

# Morbus Menière

Schwindel - Hörverlust - Tinnitus: eine psychosomatisch orientierte Darstellung

Bearbeitet von  
Helmut Schaaf

8., vollst. überarb. Auflage 2017. Buch. XII, 278 S. Softcover  
ISBN 978 3 662 52975 1  
Format (B x L): 16,8 x 24 cm

[Weitere Fachgebiete > Medizin > Sonstige Medizinische Fachgebiete > Psychosomatische Medizin, Schlafmedizin](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# Physiologische und anatomische Grundlagen

Was geschieht im Gleichgewichtssystem und im Gehör?

- 2.1 Gleichgewichtsorgan – 20**
  - 2.1.1 Orientierung über die Schwerkraft – 20
  - 2.1.2 Gleichgewichtssäckchen (Otolithenorgane) – 22
  - 2.1.3 Bogengänge – 24
  - 2.1.4 Der Saccus endolymphaticus und der Sinus endolymphaticus – 27
- 2.2 Gehöranteil – 28**
  - 2.2.1 Vom Schall zum Nervenimpuls – 28
  - 2.2.2 Vom Gleichgewichtssäckchen zur Schnecke – 30
  - 2.2.3 Corti-Organ – 32
- 2.3 Vestibularisnerv – 33**
- 2.4 Vestibulookulärer Reflex (VOR) – 34**
  - 2.4.1 Unterdrückung des VOR – 35
- 2.5 Okulomotorisches System – 35**
- 2.6 Nystagmus – 35**
- 2.7 Wer kann was! – 37**
- 2.8 Weitere Voraussetzungen für Gleichgewicht – 38**
- 2.9 Schaltstellen im Gehirn – 39**
- 2.10 Seelisches Gleichgewicht – 41**

In diesem Kapitel werden die medizinischen und psychologischen Grundlagen des Gleichgewichtssystems und des Hörens beschrieben.

- **Es ist für den Umgang mit der Menière-Erkrankung wichtig zu wissen, dass sich die Gleichgewichts- und Hörvorgänge in einem fein ausgeklügelten System im Innenohr abspielen.**

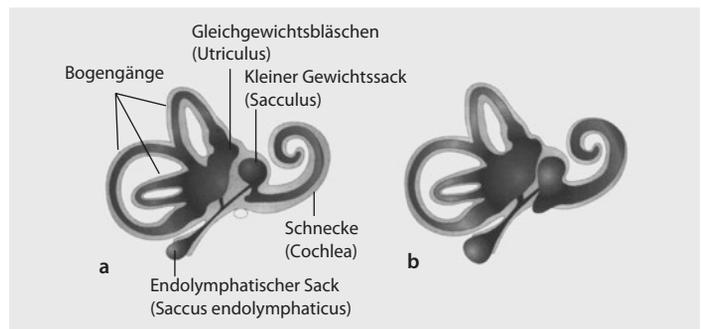
Für das Funktionieren dieses Systems sind konstante Verhältnisse der winzigen Flüssigkeitsmengen in (Endolymph) und um (Perilymph) die Gleichgewichts- und Hörgänge vonnöten. Nur dann können die sensiblen Organe mit ihren feinen Sinneshärchen Raum- und Höreindrücke in sinnvolle elektrische Impulse umwandeln.

### Endolymphatischer Hydrops

Bei Menière-Betroffenen hat sich im Innenohr die (Endolymph-) Flüssigkeit in den Gehör- und Gleichgewichtsschläuchelchen gestaut. Medizinisch wird dieser Flüssigkeitsstau »endolymphatischer Hydrops« genannt (■ Abb. 2.1a, b).

Dieser entsteht vermutlich als Folge eines Missverhältnisses von Produktion und Abtransport der Flüssigkeit in den Innenohrschläuchelchen. Dafür scheint v. a. eine verminderte Leistung des für den Abtransport zuständigen endolymphatischen Sacks (Saccus endolymphaticus) verantwortlich zu sein. Dadurch kann das fein ausgeklügelte System der Sinneswahrnehmung gestört werden und zu einem regelrechten Chaos im Gleichgewichtsorgan sowie zu Störungen und Ausfällen im Hörorgan führen. Sie äußern sich in typischerweise unvorhersehbarem, attackenweisem Schwindel, in Hörverlust und in Ohrgeräuschen sowie als Druckempfindung im oder hinter dem Ohr. Dies kann im Schwindelerleben, einer Schwerhörigkeit, dem Leiden am Tinnitus sowie einer Angstentwicklung mit Unsicherheit und depressiver Verarbeitung Auswirkungen auf den ganzen Menschen haben.

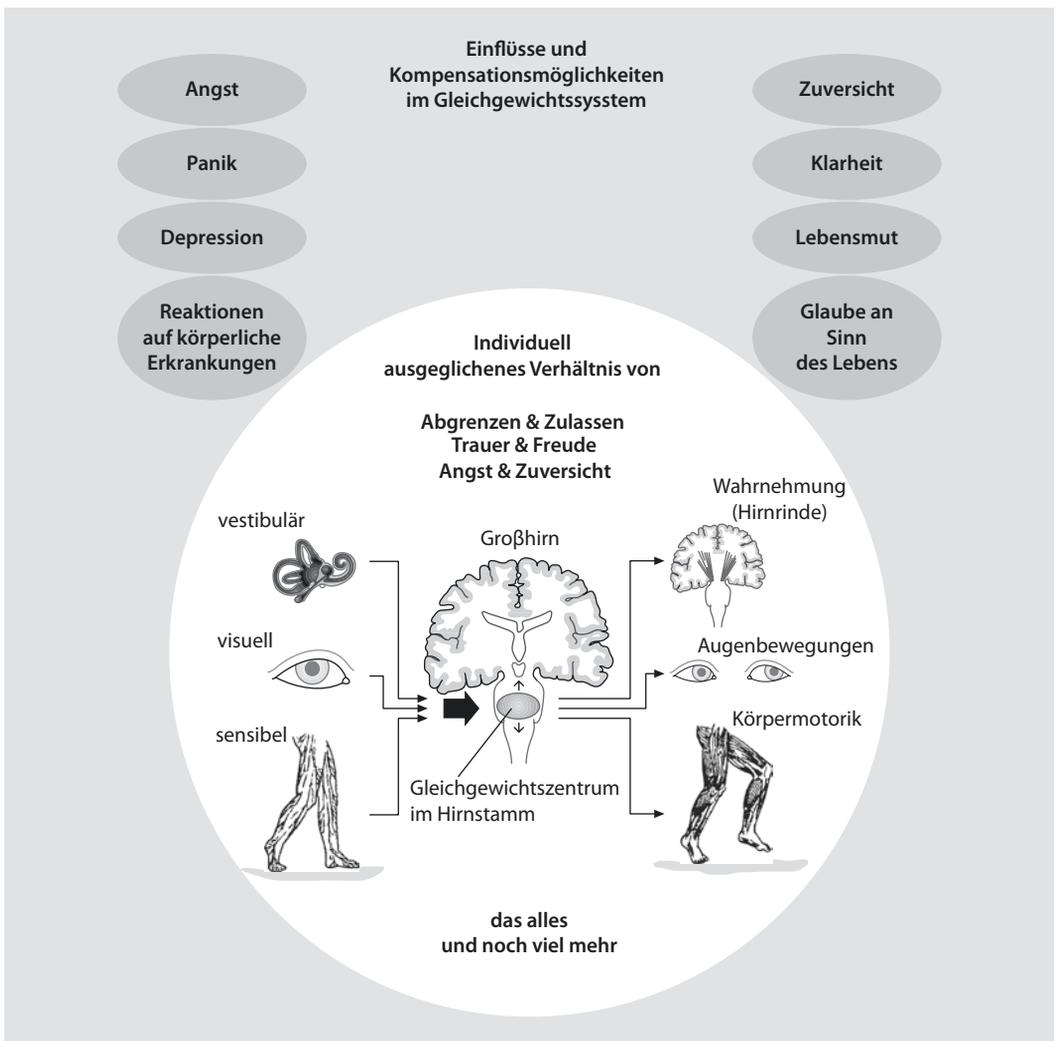
- **Das Gleichgewichtssystem umfasst weit mehr als die zwei spiegelbildlich zueinander gelegenen Gleichgewichtsorgane im Innenohr.**



■ **Abb. 2.1** a, b. Schematische Darstellung der Endolymphsituation. a Unauffällige Situation mit normal weiten Endolymphgängen; b Hydrops mit ausgeweiteten Endolymphgängen

Wichtige Mitspieler sind (■ Abb. 2.2):

- Zwei Augen, die ein Bild von Raum, Eigen- und Fremdbewegungen sowie Beschleunigung empfangen können
- Haut- und Tastorgane, die einen unmittelbaren Eindruck der Umgebung erfassen können
- Unzählige Körpereigenfühler (Propriozeptoren), die die Lage in den Gelenken ermessen
- Lunge, die Sauerstoff aufnimmt und Kohlendioxid abgibt,
- Verdauungssystem, das Nahrung aufnimmt und ausscheidet,
- Herz-Kreislauf-System, das den Austausch ermöglicht, und vieles andere mehr, damit die Organe am Leben bleiben



■ **Abb. 2.2** Das Gleichgewichtssystem. Eingehende Informationen, Verrechnung im Gleichgewichtszentrum, ausgehende Informationen

- Nervensystem, das die wahrgenommenen Eindrücke zum Gehirn (afferent) und die Impulse des Gehirns (efferent) an die Endorgane weiterleitet
- Gehirn, das auf langer evolutionärer Grundlage im Stammhirn alle Sinneseindrücke koordiniert und mit Reaktionen und Bewegung beantworten lässt
- Mut, Hoffnung und Zuversicht, damit das Machbare auch gewollt und angegangen werden kann
- Mitmenschen, die das Leben erst ermöglichen, erschweren und verschönern können

### Das Gleichgewicht: ständiges Zusammenspiel vieler Einzelkomponenten

Das, was wir als »Gleichgewicht« erleben, ist Ergebnis des ständig zu erhaltenden und zu erneuernden Zusammenspiels von Anforderungen *und* einer sinnvollen Reaktion darauf. Hinzu kommen muss ihre Integration auf allen Ebenen des zentralen Nervensystems. Ein akuter Ausfall einer Komponente kann das Gleichgewicht durcheinander- und »zum Schwinden« bringen.

Wenn Ihnen diese kurze Erklärung als erste Orientierung genügt, können Sie die folgende Vertiefung in das Thema »überspringen« und gleich in ► [Kap. 3](#) weiterlesen.

Für viele ist aber auch das möglichst genaue Verständnis des bisher organisch Bekannten wichtig, um so viel Klarheit wie möglich zu bekommen. Für diese und diejenigen, die vielleicht später noch Genaueres wissen wollen, sollen die Grundlagen des Gleichgewichtssystems, der Aufbau und die Arbeitsweise des Innenohrs in seinen Grundzügen dargestellt werden.

Dies führt zunächst zu einem – trotz gegenteiliger Bemühungen teilweise nicht so einfachen – Gang bis in das »Labyrinth«, wie die Innenohrstrukturen auch genannt werden.

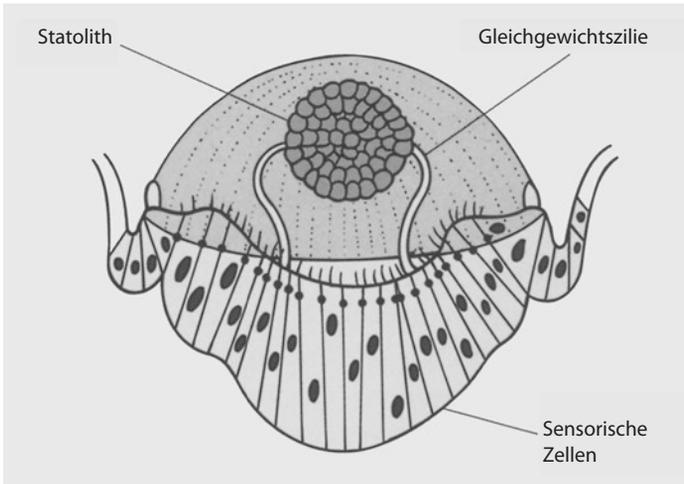
## 2.1 Gleichgewichtsorgan

### 2.1.1 Orientierung über die Schwerkraft

Wer sich im Raum orientieren will, ist darauf angewiesen, sich »einen Eindruck« von der Schwerkraft und ein Bild von der unmittelbaren und näheren Umgebung zu machen. Schon einzellige Meeresbewohner haben Kalksteinchen in ihren Organismus aufgenommen. Dies machte sie zwar weniger beweglich, ermöglichte ihnen aber eine Orientierung über »unten« und – damit automatisch – auch »oben« (■ [Abb. 2.3](#)).

Hier erwies sich, wie so oft im Leben, ein zunächst offensichtlich »schwer wiegender« Nachteil gegenüber den anderen letztlich als Entwicklungschance. So war die Wahrnehmung der Schwerkraft über die Erhöhung der Dichte im Zellsystem ein erster Schritt in der Entwicklung zu einem immer komplexer werdenden Gleichgewichtssystem. Nachdem sich Wahrnehmungsflächen für oben und unten etabliert hatten, war es nur noch ein kleinerer Schritt, die gleichen sensiblen

## 2.1 · Gleichgewichtsorgan

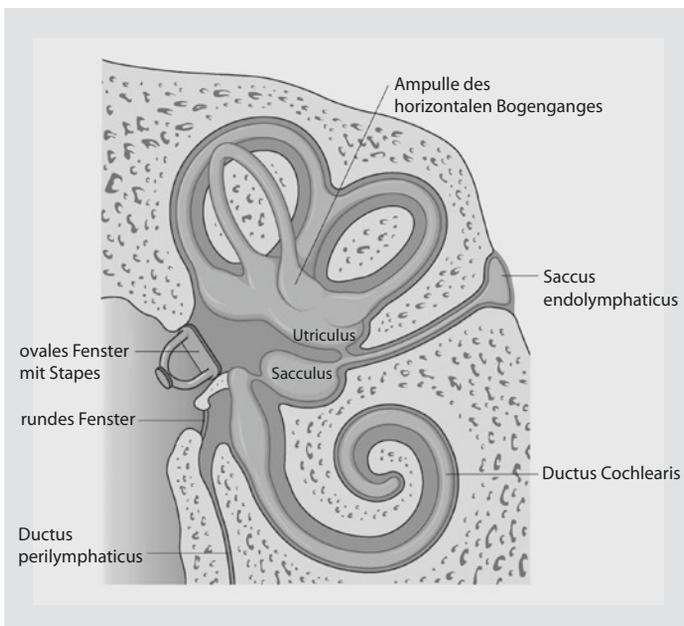


■ **Abb. 2.3** Bild eines Hohlkörpers vor etwa 600 Mio. Jahren. Ein Kalkkörper in der Mitte einer gallertartigen Masse zeigt Verbindungen zu einfachen Sinneszellen. (Aus: Scherer 1997)

Wahrnehmungsflächen – senkrecht dazu – auch für links und rechts zu entwickeln.

Dabei hat sich dieses Prinzip zur Auslotung von oben und unten sowie von links und rechts so bewährt, dass sich dieses Grundelement der Kalksteinchen auch in den hochkomplexen, verschiedene Sinnesorgane umfassenden Gleichgewichtssystemen der Vögel und Säugetiere findet (■ [Abb. 2.4](#)).

**Kalksteinchen weisen die Richtung**



■ **Abb. 2.4** Das Innenohr. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

## Geschützt im härtesten Knochen des Menschen

### 2.1.2 Gleichgewichtssäckchen (Otolithenorgane)

Im menschlichen Gleichgewichtsorgan finden sich – gut geschützt im Felsenbeinknochen, dem härtesten Knochen des Menschen – als Grundeinheit des Gleichgewichtsorgans zwei kleine »Gleichgewichtssäckchen«.

Der evolutionär älteste Anteil wird wegen seines etwas schlauchförmigen Aussehens Utrikulus (lat. kleiner Schlauch) genannt, das später hinzugekommene Säckchen Sakkulus (lat. Säckchen). Utrikulus und Sakkulus stehen senkrecht aufeinander. Sie nehmen mit 12–16 mm<sup>3</sup> gerade einmal den Platz einer Kaffeebohne ein (Lang 2003).

Beim Menschen sind in beiden Organanteilen etwa 30.000 feine Steinchen aus Kalk (*Otolithen*) in eine gallertartige Wand eingelagert. Durch diese Kristalle ist die Dichte der Membran beträchtlich höher als die Dichte der darin befindlichen Flüssigkeit (Endolympe), die die Innenräume der beiden »Säckchen« ausfüllt. In der gallertartigen Wand nimmt ein Verband von Sinneshaarzellen (med.: maculae) die Impulse der Otolithen auf, die sich in Abhängigkeit von der Bewegung im Raum ändern (▣ Abb. 2.5).

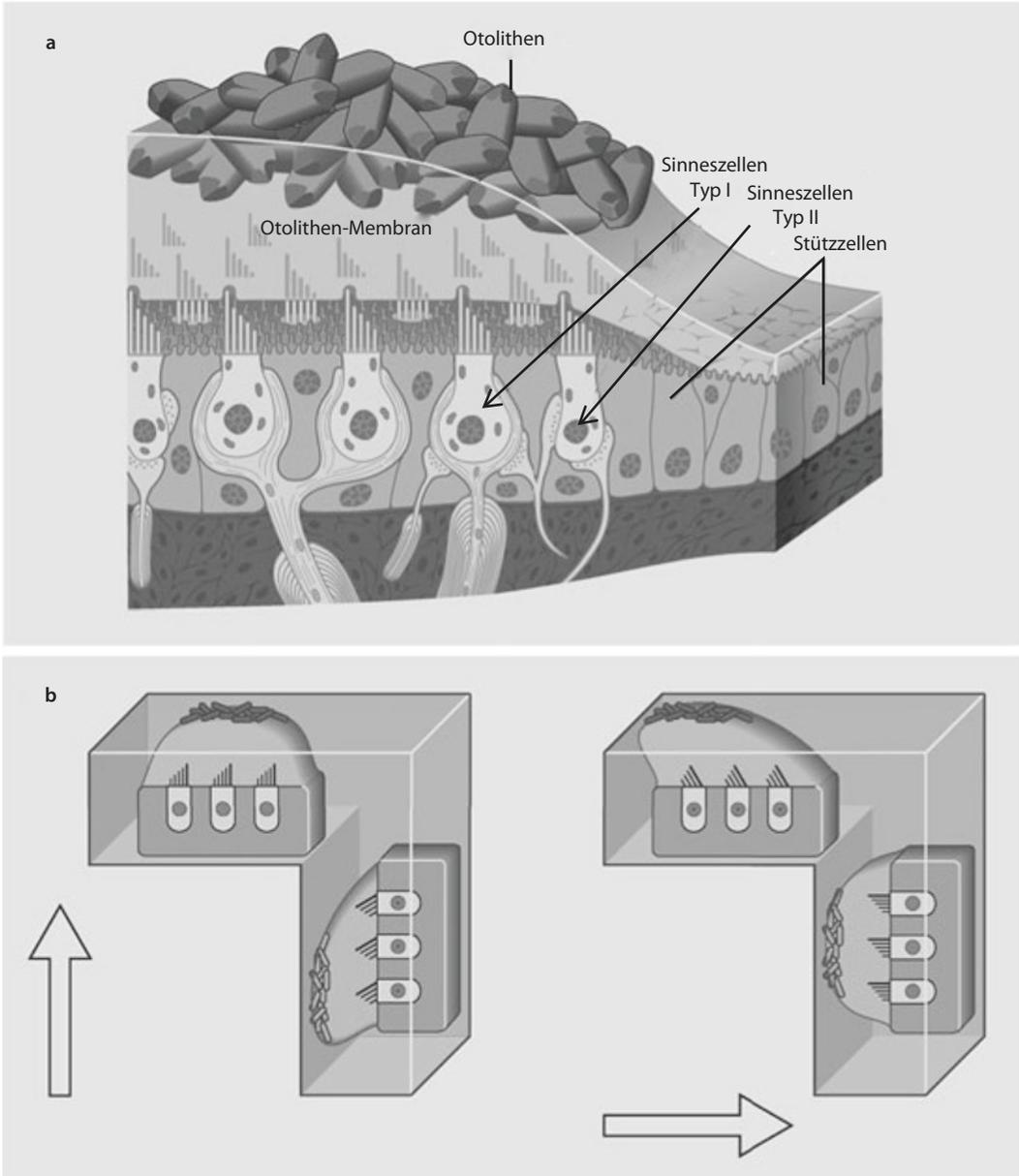
Der Mensch besitzt etwa 33.000 Sinneszellen in der Macula utriculi und etwa 18.000 Sinneszellen in den Macula sacculi. Man kann sowohl nach ihrem Aussehen als auch nach ihrer Funktion zwei unterschiedliche Typen von Gleichgewichtssinneszellen unterscheiden: Der klobig amphenförmig aussehende Typ I ist von dicken Weiterleitungsfasern umgeben und vermittelt eher hohe Frequenzen (phasisch dynamisch). Der langgestreckte zylinderförmige Typ II ist über dünne Fasern gekoppelt und leitet langsam (tonisch) langsame Frequenzen weiter. (s. → Abb. 2.5).

Die Sinneszellen reagieren auch im Gleichgewichtsanteil auf akustische Reize und je nach Frequenz anders. So lassen sich in einem Frequenzspektrum von ca. 100 Hz bis 4000 kHz die – später erläuterten – vestibulär evozierten Potentiale einem breiten Spektrum ableiten (Walther u. Cebulla 2015). Dabei enthält das Sinnesepithel im Gleichgewichtsorgan nicht nur Nervenbahnen, die die Außeneindrücke zum Zentralnervensystem (afferent) melden, sondern es finden sich auch Nervenbahnen vom Zentralnervensystem zum Gleichgewichtsorgan (efferent). Das Verhältnis von afferenten zu efferenten Fasern beträgt 500 zu 10.000; dies entspricht einem Verhältnis 1:20 (Lang 2003). Das heißt: auch diese Sinnesorgane unterliegen einer Steuerung aus dem Zentralnervensystem und sicher auch dem »limbischen System«, in dem u. a. die emotionalen Anteile der Wahrnehmung gesteuert und beantwortet werden, meist ohne dass dies im Einzelnen bewusst wird.

Die »Schwere« der Erdanziehung wird über die kleinen Kristalle in den beiden Gleichgewichtssäckchen als Grundinformation (»Ruhetonus«) vermittelt. Auch wenn sich der Körper in Ruhe befindet, wenn also eigentlich »nichts geschieht«, werden Informationen über diesen Zustand an das Zentralnervensystem, das Gehirn, geschickt.

Das Gleichgewicht schläft nie

➤ Gleichgewichtssignale werden auch in Ruhe gesendet.



■ **Abb. 2.5** a, b. a Makula in den Otolithenorganen Sakkulus und Utrikulus; b Ablenkung der Sinneshaare der Makulaorgane in Sakkulus und Utrikulus durch Verlagerung bei linearen Beschleunigungen, senkrecht im Sakkulus, waagrecht im Utrikulus. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

Verändert sich die Lage im Raum auch nur minimal, verschieben sich auch die Kristalle auf ihrer gallertartigen Membran. Die Bewegung der Otolithen in der gallertartigen Membran löst bei den in diese hineinreichenden Sinneszellen – durch »Abscherung«/Lageänderung – eine Veränderung des Ruhemusters (Potenzials) aus. Die wird als

**Sinneszellen »ausgelenkt«**

Veränderungs-Information, zum Zentralnervensystem, also ans Gehirn gesandt (■ Abb. 2.5).

Dabei sind die Sinnesfelder so angeordnet, dass der *Utrikulus* – beim aufrechten Gang – die horizontale Ebene (links *und* rechts) erfasst und der *Sakkulus* (S wie senkrecht) die aufrechte Ebene (Vertikale). Dabei ist die Ausrichtung der Sinneszellen, welche die Schwerkraft erfassen, nicht streng senkrecht und waagrecht ausgerichtet. Die Ausrichtungen überlappen sich teilweise, was für die Kompensationsleistungen im Gleichgewichtssystem eine wichtige Bedeutung haben kann. Zudem können die beiden »mittig« gelegenen Sinneszellen auch auf tiefe Töne reagieren, was sie für akustische Diagnoseverfahren zugänglich macht.

### Otolithenorgane in aufeinander stehenden Gleichgewichtssäckchen

Wenn es zu geradlinigen Veränderungen der Lage im Raum kommt, dann rutscht die mit den Kalkkristallen gefüllte Membran ein winziges Stück über die feinen Sinneszellen. Dadurch werden die Sinneszellen »ausgelenkt«; dies wird als Information zum Zentralnervensystem, also an das Gehirn gesandt. Weil die einzelnen Wahrnehmungsstationen (Makulaorgane) in den beiden Säckchen senkrecht aufeinander und spiegelbildlich zum gegenüberliegenden Gleichgewichtsorgan stehen, ergibt sich aus jeder denkbaren Stellung im Raum ein unterschiedliches Reizmuster. Dieses wird im Gehirn als Raumeindruck ausgewertet.

## 2.1.3 Bogengänge

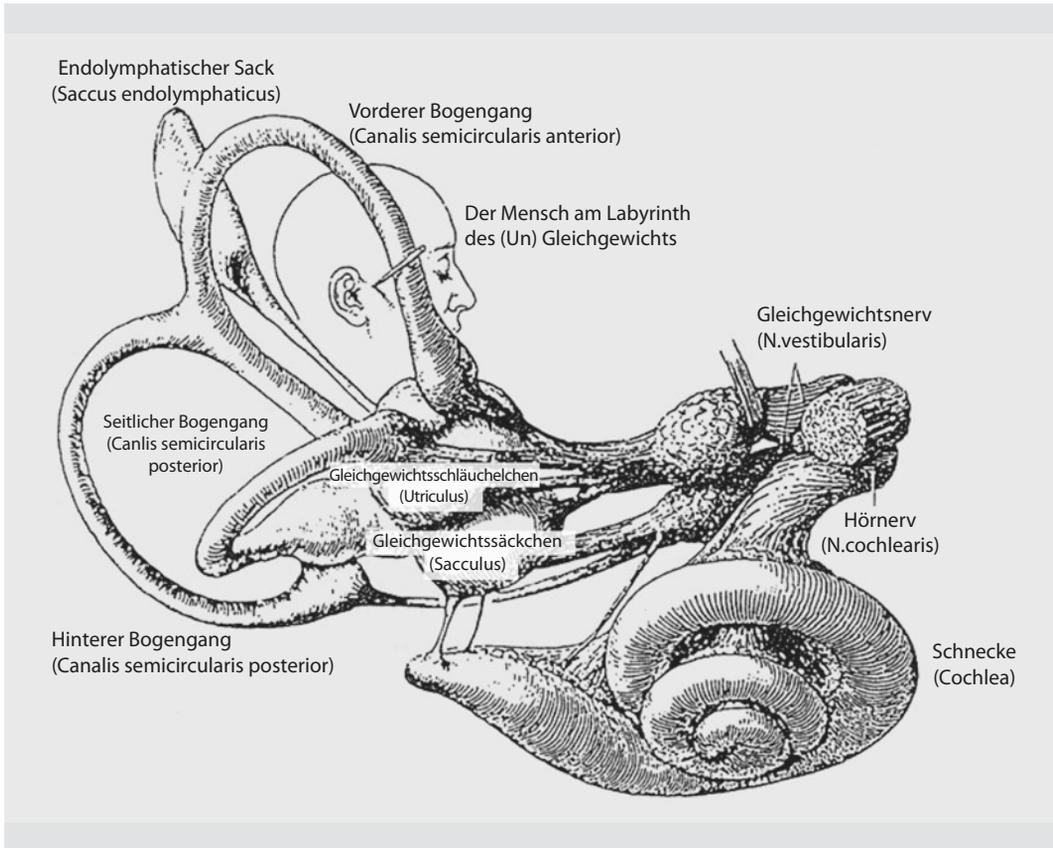
Was für die Orientierung im Raum noch »fehlte«, war die Möglichkeit, Beschleunigungen und Drehbewegungen zu erfassen. Dazu hat sich im Laufe der Evolution eine Konstruktion aus drei flüssigkeitsgefüllten Schläuchen etabliert. Diese sind beim Menschen als »Bogengänge« angelegt (■ Abb. 2.6).

**Endolymphe und Perilymphe**

Die Bogengänge sind halbkreisförmige Knochenkanäle von etwa 0,2 × 0,3 mm Durchmesser, in die ein häutiger Schlauch eingelassen ist. Alle drei Bogengänge gehen vom lang gezogenen Gleichgewichtsschläuchchen, dem Utrikulus, aus und enden – in einer kolbigen Erweiterung (Ampulle) – auch wieder dort.

➤ **Die Flüssigkeit in diesem Schlauch heißt Endolymphe, die umgebende Flüssigkeit Perilymphe.**

Die Bogengänge sind insgesamt mit 3–5 µl Endolymphe (Lymphe = Flüssigkeit; Innen = endo) gefüllt (Michel 1998). Die Endolympheflüssigkeit ist reich an Kalium (etwa 145 mmol/l) und ähnelt der Flüssigkeit in Zellen. Die Endolymphe wird in einem kleinen Bereich (im Planum



■ **Abb. 2.6** Rechtes häutiges Labyrinth und der dazugehörige Mensch

semilunatum) vom sog. Gefäßstreifen (der Stria vascularis) an der Basis der Ampulle in den Bogengängen produziert. Die den häutigen Schlauch umgebende Perilymphe hat immerhin ein Volumen von 12–16  $\mu\text{l}$ . Sie ist ähnlich zusammengesetzt wie die Flüssigkeit in den Blutgefäßen und enthält viel Natrium (etwa 140 mmol/l).

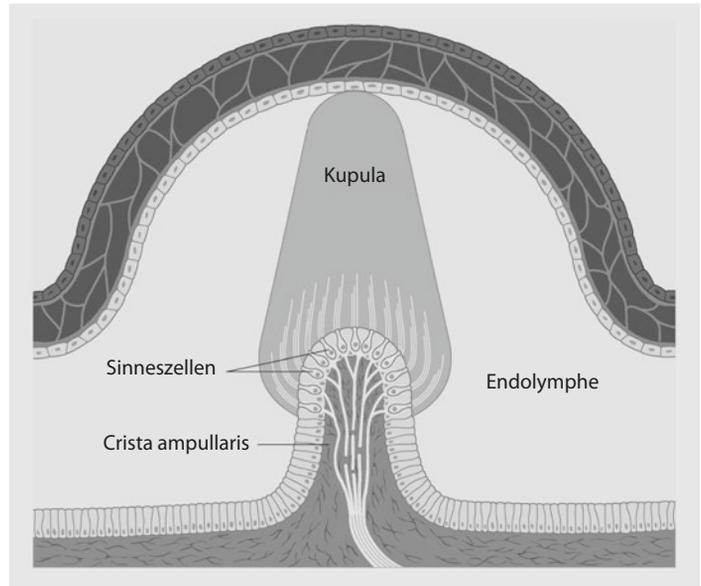
Ausführlich und sehr fachspezifisch beschreiben Gleich et al. (2008) sowohl die Zusammensetzung der Endolymphflüssigkeit, die Unterschiede zwischen den elektrischen Ladungen der Endolympe und Perilymphe als auch die Bedeutung des Kaliumhaushaltes für die Funktionsfähigkeit.

➤ **Gallertartige Körper registrieren die Veränderungen durch die Endolymphbewegung.**

Die Sinneszellen, die auf die Veränderungen durch Beschleunigung reagieren, befinden sich im Bereich einer kolbigen Erweiterung, den sog. Ampullen (■ [Abb. 2.7](#)).

In diesen Ampullen ragen die Sinneszellhaare in eine gallertartige Kuppel hinein. Diese besitzt aber keine Kalkkristalle. So gibt es – im

**Gallertartige Körper in den Bogengängen**



■ **Abb. 2.7** Schnitt durch die Bogengangsampulle mit Crista ampullaris und Kupula. (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

Gegensatz zu den Gleichgewichtssäckchen – keinen Dichteunterschied zwischen der Flüssigkeit und der gallertartigen Masse. Die Folge ist, dass bei geradlinigen Bewegungen die Sinneszellen unbeeinflusst bleiben. Wie in den Gleichgewichtssäckchen (Otolithenorganen) kann man auch in der Kupula der Bogengänge die zwei Typen von Gleichgewichtssinneszellen unterscheiden. Die klobig amphorenförmig aussehende Typ I ist von dicken Weiterleitungsfasern umgeben und vermittelt eher hohe Frequenzen (phasisch dynamisch). Der langgestreckte zylinderförmige Typ II ist über dünne Fasern gekoppelt und leitet langsam (tonisch) langsame Frequenzen weiter (→ [Abb. 2.5](#)).

Auch in diesem Abschnitt des Gleichgewichtsorgans werden die aufnehmenden Sinneszellen von aus dem Zentralnervensystem kommenden efferenten Nervenfasern gegen-reguliert. Wie bei den Otolithenorganen senden die Sinneszellen der Bogengänge auch in Ruhe ein Grundmuster zum Gehirn. Wird der Kopf z. B. aus der Ruhelage in Drehung versetzt, so werden die im Schädel fest verankerten Bogengänge mitgedreht. Die Flüssigkeit in den Bogengängen bleibt aber wegen ihrer Trägheit zunächst in Ruhe. Dadurch werden die Sinneszellen, die an die Kanalwand fest angeheftet sind, wie eine gespannte Membran in die Gegenrichtung ausgerichtet.

Man kann sich die Funktionsweise der Bogengänge vereinfacht als drei in alle Richtungen des Raumes ausgerichtete Wasserwaagen vorstellen. Statt einer Luftblase bei der Wasserwaage findet sich in der Ampulle – als verschiebbliche »Ablese-Einheit« – ein Gallertkörper.

Die Bewegung der Sinneszellen erzeugt eine Veränderung der Nervenimpulse im Vergleich zum Ruhesignal, was in Richtung Gehirn

gesandt wird. Dies geschieht gleichzeitig in den drei Bogengängen, die in die Hauptrichtungen des Raumes aufgestellt sind.

Am Beginn einer Bewegung sind die Kräfte, die auf die Sinneszellen wirken, am größten. Wenn aber aus einer Beschleunigung eine dauerhafte Geschwindigkeit wird, wie bei einem Fahrzeug, das zunächst schnell startet, um dann »gleich schnell« weiterzufahren, wird der Bogengang mit seiner Flüssigkeit genauso schnell gedreht wie die galertige Kuppel. Dann wird die gleichförmige Bewegung genauso wie eine Ruheposition wahrgenommen.

➤ **Die fünf Anteile des Gleichgewichtsorgans können auf kleinste und schnelle Beschleunigungen reagieren, sie stellen sich aber auf gleichförmige Bewegungen ein.**

Eine Bewegung löst in den Bogengängen der beiden – sich gegenüberliegenden – Gleichgewichtsorgane eine Veränderung des Ruhemuslers (Potenzials) aus. Diese verhalten sich spiegelbildlich zueinander:

- Ein Drehimpuls zur gleichen Seite löst im zuständigen Bogengang eine vermehrte Impulsrate aus (»An«).
- Ein Drehimpuls zur gegenüberliegenden Seite bewirkt dementsprechend (und auch gegenüber dem Ruhetonus) eine verminderte Signalrate (»Aus«).

So löst eine horizontale Beschleunigung des Kopfes nach links

- eine vermehrte Impulsrate des linken und spiegelbildlich
- eine verminderte Impulsrate des rechten horizontalen Bogengangs

aus.

Dadurch erhält die Empfangsstelle im Stammhirn zwei Informationen: es bewegt sich etwas zu der einen Seite hin *und* es bewegt sich etwas von der anderen weg. Auch dies ist wichtig für die Kompensation bei Gleichgewichtsschäden. Dabei weist jeder der insgesamt sechs Bogengänge (drei auf jeder Seite) eine festgelegte Drehausrichtung auf.

➤ **Die Fähigkeit eines jeden Bogenganges, auf Veränderungen seiner und der gegenüberliegenden Seite unterschiedlich zu reagieren, stellt eine Grundlage für das Phänomen der Gleichgewichtskompensation dar.**

### 2.1.4 Der Saccus endolymphaticus und der Sinus endolymphaticus

Im Saccus endolymphaticus erfolgen normalerweise der Abtransport und die Resorption der Endolymph. Zudem, so Plontke und Gürkov (2015), weisen tierexperimentelle Daten auf eine Fähigkeit des Saccus endolymphaticus zu sekretorischer Aktivität bei niedrigem Endolymphvolumen hin. Das heißt, der Anteil des Gleichgewichtsorgans,

**Beschleunigung führt zu erhöhter Impulsrate**

der für den Abtransport der Endolymphe zuständig ist, könnte auch helfen, fehlendes Volumen auszugleichen. Dabei sind jeweils unterschiedliche Zelltypen im Saccus endolymphaticus aktiviert. Außerdem scheint inzwischen gesichert, dass hier immunologische Vorgänge des Innenohrs vonstattengehen (Rudack 1995).

Im Falle eines örtlich überhöhten oder verminderten Endolymphdrucks wird in den richtungsabhängigen Klappensystemen in den Endolymphgängen der Ausgleich durch Längsfluss der Endolymphe wiederhergestellt. Darüber hinaus scheinen das Hormon Vasopressin und das natriuretische Peptid die Druckregulation zu beeinflussen (Salt u. Plontke 2011).

Anatomisch entspricht der Sinus endolymphaticus einer Membranstruktur am Anfangsteil des Ductus endolymphaticus, dort, wo der Gang (Ductus) aus dem Gleichgewichtsschläuchelchen (Utrikulus) und der Gang aus dem Gleichgewichtssäckchen (Sakkulus) zusammenkommen.

In Abhängigkeit vom aktuellen Endolymphvolumen und der damit verbundenen Vordehnung des Sinus kann über diese Struktur – wie bei einem Ventil mit Durchflussbegrenzung – bei niederfrequenten Druckschwankungen (z. B. hervorgerufen durch Schlucken oder Kontraktionen von Mittelohrmuskeln) eine mehr oder weniger große Menge Endolymphe über den Ductus endolymphaticus in den Saccus endolymphaticus transportiert werden. Dadurch kann bei geringem Endolymphvolumen der Endolymphtransport in den Ductus endolymphaticus begrenzt werden. Umgekehrt könnte mehr Endolymphe in den Ductus endolymphaticus transportiert werden, wenn das Endolymphvolumen hoch ist. Damit, so Plontke und Gürkov (2015), könnte der Sinus endolymphaticus an der Regulation und Kontrolle eines abweichenden Endolymphvolumens beteiligt sein.

Westhofen (2009) weist darauf hin, dass in Ruhe beim Gesunden nahezu kein Druckunterschied zwischen Endo- und Perilymphe besteht.

## 2.2 Gehöranteil

### 2.2.1 Vom Schall zum Nervenimpuls

Hören heißt, Schallsignale aufzunehmen, zu verarbeiten und zu erkennen. Dabei passieren Schallwellen zunächst das äußere Ohr bis zum Trommelfell. Die Impulse an das Trommelfell werden über kleine Gehörknöchelchen bis an das Innenohr weitergegeben. Dabei werden die Schalleindrücke 18- bis 22fach verstärkt (■ Abb. 2.8).

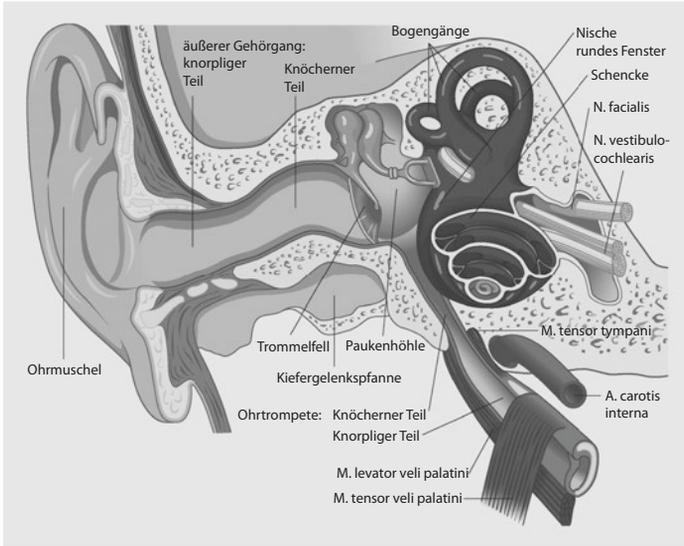
Die Schallwellen erreichen je nach Tonhöhe (Frequenz) unterschiedliche Orte in der nach ihrer äußeren Form benannten Schnecke.

Schwingungen mit hoher Frequenz, also helle Töne, finden ihren Niederschlag in der ersten Schneckenwindung nahe am Mittelohr. Töne mit niedriger Frequenz, also tiefe und dumpfe Töne, werden am Ende

Druckausgleich zwischen  
Endo- und Perilymphe

Schnecke

## 2.2 · Gehöranteil

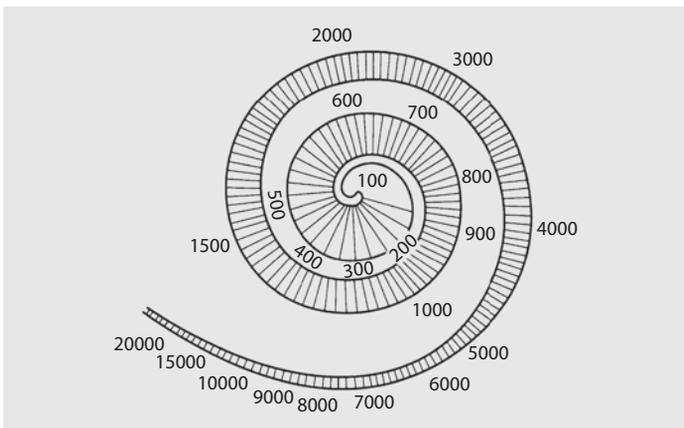


■ **Abb. 2.8** Das Ohr. Übersicht (Aus: Boenninghaus u. Lenarz 2007)

der Schneckenswindung in der Nähe des »Schneckenlochs« abgebildet. So hat jede Frequenz je nach ihrer Qualität einen spezifischen Ort in der Schnecke (■ [Abb. 2.9](#)).

Die Umwandlung der von außen kommenden mechanischen Energie in Nervenimpulse erfolgt im Corti-Organ, dem eigentlichen Sinnesorgan (s. u.). Die nur (!) 3.000 inneren Haarzellen sind die eigentlichen Empfangsstationen; die 12.000 äußeren Haarzellen haben meist verstärkenden, manchmal aber auch abschwächenden Einfluss. Durch die inneren Haarzellen erfolgt die Umwandlung des Höreindrucks von außen zu einem Nervenimpuls. Dieser wird dann in Richtung Hörzentrum im Gehirn weitergeleitet.

## Corti-Organ



■ **Abb. 2.9** Tonlokalisierung auf der Basilarmembran

Für das räumliche Hören ist es unerlässlich, dass größere Teile der von der Schnecke zum Zentralnervensystem ziehenden Nervenleitungen schon sehr früh, ab dem 2. Nervenknoten, auf die andere Hör- und Hirnseite kreuzen. So können Zeitunterschiede wahrgenommen und als Raumeindruck im Hörzentrum gewertet werden.

### Individuelle Hörwirklichkeit

#### ■ Komplexe Vernetzung und Kommunikation im Hörsystem

Schon während der Aufnahme des Höreindrucks erfolgen viele regulierende Einflüsse. Dies sind aktive und sehr individuelle Prozesse. Auf dem Weg vom Innenohr bis zur Wahrnehmung des Höreindrucks wird die Information von außen durch viele Regulationsvorgänge in Bruchteilen von Sekunden aufgearbeitet, verstärkt oder abgeschwächt und – in den allermeisten Fällen – erst gar nicht in die Wahrnehmung vorgelassen. Dorthin gelangt nur, was für den Einzelnen wichtig ist, sei es erschreckend oder angenehm, auf jeden Fall aber von Interesse und am besten »neu«. Auch hier spielt das sog. limbische System eine große Rolle. So wird jeder noch so objektiv messbare Ton je nach Aufmerksamkeit und Stimmungslage anders wahrgenommen werden. Aus einer Außenwelt, die über objektiv messbare Schallimpulse »in uns« dringt, wird eine höchst eigene Wirklichkeit.

### 2.2.2 Vom Gleichgewichtssäckchen zur Schnecke

Entwicklungsgeschichtlich stellt die Schnecke (Kochlea) einen sich erst spät ausgebildeten Ausläufer des Gleichgewichtssäckchens (Sakkulus) dar (Ritter 2003). Dieser reagiert neben seiner Gleichgewichtsfunktion bereits auf sehr tiefe Töne, wobei der Übergang von spürbaren Vibrationen und tiefen Tönen fließend ist.

### Frühwarnsystem Hören

Während sich auf der Basis des Utrikulus drei Bogengänge für die Erfassung von Drehbewegungen herausgebildet haben, hat sich aus dem Sakkulus ein Ausläufer entwickelt, der im Laufe der Entwicklung von den Fischen über die Reptilien hin zu den Säugetieren zunehmend sensibler auch für höhere Schwingungen, also Töne, wurde. Deswegen finden sich in der Kochlea im Prinzip auch die Strukturen der Sinneszellen und die Endolymphflüssigkeit wie in den Bogengängen. Dies hat an Land, wo Töne über Luft übertragen werden, eine überlebenswichtige Bedeutung bekommen. Diejenigen, die früh hören können, ob Gefahr droht oder Beute naht, konnten bei entsprechender Entwicklung ihrer Lauf- und Fangfähigkeiten besser reagieren als etwa gehörlose Nachtschnecken, denen obendrein noch die Fähigkeit des Weglaufens fehlt.

### Unterschiedliches Resonanzverhalten

Ein Problem bei der Verarbeitung ist, dass Schallimpulse sowohl in den Höranteil als auch in den Gleichgewichtsanteil eindringen. Dabei sollte aber nur der Höranteil auch den Schall »ansprechen« und mit sinnvollen Nervenimpulsen reagieren, während der Gleichgewichtsanteil keine Reaktionen auf akustische Impulse zeigen soll. Der dafür notwendigen und entscheidenden Entwicklung der Natur kamen schon 1934 de Burlet und noch einmal 2006 Carey und Nivee anhand

vergleichender anatomischer und physiologischer Untersuchungen auf die Spur. So ist der Gleichgewichtsanteil knöchern, d. h. in festem Material »eingemauert«, während der Hörschlauch weich eingebettet ist. Daraus resultiert ein unterschiedliches Resonanzverhalten, was wesentlich für die getrennte Wahrnehmung der Schallwellen im Höranteil und die fehlende Reaktion im Gleichgewichtsanteil ist.

Treten anlage- oder unfallbedingt Lücken in der knöchernen Umhüllung ein (»sog. 3. Fenster«, oft beim oberen Bogengang), so reagiert das Gleichgewichtsorgan auf Schallimpulse, was beim betroffenen Menschen Schwindel auslöst (»Tullio-Phänomen«).

### ■ Wo finden sich die Funktionen in den anatomischen Strukturen wieder?

Der M. Menière ist eine Erkrankung des Innenohrs (■ [Abb. 2.8](#)). Das Ohr beginnt mit dem Außenohr. Dazu gehören die Ohrmuschel, der äußere Gehörgang und das ihn begrenzende Trommelfell. Das Trommelfell ist ein hochsensibles und schmerzempfindliches Häutchen. Es stellt die Grenze zum Mittelohr dar. Das Mittelohr ist im gesunden Zustand mit Luft gefüllt. Es enthält in einer »Paukenhöhle« drei Gehörknöchelchen, die nach ihrem Aussehen Hammer, Amboss und Steigbügel benannt sind.

Der Steigbügel setzt auf dem ovalen Fenster auf, einer Grenze zum Innenohr. Hier werden die Schallwellen, die bislang über Luft übertragen wurden, im mit Perilympfen gefüllten Innenohr in Flüssigkeitsbewegungen umgewandelt. Die zweite Grenze stellt das runde Fenster dar, das die über das ovale Fenster angestoßenen Druckwellen wieder an das mit Luft gefüllte Mittelohr entlässt.

Beim aufrecht stehenden Menschen findet sich im oberen Teil des Innenohrs das Gleichgewichtsorgan und im unteren Teil das Hörorgan. Nicht zufällig wird das Innenohr auch Labyrinth genannt, das wir – mit Ritter (2003) und Lang (2003) – zur Orientierung ein wenig in Millimeterschritten durchwandern wollen.

Die – auch evolutionäre Basis – des von Flüssigkeit (Perilymphe) umgebenen, schlauchförmigen Röhrensystems ist das ca. 5 mm lange Schläuchelchen mit dem lateinischen Namen Utrikulus. Es ist fest verankert im Knochen und beherbergt eine mit Kalkkristallen (Otolithen) überzogene Wahrnehmungsfläche (Maculae) von ca. 2–3 mm für die horizontale Ausrichtung.

Über einen kleinen Kanal, dem »Canalis utriculus-saccularis« ist der Utrikulus mit seinem Mitspieler für die vertikale Ausrichtung, dem Sakkulus, und dem Kanal hin zum Saccus endolymphaticus in einer Doppelung der Hirnhaut (Dura, → [Abb. 2.4](#)) verbunden. Der Kanal heißt lateinisch Ductus endolymphaticus. Im Saccus endolymphaticus erfolgen normalerweise der Abtransport und die Resorption der Endolymphe. Außerdem scheint inzwischen gesichert, dass hier immunologische Vorgänge des Innenohrs vonstatten gehen (Rudack 1995).

Der Verbindungsweg zwischen den beiden Otolithenorganen, Utrikulus und Sakkulus, und dem endolymphatischen Sack wirkt durch

### Übergang von Luft zu Wasser

**Röhren- und Klappensysteme**

seine winkelförmige Anordnung und Abknickung wie eine Klappe im Röhrensystem: die sog. Bast-Klappe.

Aus dem Utrikulus entspringen die drei Bogengänge mit 1,2 mm Durchmesser. Sie stehen in den drei Hauptrichtungen des Raumes - jeweils senkrecht und spiegelbildlich angeordnet zur gegenüberliegenden Seite. Sie münden auch mit ihrer am Ende klobig erweiterten 1 mm hohen Kupula auf der Crista ampullaris im Utrikulus.

In der Kupula findet sich die bewegungsabhängige Ampulle als Bewegungsmelder für den jeweiligen Bogengang (■ **Abb. 2.7**). Dabei existieren deswegen nur fünf Öffnungen im Utrikulus, weil sich der obere und der hintere Bogengang schon vor der Einmündung in den Utrikulus vereinigen.

Auch der rundliche Sakkulus mit einem Querdurchmesser von ca. 2 mm und einem Längsdurchmesser von ca. 3 mm ist fest am Knochen befestigt. Er beherbergt, wie der Utrikulus, eine mit ca. 1–2 mm etwas kleinere, mit Otolithen überzogene Wahrnehmungsfläche (Makula).

Über einen ca. 0,7 mm langen »vereinigenden« Gang von 0,2–0,5 mm Durchmesser, den Ductus reuniens, steht der Sakkulus mit der Schnecke, dem Hörorgan, in Verbindung. Dieser windet sich 2,5-mal spiralförmig um eine Achse (Modiolus), die Nerven und Blutgefäße enthält. Das hat dem Gehörorgan den Namen Schnecke (Kochlea) gegeben.

Dabei finden sich im Querschnitt drei abgrenzbare Einheiten: der Gehörgang und zwei ihn umgebende, mit Perilymphnen gefüllte Etagen. Diese sind wiederum nach ihrer räumlichen Lage benannt: die Paukentreppe (Scala tympani) liegt dem Mittelohr, der Pauke, nahe und die Vorhoftreppe (Scala vestibuli) dem Gleichgewichtsorgan (Vestibulum).

Die obere Wand des Gehörgangs, die Reissner-Membran, trennt dabei die nur ca. 2 µl umfassende Endolymphe von den 8 µl Perilymphflüssigkeit in der Vorhoftreppe. Die untere Wand, die Basilmembran, grenzt den Gehörgang von der Perilymphe der Paukentreppe ab.

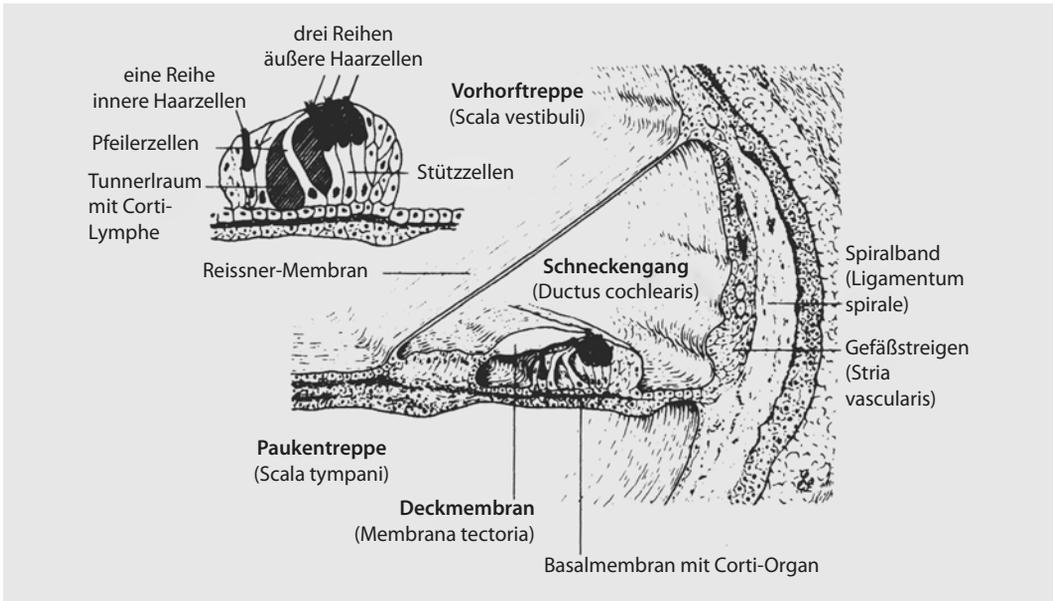
**2.2.3 Corti-Organ**

Auf der Basilmembran sitzt das eigentliche Hörorgan, das nach seinem Erstbeschreiber benannte »Corti-Organ« mit ca. 15.000 Sinneszellen (12.000 äußere und 3.000 innere Haarzellen; ■ **Abb. 2.10**).

Das Corti-Organ wird von einem Häutchen bedeckt, der Deckmembran (Membrana tectoria), die mit den Sinneshörchen in Verbindung steht. Die äußere Wand des Gehörgangs, das Spiralband (Ligamentum spirale), trägt den seitlichen Gefäßstreifen (Stria vascularis), der einen wichtigen Anteil bei der Produktion der Endolympheflüssigkeit hat.

Umgeben ist das häutige Labyrinth von der Perilymphe. Der Perilymphraum ist über den Perilymphgang (Ductus perilymphaticus, aber auch Aquaeductus cochleae benannt) mit einem mittleren Durchmesser von 0,09 mm (1–2 mm) und einer Länge von 6,3 mm mit der Umgebungsflüssigkeit des Gehirnraums verbunden.

**Knochenfixiert: die Otolithenorgane****Hörorgan mit 15.000 Sinneszellen**



■ **Abb. 2.10** Das Corti-Organ im Querschnitt. (Aus: Boenninghaus 1990)

Der Perilymphgang beginnt von der Scala tympani kurz vor dem runden Fenster, verläuft in Form eines »S« und endet in einer dreiecksförmigen Mündung an der hinteren Felsbeinkante. Beim erwachsenen Menschen wird er in der Regel von einem Netz feiner Bindegewebsfasern durchzogen (Michel 1998).

Perilymphgang

## 2.3 Vestibularisnerv

Jeder der drei Bogengänge und die zwei Otolithenorgane geben ihre Informationen (afferent) an den Gleichgewichtsnerven (Vestibularisnerv) weiter (■ [Abb. 2.6](#)). Dieser ist zunächst noch in zwei Teile aufgeteilt:

- Der obere Teil enthält die Fasern des oberen (vorderen) und seitlichen (horizontalen) Bogengangs sowie die des Utrikulus.
- Der untere Teil enthält die Fasern des unteren (hinteren) Bogengangs und des Sakkulus.

Zunächst zweigeteilt: der Gleichgewichtsnerv

Vor dem ersten Knotenpunkt (dem sog. Ganglion scarpae) auf dem Weg zu den Kerngebieten des Gleichgewichtssystems im Zentralnervensystem vereinigen sich beide Anteile zum Gleichgewichtsnerven (Nervus vestibularis). So geht sein Weg durch den Eingang des inneren Gehörgangs, bis er zusammen mit dem von der Schnecke kommenden Hörnerven den sog. VIII. Hirnnerven bildet. Die Fasern dieses gemeinsamen »Nervus vestibulocochlearis« enden in den miteinander verknüpften Kerngebieten des Gleichgewichtssystems im Stamm- und im Kleinhirn.

## 2.4 Vestibulookulärer Reflex (VOR)

Nun nützt die beste Raumempfindung wenig, wenn sie nicht mit dem Sehen und der Bewegung verbunden ist. Wichtig ist daher, dass die »blinde« Raumwahrnehmung und die »schwebende« Sehfähigkeit ausreichend aufeinander abgestimmt sind und sich auch noch in entsprechende Haltung und Bewegung umsetzen können.

### Blick 150 ° nach unten

Beim normalen Gehen macht es Sinn, dass die Augen immer nach vorne gucken, um eventuelle Stolpersteine früh genug zu erkennen meist in einem Winkel von 150 ° nach unten.

Zudem ist es wichtig, dass wir einen Gegenstand, ein Objekt, auch während einer Bewegung »fest« im Blick halten können. Dazu muss sich bei einer Bewegung unseres Kopfes die Blickrichtung gleichzeitig um den gleichen Winkel entgegen der Bewegungsrichtung verschieben – ohne dass wir darüber erst nachdenken müssen.

### Drei-Neuronen-Reflex

So wird in nur drei Schritten (Drei-Neuronen-Reflex) die Information – *reflexhaft* – über den Knotenpunkt im Gleichgewichtskerngebiet (Nucleus vestibularis) weitergeleitet.

- *Schritt 1:* Die Gleichgewichtsorgane nehmen über die Veränderungen der drei Bewegungsmelder (Kupula) in den Bogengängen und die Verschiebung der kleinen Kalkkristalle in den Otolithenorganen Bewegungsimpulse auf und senden sie zum Kerngebiet der Augenmuskeln.
- *Schritt 2:* Im Kerngebiet der Augenmuskeln werden über die zuständigen dritten, fünften und sechsten Hirnnerven (III, IV, VI) die Muskeln, die am Auge ansetzen, auf der Seite der Drehbewegung gehemmt und auf der gegenüberliegenden Seite aktiviert.
- *Schritt 3:* Dreht sich der Kopf nach links, bewegen sich die Augen mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit nach rechts.

Diese starre und starke reflexhafte Verbindung zwischen den Gleichgewichtsorganen (vestibulo) und der Augenbewegung (okulär) ist der vestibulookuläre Reflex (VOR).

- **Eine der charakteristischen Zeichen des VOR ist, dass er optimal bei schneller Geschwindigkeit der Kopfbewegung funktioniert.**

### Winkelgrade pro Sekunde

Wenn Sie versuchsweise den Kopf (z. B. in der »Nein-Nein«- oder »Ja-Ja«-Ausrichtung) bewegen, während Sie in das Buch vor Ihnen schauen, werden Sie dennoch in der Lage sein, die Schrift zu fixieren. Ihre Bogengänge übertragen die Geschwindigkeitsinformation über kurze Wege mit wenigen Umschaltungen zu den Augennerven und -muskeln. Daraufhin reagieren die Augenmuskeln mit entsprechender Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit der Augenbewegung wird in Winkelgraden pro Sekunde ( $^{\circ}/s$ ) gemessen. So können Bewegungen bis zu einer Winkelgeschwindigkeit von  $40^{\circ}/s$  ausgeglichen werden.

### 2.4.1 Unterdrückung des VOR

---

Der VOR kann willentlich und unbewusst unterdrückt werden. Das kann sinnvoll und nötig sein, wenn man etwa beim »um die Ecke gehen« nicht die Umgebung, sondern ein sich mitbewegendes Objekt, z. B. die Armbanduhr, scharf sehen will. Damit der Blick auf dem mitbewegten Objekt verbleiben kann und sich eben nicht der Kopfbewegung entgegenesetzt verhält, muss der VOR unterdrückt werden. Diese Unterdrückung ist eine Leistung des Zentralnervensystems im »okulomotorischen Kern« des Kleinhirns (Flokkulus).

**Unterdrückung eine zentrale Leistung**

## 2.5 Okulomotorisches System

---

Die Augen müssen nicht nur den eigenen Bewegungen, sondern auch denen anderer Menschen und beweglichen Objekten folgen können. Dazu musste sich das Zusammenspiel der Augenbewegungen auf das Gesehene entwickeln (okulomotorisches System). Dabei werden die von den Augen aufgenommenen Informationen als Nervenimpulse von der Netzhaut (Retina) zu verschiedenen Knotenpunkten im Gehirn – in den »visuellen Kortex« – weitergeleitet. Über Kerngebiete des visuellen Kortex und das Kleinhirn können die Informationen sowohl zu den Knotenpunkten des Gleichgewichtsorgans übermittelt (vestibularen Nuklei) als auch mit den Informationen aus dem Gleichgewichtsorgan abgeglichen werden.

Das Resultat aus diesem Vergleich wird wieder zurück an die okulomotorischen Nuklei übermittelt, um die Bewegung der Augen auf das Zielobjekt zu führen.

Der Weg vom Sehen über das Gehirn zurück zu den Augenbewegungen ist deutlich aufwendiger und damit auch langsamer als der schnelle oben beschriebene »Drei-Neuronen-Reflex«. Kommt es durch die Bewegung großflächiger Sehziele zu langsamen, aber noch kompensierbaren Augenbewegungen, können willkürlich relativ langsame Rückstellbewegungen (Sakkaden) notwendig werden.

Bei andauernden schnellen Bewegungen treten regelmäßige Rückstellbewegungen der Augen auf. Es entsteht das Muster eines – beim Sehen ausgelösten – Nystagmus.

**Anspruchsvoll und irritierbar:  
Augenfolgebewegungen**

## 2.6 Nystagmus

---

Wenn es zu schnell geht, etwa beim Hinausschauen aus einem fahrenden Zug oder in einem Karussell, erschöpfen sich die Möglichkeiten einer kompensatorischen Gegenbewegung der Augen. Dann müssen die Augen immer wieder in einer schnellen, für den Betroffenen nicht wahrnehmbaren, reflektorischen Ruckbewegung zurückgestellt werden.

**Reflektorische Ruckbewegung**

- **Diese rhythmische Abfolge von langsamen und schnellen Bewegungen der Augen des Gegenübers wird medizinisch als »Nystagmus« bezeichnet.**

Der Begriff Nystagmus kommt – wie so vieles in der Medizin – aus dem Griechischen: Nystagmos (wörtlich: νυσταγμός »Schläfrigkeit« und nystazō »nicken«, »schlummern«) bezeichnet unkontrollierbare, rhythmische Bewegungen eines *Organs*. Betrifft dies die Augenbewegungen, wird unter Nystagmus in der Regel ein »Augenzittern« verstanden.

Bei einem Nystagmus finden sich zwei Bewegungskomponenten:

- eine *langsame* Komponente, d. h. eine von der Kopfbewegung ausgelöste und ihrem Tempo entsprechende, aber entgegengerichtete Bewegung mit Geschwindigkeiten bis ca. 100°/s, und
- eine *schnelle* Komponente, d. h. eine der Kopfbewegung gleichgerichtete, reflektorische Rückstellbewegung mit Geschwindigkeiten bis ca. 700°/s.

Die Einteilung der Nystagmen basiert auf Form, Richtung, Geschwindigkeit, Amplitude, Dauer und Intensität. Wegen der besseren Erkennbarkeit für den Beobachter wird die Richtung des Nystagmus in der klinischen Diagnostik nach der schnellen Phase bezeichnet.

Wird ein Nystagmus durch Kopfbewegungen oder durch Erkrankungen des Gleichgewichtsorgans wie beim M. Menière, verursacht, spricht man von einem *vestibulären Nystagmus*. Wird hingegen ein Nystagmus durch schnelle Bildfolgen (optische Objekte) ausgelöst, spricht man von einem *optokinetischen Nystagmus*. Auch dies geschieht unwillkürlich als Folge eines reflektorischen Vorganges.

Der *optokinetische Nystagmus* »springt« später als der des Gleichgewichtsorgans an.

**Optokinetischer Nystagmus erschöpft sich nicht**

- **Der optokinetische Nystagmus ist nicht willentlich beeinflussbar, erschöpft sich nicht und kann nicht durch das vestibuläre System unterdrückt werden. Anders als beim Gleichgewichtsorgan führen konstant gleichförmige Bewegungen nicht zur Gewöhnung, wir bleiben also »optisch« immer dran, außer bei – meist ungunstigen – pharmakologischen Beeinflussungen.**

Wenn Sie sich das Ergebnis eines solchen mehrschrittigen Prozesses im Vergleich zum kleinen Versuch beim Austesten des VOR anschauen wollen, dann halten Sie bitte das Buch vor die Augen. Bitte bewegen Sie es zunächst langsam vor Ihren Augen nach links und rechts oder nach oben und unten. Bei langsamen Veränderungen erlauben »langsame Folgebewegungen« ein sich bewegendes Objekt im Gesichtsfeld zu halten. Sie werden das Geschriebene noch erkennen können, ohne es dabei wirklich lesen zu wollen.

Wenn Sie das Buch schneller bewegen (über 45° Winkelbewegung), vielleicht so schnell, wie Sie zuvor den Kopf bewegt haben, verschwimmt

das Bild. Jetzt können die Augen nicht mehr akkurat folgen: Es werden schnelle »Rückstellbewegungen« (Sakkaden) nötig, um es erneut im Blickfeld einzufangen, die Buchstaben werden unscharf abgebildet.

## 2.7 Wer kann was!

Das ständige und immer aktive Bemühen um eine ausreichende Raumorientierung, Haltungsregulation und Blickstabilisierung erfolgt in einem Dynamikbereich von nieder-, mittel- und hochfrequenten Signalen. Die Beanspruchung ändert sich »in Bewegung« permanent. Bei geringer bis hoher Belastung beträgt sie etwa 1–10 Hz. Unter stärkerer körperlicher Beanspruchung steigen die dynamischen Anforderungen. Dann entstehen höherfrequente Signale, z. B. bei der Fortbewegung (Gehen, Laufen), gleichzeitig sind niederfrequente Signale dabei für die Speicherung der Wegstrecke erforderlich (»Navigation«). Die Frequenz erhöht sich noch weiter bei Erschütterungen und Vibrationen (Walther et al. 2012).

Jedes der drei Systeme zur Wahrnehmung von Fremd- und Eigenbewegungen hat einen optimalen Arbeitsbereich, in dem die Impulse am besten verarbeitet werden können.

### ► Beim gleichgewichtsgesunden Menschen ergänzt und überlappt sich die Reizverarbeitung.

- Mit den Augen(folge)bewegungen können wir am besten sehr langsame und langsame Bewegungen bis zu 0,2 Hz erfassen und »im Blick behalten«.
- Die Wahrnehmungsstationen in den Bogengängen (Kupula) reagieren schon auf langsame Bewegungen. Ab Frequenzen von 0,2 Hz bilden sie die Wirklichkeit besser ab als die Augenfolgebewegungen. Sie erreichen ihren optimalen Bereich zwischen 0,5 und 16 Hz. Das stellt auch den optimalen Arbeitsbereich für den Reflexbogen zu den Augenmuskeln (VOR) dar (Walther et al. 2012).
- Danach können die Bogengänge noch bis 20 Hz reagieren, sie bilden dabei die Wirkkräfte nicht mehr ganz exakt ab.

Eine Zwischenstellung nehmen die Gleichgewichtssäckchen, Utrikulus und Sakkulus, ein. Sie arbeiten schon ab der kleinsten Regung ab einer Beschleunigung von  $0,05 \text{ m/s}^2$  (Stoll et al. 2004) – optimal bis zu einer Frequenz von 1,5 Hz.

Im Idealfall ergänzen sich die einzelnen Teilfähigkeiten. Werden aber z. B. die Bogengänge in ihrer Funktion nachhaltig eingeschränkt, so kann dieses Manko über die Augenfolgebewegungen und die Funktion der Gleichgewichtssäckchen in weiten Teilen ausgeglichen werden. Allerdings wird die »Qualität« für den speziellen Teilbereich der Bogenangefunktionen nicht mehr ganz erreicht. In der Folge können dann

sehr schnelle Bewegungen nur mit Rückstellbewegungen der Augen (Sakkaden) nach-verfolgt werden. Gleichzeitig wird es schwieriger, eigene Bewegungen von denen aus der Umwelt zu unterscheiden. Mit Übung, Zuversicht und Einschaltung des bewussten Zuordnens (Mitdenken) sind allerdings die allermeisten Alltagsaufgaben ausreichend bewältigbar.

## 2.8 Weitere Voraussetzungen für Gleichgewicht

### Nervenspindelchen (sog. Körpereigenfühler)

#### ■ Informationen aus Haut, Händen und Füßen

Eine wichtige Informationsquelle über den Stand und die Stellung der Gelenke zueinander sowie über die greifbare Umgebung erhalten wir über das Berühren und Empfinden sowohl mit Händen und Füßen als auch mit unseren sog. *Körpereigenfühler*. Hierbei handelt es sich um kleinste Nervenspindelchen, die in den Muskeln über den Spannungszustand, die Stellung und die Länge von Muskeln, Sehnen und Gelenken informieren. Eine besondere Rolle gerade für den aufrechten Gang kommt dabei den *Halsrezeptoren* zu, die über die Stellung des Kopfes in Position zum Rumpf informieren.

Die enorme Bedeutung der Körpereigenfühler kann man sich wie folgt klar machen: Selbst Menschen *ohne* Gleichgewichtsorgan können, wenn sie dies lang genug geübt haben, auch mit geschlossenen Augen noch stehen und sogar, mit entsprechenden Einschränkungen, gehen.

### Umherschweifender Nerv

#### ■ Das »Bauchgefühl«

Eng verbunden mit den Gleichgewichtskernen ist das Brechzentrum. Schmeckt eine aufgenommene Substanz übel (verderblich), so ist es sinnvoll, diese zu erbrechen. Dies geschieht regelmäßig bei »Übelkeit«. Dieser Reflex ist sehr alt und heute noch bei einfachen Quallen in seiner ursprünglichen Anlage zu sehen. Wahrscheinlich hat sich hieraus der beim Menschen zu findende Verbindungsweg zwischen den Gleichgewichtszentren und dem X. Hirnnerven, dem Nervus vagus, entwickelt. Dieser reicht als umherschweifender Nerv des vegetativen Nervensystems bis zum Magen. Er vermittelt uns neben vielen anderen, nicht bewussten Aufgaben oft ein »Gefühl aus dem Bauch«. Dies kann durchaus mit zu Rate gezogen werden, wenn einem »etwas aufstößt«.

### Aktive Erhaltung des Gleichgewichts

#### ■ Herz, Lunge, Essen und Trinken.

Das normale Gleichgewicht ist das Produkt eines ständig aktiv zu erhaltenden und zu erneuernden Zusammenspiels zwischen vielfältigen Informationen aus der Umwelt und ihrer Aufnahme und Verarbeitung auf allen Ebenen des zentralen Nervensystems. Dabei gibt es kaum etwas, was nicht für die aktive Erhaltung des Gleichgewichts vonnöten ist. Dazu gehören u. a.:

- Ein- und Ausatmung
- Herz und Kreislauf
- Zufuhr und Abfuhr von Kalorien und Flüssigkeit

## 2.9 · Schaltstellen im Gehirn

- Stabile Stoffwechsellage
- Angemessener Hormonhaushalt
- Weiterleitung durch funktionstüchtige Nerven von den Füßen bis zum Gehirn und umgekehrt
- Menschen und Mitmenschen
- Freunde und Feinde, Gegenüber und Gegner

Ausfälle, die vom Gleichgewichtssystem nicht mehr kompensiert werden können, machen sich dann manchmal bei ihrem Schwinden oder im Schwindel bemerkbar.

### ■ Umsetzung in Bewegung

Meist unbewusst und in Millisekunden werden die neuen Informationen aus der Umgebung mit früheren Bewegungserfahrungen verglichen und bewertet. Ergibt sich aus dem Abgleichen der verschiedenen Informationen eine Differenz zum Gleichgewicht, folgen in der Regel sofort und »unwillkürlich« Reaktionen in Form von Muskelaktivitäten und Augenbewegungen, die einen stabilen Zustand wieder herstellen sollen. Dazu braucht man (fast) alle Muskeln des Bewegungsapparates. Diese bekommen ihre Informationen über die direkte Anbindung an das Gehirn (Augenmuskeln) oder über die vom Rückenmark ausgehenden Nervenfasern.

Die meisten festen Nervenverschaltungen von und zu den Muskeln gehen von den Rückenmarksbahnen aus und treffen sich auch dort wieder. Sie regulieren u. a. das feine Gleichgewicht und Wechselspiel der sich ergänzenden Beuge- und Streckmuskeln.

### Bewegungserfahrungen und-reaktionen

## 2.9 Schaltstellen im Gehirn

- **Das Gleichgewicht wird meist erst dann bewusst wahrgenommen, wenn es im Schwinden begriffen ist.**

Anders als wir denken, funktionieren wir im Großen und Ganzen, ohne dies immer wieder bewusst »bedenken« zu müssen. Dabei hat der Körper die meiste Arbeit mit sich selbst, um seine Aufrecht-Erhaltung zu organisieren. Informationen und Irritationen über die Umwelt nehmen nur einen kleinen Teil ein, die wenigsten davon werden »bewusst« wahrgenommen. Dennoch hat uns die Entwicklung der Hirnfähigkeiten dazu gebracht, so weit zu kommen, wie wir nun sind, im Guten wie im ausreichend Schlechten.

Die Schaltstelle des Gleichgewichtssystems liegt im Hirnstamm in den sog. Gleichgewichtskernen (Vestibulariskernen) und im Kleinhirn. Dort werden die von den verschiedenen Sinnesorganen (Augen, Gleichgewichtsorgan, Körpereigenfühler) eingehenden Informationen zu einem stimmigen Eindruck zusammengefügt und mit den neu eingehenden Informationen verglichen (Brandt et al. 2012). Zu sehr großen Teilen sind sie – um des Überlebens willens – auch schon im Stammhirn

### Abgleichung von ererbten und gelernten Mustern

### Stammhirn interpretiert ohne nachzudenken

als Grundlagen und grobe Konzepte gespeichert. Über die Vielzahl der zum Überleben, Wahrnehmen und Bewegen nötigen Muster und Handlungsabläufe kann man gar nicht nachdenken, ohne handlungsunfähig zu werden. Wie (fast) alles, was gut funktioniert oder funktionieren muss, geschieht dies überwiegend unbewusst.

Durch die spiegelbildliche Anordnung der insgesamt sechs Bogengänge *und* der sich ebenfalls gegenüberliegenden Otolithenorgane ergibt sich aus jeder denkbaren Stellung *im Raum* ein unterschiedliches Informationsmuster für das Gehirn. Dies wird im Gehirn als Raum-Eindruck ausgewertet. Entscheidend für die Wahrnehmung im Gehirn ist nicht der einzelne Wert links oder rechts, sondern das, was als Bilanz zwischen Aktivierung in die eine und Hemmung in die andere Richtung im Stammhirn ankommt. Das Stammhirn interpretiert – ohne »bewusst nachzudenken« – einen Unterschied zwischen rechts und links als Bewegung.

### Doppelt hält besser

#### ■ Vor- und Nachteile

**Vorteil:** Bei Gleichgewichtsgesunden werden die Informationen doppelt abgesichert. Selbst wenn bei einem Menschen ein komplettes Gleichgewichtsorgan ausfällt, können bei Bewegungen zur gesunden Seite nahezu 100 % korrekt an das Gehirn vermittelt werden. Dazu genügt die zunehmende Aktivierungsrate des gesunden Bogenanges, auch wenn – bei einem Gleichgewichtsausfall von der ausgefallenen Seite – »gar nichts« kommt. Die Möglichkeit, selbst den Verlust eines Gleichgewichtsorgans weitestgehend auszugleichen, ist die Grundlage der Gleichgewichtstherapie zur Rehabilitation des Gleichgewichtsvermögens.

### Bewusstsein nur bei Unerwartetem angefragt

**Nachteil:** Je komplexer ein System zusammengebaut ist, desto anfälliger kann es werden. So erhöhen sich die Störungsmöglichkeiten, aber auch die Kompensationsmöglichkeiten mit der Zunahme von Einzel-elementen. Dabei können einzelne Teile ausfallen, es kann jedoch auch dazu kommen, dass einzelne Teile untereinander nicht mehr ausreichend abgeglichen werden können. So leitet der rechte Bogengang anders weiter als der linke. Vielleicht erblicken die Augen etwas, was das Gleichgewichtsorgan ganz anders bewertet. Dadurch kommt es zu einer Konfusion der Informationen, obwohl alle ihre Arbeit gut erledigen.

Wenn neue Fragestellungen auftauchen oder wenn die alten Antworten keine zufrieden stellenden Lösungen ermöglichen, kann der Prozess bewusst und – teilweise – auch geändert werden. Will ich wissen, ob etwas vom »Gleichgewicht« funktioniert, muss ich es herausfordern, etwa durch neue Balanceübungen, auf dem Rummel oder der Achterbahn – oder bei diagnostischen »Provokationen«. Genaugenommen ist das Gleichgewicht dann nicht mehr im alten Gleichgewicht, sondern auf dem Weg zu einem neuen.

### Nicht zu fassen

Wahrscheinlich ist es deswegen so schwer, das so selbstverständlich Erscheinende, schon immer Dagewesene, immer gut in sich abgestimmte Gleichgewicht positiv und »griffig« in Worte zu fassen.

Hingegen können Schwindelanfälle das selbstverständlich Geglaubte gründlich durcheinander wirbeln und rufen wohl deshalb nicht selten Todes- und Vernichtungsängste hervor. Jetzt wird dem Betroffenen im Schwinden seiner Fähigkeiten bewusster, was alles nötig war, um bisher aufrecht gehen zu können. Dabei kann er meist keine Erfahrung oder Vorstellung davon haben, wie er jetzt wieder auf die Beine kommen kann.

Der Psychosomatiker Viktor von Weizsäcker, der selbst an einer anfallsartigen Schwindelerkrankung litt, bezeichnete den Schwindel trefflich als ein »urkrankhaftes Symptom«.

»Urkrankhaftes Symptom«

## 2.10 Seelisches Gleichgewicht

---

Genauso wie es ein körperliches Gleichgewicht gibt, existiert sicher auch ein psychisches oder »seelisches« Gleichgewicht. Dies ist allerdings nicht einfach zu beschreiben, denn darüber, was »Seele« und »Seelisches« ist, gibt es in der Geschichte der Menschheit Hunderte von sich widersprechenden Ideen und Theorien. Eine Übereinstimmung, ein gemeinsamer Nenner, besteht aber darin, dass die emotionale Bewertung und das individuelle Erleben zum Seelischen dazugehören.

Dabei wirken Körper und Seele sicher eng zusammen und beeinflussen sich gegenseitig; möglicherweise sind sie gar nicht voneinander zu trennen, sondern sozusagen zwei Seiten einer Medaille. Eine wichtige Schnittstelle liegt im sog. limbischen System. Dort werden gefühlbetonte Impulse wahrgenommen, interpretiert und »automatisch« in Aktionen umgesetzt – meistens bevor das Bewusstsein »erfährt«, was geschehen ist.

Limbisches System

Schaut man sich die Entwicklung des »Seelischen« an, so fällt auf, dass die wichtigsten Gefühle oder Emotionen beim Säugling und Kleinkind noch sehr körperlich ausgedrückt werden. Wenn ein Kleinkind zufrieden ist, strahlt es, wenn es Hunger oder Durst hat, unbequem liegt oder gewickelt werden muss, schreit es. Im Verlauf des normalen, gesunden Wachstumsprozesses entwickelt sich ein immer breiterer Fächer emotionaler Qualitäten. Lust differenziert sich in Zufriedenheit, Freude, Vertrauen, Glaube, Liebe, Hoffnung, Zärtlichkeit; Unlust in Angst, Furcht, Scham, Schuld, Ekel, Trauer, Hilflosigkeit und Hoffnungslosigkeit.

Da Menschen – vielleicht von Einsiedlern abgesehen – immer zu anderen Menschen in Kontakt stehen, vollzieht sich die emotionale Entwicklung des Menschen stets in enger Wechselwirkung mit seiner Umgebung. Dabei braucht – wie es bei seelischen Krankheiten deutlich wird – auch die Seele ihr eigenes Gleichgewicht. Inzwischen können Neurophysiologen einige wichtige Bedingungen für eine erfolgreiche Erhaltung des seelischen Gleichgewichtes bei immer neuen Belastungen und Herausforderungen benennen.

Schon in frühesten Jahren erkunden demnach diejenigen Kinder, die eine sichere Bindung zu mindestens einer erwachsenen Bezugs-

Sichere Bindungen helfen

person aufgebaut haben, deutlich mehr, mutiger und neugieriger ihre Umwelt als diejenigen Kinder, die eine unsichere Bindung aufweisen. Das bedeutet, dass eine sichere Bindung die entscheidende Basis dafür ist, sich auf die Belastungen und Risiken neuer Situationen einzulassen und sich mit diesen aktiv auseinanderzusetzen. Dies ermöglicht, auf eigenen Füßen zu stehen, eigene Erfahrungen zu machen und sich in der Welt zurechtzufinden.

### Innere Überzeugungen

Wer dabei Grunderfahrungen von emotionaler Geborgenheit und eigener Kompetenz machen konnte, ist später in der Lage, auch eine eigene Vorstellung von sich selbst zu entwickeln. Diese Vorstellungen sind innere Bilder, die einem Menschen Halt und Sicherheit bieten, und an denen er sich im Verlauf seiner weiteren Entwicklung orientiert.

Sie sind im Lauf der eigenen Entwicklung gewachsene und immer neu bestätigt gefundene innere Überzeugungen, aus denen ein Mensch in schwierigen Situationen immer wieder neuen Mut für einen neuen Anfang findet.

### Umgang mit der Angst

Immer wieder gefährdend, aber auch im Sinne einer Herausforderung weiterbringend, ist die Angst bei realer oder fantasiierter Gefahr das Lebensthema des Menschen schlechthin. Sie wird sehr früh zum existenziellen Thema, wenn sich Vertrauen in die Bindung zu mindestens einem Elternteil nicht einstellen kann oder wenn Bedingungen an »das so da sein dürfen« gestellt werden. Dies kann ganz dramatisch dann der Fall sein, wenn das neu in die Welt Gekommene nicht zu seinem Umfeld passt, sei es,

- weil es nicht erwünscht wurde;
- weil es von seinem eigenen Charakter »unbändig« ist oder
- weil die Eltern ein liebevolles, fürsorgliches Verhalten vielleicht gar nicht erbringen können, weil sie es möglicherweise selbst nicht gelernt haben.

Je nach Entwicklungsabschnitt der Schädigung verfestigt sich ein bestimmter mit der Angst, der auch wirksam wird beim Umgang mit der Angst beim Schwindel und seinen Auswirkungen.

- **Menière-Anfälle können das selbstverständlich Geglaupte gründlich durcheinanderwirbeln und rufen wohl deshalb nicht selten Todes- und Vernichtungängste hervor.**



<http://www.springer.com/978-3-662-52975-1>

Morbus Menière

Schwindel - Hörverlust - Tinnitus: eine psychosomatisch  
orientierte Darstellung

Schaaf, H.

2017, XVI, 278 S. 32 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-52975-1