#### Hennebert-Zeichen

Bei Patienten mit erhöhtem endolymphatischem Druck (z. B. M. Menière) können (horizontale) Nystagmen ausgelöst oder in der Schlagzahl durch Druckänderungen im äußeren Gehörgang modifiziert werden. Diskutiert wird ein verminderter Abstand des Endolymphschlauches zur Fußplatte, so dass es bei deren Bewegung in Richtung Vestibulum zu einer direkten mechanischen Irritation von Sacculus oder Utrikulus kommt. Veränderungen des perilymphatischen Druckes spielen zusätzlich eine Rolle.

#### Optokinetischer Nystagmus

Mit der Prüfung werden zentrale okulomotorische Funktionsstörungen aufgedeckt. Pathologische Änderungen finden sich bei **Hirnstammprozessen** und können Frühsymptom einer Multiplen Sklerose sein.

#### Praxisbox

##### Optokinetische Nystagmusprüfung

Der Patient schaut auf einen rotierenden, mit senkrechten schwarzen und weißen Streifen versehenen Zylinder bzw. auf ein entsprechendes Filmlaufbild. Die reflektorisch auftretenden Bulbusbewegungen (Nystagmus) werden elektronystagmographisch registriert (Eisenbahn-nystagmus). Beim **Sinusblickpendeltest** folgt der Patient mit seinen Augen einer sinusförmig bewegten punktförmigen Lichtquelle. Die Bewegungen sollen dabei sinusförmig verlaufen. Pathologisch sind sie sakkadierend.

## Zervikalnystagmus

Die Prüfung kann eine **Gefügestörung der Halswirbelsäule** am kraniozervikalen Übergang oder eine **vaskuläre Grundlage** (A. vertebralis) als Ursache von Schwindelbeschwerden aufdecken (Halsdrehtest, ■ Abb. 2.21b).

### Praxisbox

#### Prüfung des Zervikalnystagmus

Der Patient sitzt auf einem Pendelstuhl (Drehstuhl). Während der Untersucher den Kopf mit beiden Händen fixiert, dreht sich der Drehstuhl zunächst pendelförmig nach rechts und



links. Während der Stuhlbewegung auftreten der Nystagmus spricht für eine Gefügestörung der Halswirbelsäule (propriozeptiver Nystagmus). Anschließend wird der Drehstuhl um 60° nach rechts und danach nach links gedreht, wobei der Stuhl jeweils 50 Sekunden in Endstellung gehalten wird (■ Abb. 2.21b). Ein in der Endstellung zu beobachtender Nystagmus kann vaskulär ausgelöst sein. Der Zervikalnystagmus gilt als pathologisch, tritt aber gelegentlich auch bei Gesunden auf.

### Vestibularisbefunde ■ Tab. 2.2.

■ Tab. 2.2 Synopsis der Vestibularisprüfungen. Unterscheidung zwischen peripherer und zentraler Vestibularisstörung

Untersuchungsbefund	Peripher	Zentral
Schwindel	Drehschwindel, Fallneigung zu einer Seite	Unklares Schwindelgefühl
Blickrichtungsnystagmus	Nicht vorhanden	Vorhanden
Spontannystagmus	Mit Drehschwindel, horizontaler Spontannystagmus	Ohne Drehschwindel, vertikaler Spontannystagmus (»Down-beat-Nystagmus«), alternierender, hüpfender dissoziierter oder blickparetischer Nystagmus
Lagenystagmus	Richtungsbestimmt	Konvergierend, divergierend, richtungswechselnd
Lagerungsnystagmus	Benigner paroxysmaler Lagerungsnystagmus (BPPV)	Inverser Lagerungsnystagmus
Vestibulospinale Reaktionen einschließlich Posturographie	Fallneigung, Gangabweichung zur betroffenen Seite	Unsystematisches Schwanken oder ungerichtete Fallneigung
Thermische Prüfung	Un- oder Untererregbarkeit oder Richtungsüberwiegen zur gesunden Seite	Richtungsüberwiegen des Nystagmus nach einer Seite
Rotatorische Prüfung	Richtungsüberwiegen, nur postrotatorischer Nystagmus der Phasen I und II	Richtungsüberwiegen, postrotatorischer Nystagmus der Phasen > II
Okulomotorische Prüfung	Normal oder überlagert durch Spontannystagmus	Sakkaden im Sinusblickpendeltest, pathologische Nystagmusantwort im optokinetischen Test
Otolithenfunktionstests	Pathologisch	Normal

## In Kürze

**Vestibularisprüfungen**

- Zur Objektivierung einer Gleichgewichtsstörung bei angegebenem Schwindel (Verlust der Körpersicherheit im Raum bei Mismatch der Informationen aus den verschiedenen beteiligten Sinnessystemen)
- Zu unterscheiden sind vestibulärer vom nicht-vestibulären sowie peripherer vom zentralen Schwindel
- Schwindelanamnese: Art des Schwindels, Häufigkeit, Dauer, Bewegungs- und Lageabhängigkeit, Kopfdrehen, Begleitsymptome
- Abweichreaktionen testen die Koordination und vestibulo-spinale Reflexe.
- Klassische Vestibularisprüfungen testen das vestibuläre System ohne experimentelle Reizungen. Hauptparameter ist der sog. Nystagmus (Frenzel-Brille oder Nystagmographie).
- Nystagmusformen:
  - Spontan-, Provokation-, Lage- und Lagerungsnystagmus
  - Richtungsbestimmter, Blickrichtungs- und richtungswechselnder Nystagmus
  - Nicht-vestibuläre Nystagmusformen (Endstell-, optokinetischer, okulärer, angeborener Pendel- und Zervikalnystagmus)
- Experimentelle Gleichgewichtsprüfungen setzen gezielt Reize von Teilen des vestibulären Systems ein, um Aussagen zu Teil- und Gesamtfunktionen zu machen.
- Vestibularorgane werden durch Bewegung der Endolymphe getestet (vestibulo-okulärer Reflex).
- Rotatorische Prüfung: Messung der Differenz zwischen beiden Vestibularorganen sowie der Kompensation nach Vestibularisausfall
- Kalorische Prüfung: seitengetrennte Funktionsprüfung des horizontalen Bogengangs
- Fistelsymptom
- Otolithenfunktion: Augentorsion, subjektive Vertikale, VEMP

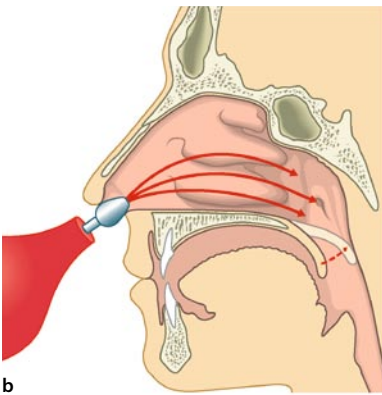


- Okulomotorik
- Zervikalnystagmus
- Dynamische Posturographie
- Peripherer Schwindel: Drehschwindel und Fallneigung nach einer Seite, richtungsbestimmter Spontan-, Lage- oder Lagerungsnystagmus, thermische Un(ter)erregbarkeit sowie Richtungsüberwiegen in der rotatorischen Prüfung und pathologische Otolithentests
- Zentraler Schwindel: unklares Schwindelgefühl, Blickrichtungs- und Spontannystagmus ohne Schwindel, vertikaler, alternierender oder blickparetischer Nystagmus, richtungswechselnder Nystagmus, Lage- und Lagerungsnystagmus, unsystematische Fallneigung, richtungsüberwiegender Nystagmus in den experimentellen Prüfungen sowie pathologische Okulomotorik
- Benigner paroxysmaler Lagerungsschwindel: Bei Lagerung zur betroffenen Seite sekundenlangender Schwindel, die Richtung des Nystagmus kehrt sich beim Aufrichten des Körpers um.

**2.5.3 Tubenfunktionsprüfungen**

Normalerweise öffnet sich die Tube zum Druckausgleich jeweils nur beim **Schlucken**. Eine ständig offenstehende Tube führt zur **Autophonie**, weil die Schallwellen das Mittelohr einerseits durch den Gehörgang, andererseits aber auch durch die Tube erreichen.

Vor der Prüfung der Tubendurchgängigkeit und bei jeder Ohruntersuchung ist eine eingehende Untersuchung von Nase, Nasenrachenraum, Nasennebenhöhlen und Rachen vorzunehmen, da viele Ohrerkrankungen in Nasen- und Rachenerkrankungen ihre Ursache haben (Rhinitis, Nasennebenhöhlen-erkrankung, Rachenmandelvergrößerung, Tonsillitis u. a.). Tubendurchblasungen nimmt man bei **Tubenmittelohrkatarrhen** zum Druckausgleich zwischen Außenluft und Mittelohr vor, um eine ungehinderte Schwingung des Trommelfells und eine



■ **Abb. 2.26a,b** Politzer-Verfahren. **a** Durchführung mit Politzer-Ballon und Hörschlauch; **b** Schema mit Druckaufbau im Nasopharynx

Besserung der Schallleitungsschwerhörigkeit zu erreichen. Sie müssen bei Schnupfen unterbleiben, um keine Infektion des Mittelohres zu verursachen. Bei Kindern Aufblasen eines Luftballons mit der Nase (Otovent®).

**Valsalva-Versuch** Man lässt den Patienten mit geschlossenem Mund und zugehaltener Nase kräftig in die Nase ausatmen. Dadurch wird Luft durch die Tube ins Mittelohr gedrückt. Bei der Auskultation ist ein Knackgeräusch zu hören. Die Vorwölbung des Trommelfells kann otoskopisch kontrolliert werden.

**Toynbee-Versuch.** Beim Schlucken mit zugehaltener Nase kommt es zur Druckänderung in der Paukenhöhle und zur Trommelfellbewegung. Im Tympanogramm erkennt man eine Tubenöffnung beim Schlucken durch eine kurze Impedanzänderung.

**Politzer-Verfahren (Luftdusche; ■ Abb. 2.26)** Ein Gummiballon wird mit der aufgesetzten durchbohrten Metallolive an ein Nasenloch luftdicht angesetzt, das andere Nasenloch wird zugehalten. Während man kräftig auf den Ballon drückt, soll der Patient einen **K-Laut** (Kuckuck, Coca-Cola) sagen oder schlucken. Dabei wird die Gaumenmuskulatur kontrahiert. Die Tube öffnet sich vor allem durch den Zug des M. tensor veli palatini, und der Nasenrachenraum wird gleichzeitig durch die Hebung des Gaumensegels vom Mundrachen abgeschlossen. Das Einstromen der Luft durch die Tube ins Mittelohr wird so ermöglicht. Ein Schlauch, der den Gehörgang des Patienten mit dem des Arztes verbindet, erlaubt dem Arzt, die Tubendurchgängigkeit an der Art des Durchblasegeräusches zu beurteilen.

#### Tubenkatheterismus

Bei schwer durchgängiger Tube wird ein vorn schwach gebogenes Metallröhrchen durch die Nase geschoben und im Nasenrachenraum mit der Öffnung in das Tubenostium der betroffenen Seite eingeführt. Mittels Druckluft oder eines aufgesetzten Gummiballons erfolgt dann die Tubendurchblasung, deren Erfolg wiederum am Durchblasgeräusch zu erkennen ist. Durch den Tubenkatheter lassen sich auch Medikamente in Tube und Mittelohr einblasen. Mit einem flexiblen Mikroendoskop ist eine direkte optische Kontrolle der Tube bis in die Paukenhöhle möglich. Zusätzlich kann durch einen Ballonkatheter die Tube aufgedehnt werden (Tubenendoskopie). Letztere lässt sich auch nach einem Trommelfellschnitt (Parazentese, ► Kap. 4.3.1) mit Hilfe eines dünnen Endoskops untersuchen (Tympanoskopie).

#### Tubemanometrie

Liegt ein Trommelfelldefekt vor, kann die Durchgängigkeit anhand des Druckabfalls nach Aufbau eines Überdrucks in äußerem Gehörgang und Pauke bei Überschreiten des Tubenöffnungsdrucks mit Hilfe der Tympanometrie gemessen werden.

**Tympanometrie** ► Abschn. 2.5.1.

## In Kürze

**Tubenfunktionsprüfungen**

- Sie dienen zum Nachweis einer normalen oder gestörten (offene, verschlossene Tube) Tubenfunktion.
- Am bekanntesten ist das Valsalva-Manöver. Durch Drucksteigerung im Nasopharynx kann die Tube geöffnet werden.
- Unter Verwendung eines Politzer-Ballons lässt sich der Druck zusätzlich steigern.
- Die Tubenendoskopie mit Katheterisierung und Ballondilatation erlaubt eine genaue Bestimmung der Funktionsstörung und beim Verschluss den Versuch der Öffnung.
- Der Erfolg wird otoskopisch an der Trommelfellbewegung oder akustisch als Durchblasegeräusch erkennbar.
- Bei offener Tube finden sich atemsynchrone Bewegungen des Trommelfells sowie Impedanzschwankungen.



■ **Abb. 2.27a,b** Computertomogramm des Felsenbeins. **a** Axiale Schnittführung (Pfeil: Cochlea). **b** Koronare Schnittführung (Pfeil: Bogengang, Stern: innerer Gehörgang)

## 2.6 Bildgebende Verfahren

### 2.6.1 Röntgenuntersuchung des Felsenbeins

**Definition** Überlagerungsfreie Darstellung der Knochen- und Weichteilstrukturen des Felsenbeins und seiner benachbarten Strukturen durch Computertomographie und digitale Volumentomographie.

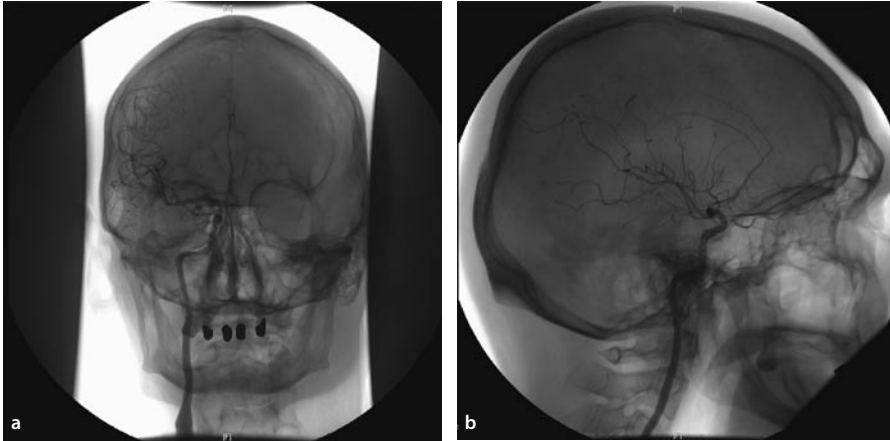
**Computertomographie** (■ **Abb. 2.27**) Sie dient als Standarduntersuchung der Darstellung von knöchernen Strukturen des Felsenbeins. Aus den in axialer (horizontaler) Projektion gewonnenen Primärdaten können beliebige Schnittebenen (z. B. koronar oder sagittal) rekonstruiert werden. Unverzichtbar zur Analyse von Missbildungen hinsichtlich Fazialisverlauf, Anlage von Mittel- und Innenohr. Bei **Schädelfrakturen** zeigen sich Knochenverschiebungen, intrakranielle Blutungen und bei Durazerreißungen Lufteintritte in die Liquorräume. Darstellung otogener Hirnabszesse, von Glomustumoren, Knochen-

zerstörungen bei Mastoiditis, chronischer Otitis media mit Cholesteatom, bei Mittelohrtumoren oder eine Arrosion der Sinusschale.

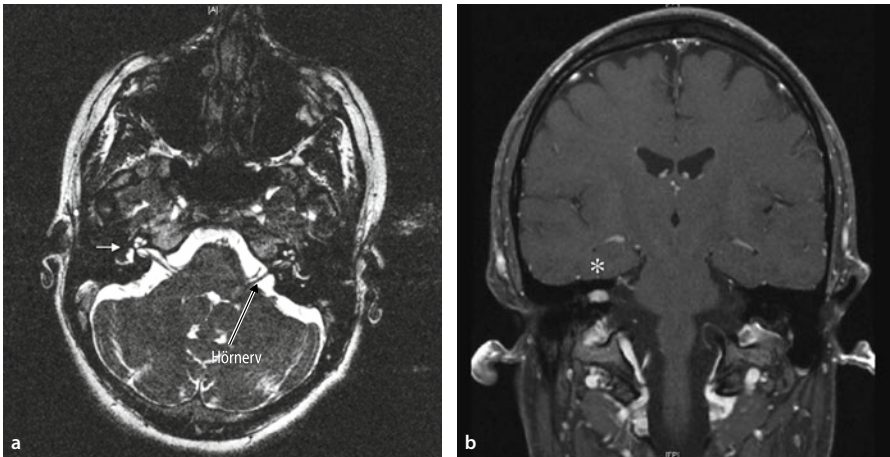
**DVT (Digitale Volumentomographie)** Durch Verwendung sog. Cone-Beam-Strahlenquellen und Flachbilddetektoren lässt sich bei gesteigerter Auflösung knöcherner Strukturen eine wesentliche Reduktion der Strahlenexposition erreichen. Auch intraoperativer Einsatz zur Navigation, Repositionskontrolle von Knochenfragmenten und Lagekontrolle von Implantaten z. B. Cochlear-Implant-Elektroden möglich.

**Angiographie** (■ **Abb. 2.28**) Intraarterielle digitale Subtraktionsangiographie (DSA) bei gefäßreichen Tumoren (Glomustumor) oder Gefäßmissbildungen (pulsierendes Ohrgeräusch). Superselektive Angiographie und Embolisation mit Mikrokatheter. Vertebalisangiographie zur Darstellung des Gefäßverlaufes (interventionelle Angiographie). Intraarterielle Stentplatzierung vor geplanter Tumorresektion oder bei Arrosionsblutung aus der A. carotis interna.





■ Abb. 2.28a,b Digitale Subtraktionsangiographie der A. carotis interna. **a** Anterior-posterior, **b** seitlich



■ Abb. 2.29a,b Magnetresonanztomographie des Felsenbeins. **a** Axiale Schnittführung, T2-Wichtung (weiß = flüssigkeitsgefüllte Liquorräume und Innenohr [Pfeil]). **b** Akustikusneurinom: koronare Schnittführung, deutliches Enhancement nach Gadolinium-Gabe (Stern)

### 2.6.2 Kernspintomographie (Magnetresonanztomographie = MRT, Magnetic Resonance Imaging = MRI)

Mit der MR-Tomographie können überlagerungsfreie Schnittbilder jeder Körperregion in beliebiger Schnittführung gewonnen werden. Gemessen werden feinste magnetische Eigenschaften von Wasserstoffkernen und das Maß ihrer Beweglichkeit. Das Verfahren zeichnet sich durch eine sehr kontrastreiche Darstellung gerade der **Weichteile** (Tumor-

ausdehnung, Metastasen, Entzündungen, Cholesteatom) aus und ist damit teilweise komplementär zu den Röntgenverfahren. Bei T1-Gewichtung erreicht man ein hohes anatomisches Auflösungsvermögen und bei Gabe eines Kontrastmittels (Gadolinium-DTPA) hohe Spezifität. T2-Gewichtungen ermöglichen hohe Sensitivität bei der Suche pathologischer Veränderungen mit geringer Spezifität sowie die Beurteilung flüssigkeitsgefüllter Räume (3D-Rekonstruktionsverfahren ▶ Abschn. 2.6.3).

Die **Magnetresonanztomographie** (MRA) ermöglicht eine nicht-invasive Darstellung der Blut-



gefäße unter Ausnutzung der magnetischen Eigenschaften der Protonen im fließenden Blut. Um einen Kontrast zum stationären Gewebe zu erzeugen, werden Akquisitionsmethoden eingesetzt, die Blutgefäße mit relativ höherem Signal im Vergleich zur Umgebung darstellen.

Die **funktionelle Kernspintomographie** (f-MRT) ermöglicht eine Darstellung lokalisierter Perfusionsänderungen mittels Echogradienten- oder Echo-planartechnik bei funktioneller Aktivierung eines Hirnareals aufgrund der Änderung der Protonendichte. Dies wird z. B. zum Nachweis der funktionellen Aktivierbarkeit des Hörkortex bei Taubheit oder zentraler Schwerhörigkeit benutzt.

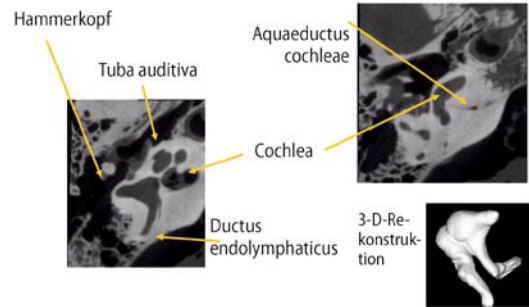
Die MRT ermöglicht die beste Darstellung auch kleiner **Akustikusneurinome** (nach Gabe von Gadolinium-DTPA; ■ Abb. 2.29) oder Gefäßschlingen. Der Verlauf des N. vestibulocochlearis und des N. facialis und die flüssigkeitsgefüllten Räume des Innenohres können dargestellt werden. Nachweis entzündlicher endokranieller Komplikationen, intrakranieller Blutungen und der Ausdehnung von Tumoren. Darstellung des Karotisstromgebietes und der intrakraniellen Gefäße mit Magnetresonanztomographie.

### 2.6.3 Dreidimensionale Rekonstruktionsverfahren

Dreidimensionale Rekonstruktionsverfahren (3D) aus Computertomogrammen oder Kernspintomogrammen eröffnen neue Möglichkeiten der Tumordarstellung und der Operationsplanung an der Schädelbasis (intraoperative Navigation!). Außerdem lassen sich Einzelstrukturen des Mittel- und Innenohres durch Segmentierung isoliert abbilden (Volumen-CT; ■ Abb. 2.30).

Die **virtuelle Endoskopie** erlaubt eine 3D-Darstellung der Mittel- und Innenohrräume mit lumenseitiger Betrachtung aus unterschiedlichen Winkeln.

**Image Fusion:** Überlagerung von CT-, MRT- und PET-Daten zur gleichzeitigen Darstellung von Knochen- und Weichteilstrukturen sowie funktionelle Bildgebung.



■ Abb. 2.30 Volumen-CT des Felsenbeins und 3D-Rekonstruktion der Gehörknöchelchenkette

### 2.6.4 Positronenemissionstomographie (PET)

Engl. *positron-emission tomography*

Eine funktionelle Aktivierung des auditorischen Kortex führt zu einer Steigerung des Glukosemetabolismus und der Durchblutung dieser Areale. Diese Änderung lässt sich mit Hilfe radioaktiv markierter Tracer, die Positronen emittieren, zweidimensional darstellen. Sie dient der Funktionsdiagnostik der zentralen Hörbahn, z. B. bei Cochlea-Implantat-Patienten bei gleichzeitiger Elektrostimulation oder dem Tumornachweis.

#### In Kürze

#### Bildgebende Verfahren

- Sie dienen der überlagerungsfreien Darstellung der knöchernen (CT, DVT) und Weichteilstrukturen (MRT des Felsenbeins in hoher Auflösung).
- Fester Bestandteil der Diagnostik von Hörstörungen durch Erfassung anatomischer Substrate wie Missbildungen, Knochenarrosionen bei Entzündungen, Frakturen, Tumoren und Gefäßprozesse
- 3D-Rekonstruktion zur Planung chirurgischer Eingriffe (Navigation)
- Angiographie zur Gefäßdarstellung und in Verbindung mit der Embolisierung zur Behandlung gefäßreicher Prozesse wie Glomustumoren.



- Funktionelle Bildgebung der Hörbahn durch funktionelle Kernspintomographie und Positronenemissionstomographie.

## 2.7 N. facialis: Funktion und Diagnostik

Differenzialdiagnose zentrale/periphere Schädigung  
► Kap. 4.4.

### 2.7.1 Funktionen (► Kap. 1.3.3)

- **Motorisch:** Stirnrunzeln, Augenschluss, Nase-rümpfen, Zähnezeigen, Pfeifen, Spannen der Halshaut, Kontraktion des M. stapedius
- **Sekretorisch:**
  - Tränensekretion: N. intermedius → N. petrosus major
  - Speichelsekretion Gl. submandibularis und Gl. sublingualis: N. intermedius → Chorda tympani
  - »Krokodilstränen«: Nach Verletzung der Intermediusfasern im N. facialis im Bereich des Ganglion geniculi Einwachsen von Chordatympani-Fasern in den N. petrosus major und Tränenröhrchen beim Essen (**gustatorische Lakrimation**).
- **Sensorisch:** Geschmacksempfindung der vorderen zwei Drittel der Zunge: Chorda tympani → N. intermedius (z. B. Schmeckstörungen bei Schädigung der Chorda tympani im Mittelohr)
- **Sensibel:** Versorgung von Anteilen des äußeren Gehörganges (N. auricularis post.)

### 2.7.2 Topische Diagnose

Die unterschiedlichen Funktionen und Abgänge des N. facialis machen eine funktionelle Topodiagnostik möglich.

- **Schirmer-Test** (Tränensekretion): Abmessen der durchfeuchteten Strecke eines Fließpapierstreifens, der in den Konjunktivalsack des

Unterlides eingelegt wird (pathologisch: eingeschränkte Tränensekretion bei mehr als 30% Seitendifferenz in 5 min)

- **Stapediusreflexprüfung** (► Abschn. 2.5.1).
- **Prüfung der Speichelsekretion:** Einlegen eines Kunststoffröhrchens in den Wharton-Gang und Messen der Speichelmenge pro Minute (Sialometrie)
- **Gustometrie:** Schmeckprüfung.
- **Elektrogustometrie:** Prüfung der elektrischen Erregbarkeitsschwelle der beiden Zungenhälfen nahe der Spitze im Seitenvergleich

### 2.7.3 Elektrische und magnetische Erregbarkeitsprüfung

**Nervenerregbarkeitstest = Nerve Excitability Test (NET)** Elektrische Nervenreizung am Foramen stylomastoideum und Bestimmung der Muskelkontraktionsschwelle (Oberflächenelektrode). Pathologisch ab 3,5 mA Seitenunterschied.

**Elektroneuronographie (ENOG), Maximalstimulationstest (MST), Neuromyographie (NMG)** Messung der Amplitude der Muskelkontraktionen (Summenaktionspotenziale) nach überschwelligem Reiz am Foramen stylomastoideum, ab. 4. Tag aussagekräftig. Durch Seitenvergleich der Amplituden wird indirekt der Prozentsatz der nicht mehr leitfähigen degenerierten Axone auch im Zeitverlauf ermittelt (Axonotmesis). Wichtig für Indikationsstellung zur operativen Exploration bei traumatischen Paresen.

**Elektromyographie (EMG)** Messung der Muskelaktionspotenziale (Nadelelektrode!) in Ruhe und bei Willkürinnervation. Aussagekräftig ab dem 7. Tag durch Auftreten von **pathologischer Spontanaktivität**. Die Potenziale nehmen bei zunehmender Nervendegeneration ab, es treten Denervierungszeichen (Fibrillation) auf. Die Elektromyographie, ggf. mit Reizung des N. facialis, wird zur Überprüfung der Fazialisfunktion bei Operationen im Nervenverlauf eingesetzt (Monitoring).

**Transkranielle Magnetstimulation (TKMS)** Reizung des motorischen Kortex durch ein sich rasch änderndes magnetisches Feld (Magnetspule über dem

Scheitelbein) und des N. facialis, ehe er in den inneren Gehörgang eintritt (Magnetspule über dem Os occipitale). Ableitung der Summenantwort von der mimischen Muskulatur. Feststellung der **motorischen Leitgeschwindigkeit** bzw. des **Ortes der Nervenläsion**.

## 2.7.4 Schädigungsformen

- **Neurapraxie:** Schädigung des Myelin, Axone erhalten.
- **Axonotmesis:** Achsenzylinder unterbrochen. Wenn die Nervenscheide erhalten ist, können die Axone wieder auswachsen.
- **Neurotmesis:** Durchtrennung des Nerven.

## 2.7.5 Symptome der Fazialislähmung

Kein Stirnrunzeln möglich, kein Lidschluss möglich (**Bell-Phänomen**), Pfeifen unmöglich, hängender Mundwinkel, Zähnezeigen nicht möglich.

**! Cave**  
Bei offenstehendem Auge Gefahr der Austrocknung mit konsekutiver Schädigung der Cornea.

### In Kürze

#### Nervus facialis: Funktion und Diagnostik

- Gemischter, vorwiegend motorischer Nerv mit Anlagerung des Nervus intermedius (sensorische und sekretorische Fasern).
- Topodiagnostik bei Lähmungen durch Funktionsprüfung der verschiedenen Nervenfasertypen.
  - Motorisch: periphere versus zentrale Lähmung (Stirnastbeteiligung)
  - Sekretorische Funktion (Tränendrüsen und Speicheldrüsen)
  - Sensorisch: Schmeckprüfung der vorderen Zungenanteile
- Elektromyographie: wichtigstes Verfahren zur Beurteilung des Grades der Schädigung und der Reinnervation

- ? Welche Hauptschwindelformen werden unterschieden (► Abschn. 2.5.2, S. 48f)?
- ? Wie lassen sich peripherer und zentral-vestibulärer Schwindel durch die klassischen und experimentellen Vestibularisprüfungen charakterisieren (► Abschn. 2.5.2, S. 58)?
- ? Was versteht man unter einem kochleären und einem retrokochleären Hörschaden und durch welche Untersuchungsbefunde werden beide charakterisiert (► Abschn. 2.5.1, S. 47)?
- ? Wodurch sind ein Trommelfeldefekt, eine Otosklerose, eine offene Tube und ein Glomustumor audiologisch charakterisiert (► Abschn. 2.5.1, S. 45)?
- ? Beschreiben Sie die Hauptkonstellationen der Stimmgabelversuche für Schalleitungs-, Schallempfindungs- und kombinierte Schwerhörigkeit (► Abschn. 2.5.1, S. 34f)!
- ? Welche Methoden zur Früherkennung der kindlichen Schwerhörigkeit kennen Sie (► Abschn. 2.5.1, S. 42)?
- ? Was versteht man unter elektrischer Reaktionsaudiometrie (► Abschn. 2.5.1, S. 42f)?
- ? Wie lässt sich die Funktion der Haarzellen überprüfen (► Abschn. 2.5.1, S. 43f)?
- ? Welche bildgebenden Verfahren setzen Sie bei der Diagnostik des Akustikusneurinoms ein (► Abschn. 2.6, S. 63)?
- ? Wie wird der Hörverlust quantitativ erfasst (► Abschn. 2.5.1, S. 35f u. 40f)?
- ? Wie kann man eine Neuropraxie von einer Neurotmesis unterscheiden (► Abschn. 2.7, S. 65)?
- ? Was versteht man unter vestibulärer Kompensation und wie kann sie objektiviert werden (► Abschn. 2.5.1, S. 54)?



Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde

Lenarz, Th.; Boenninghaus, H.-G.

2012, XVI, 488 S. 414 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-642-21130-0