

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

Haarzellen im Innenohr

Themen:

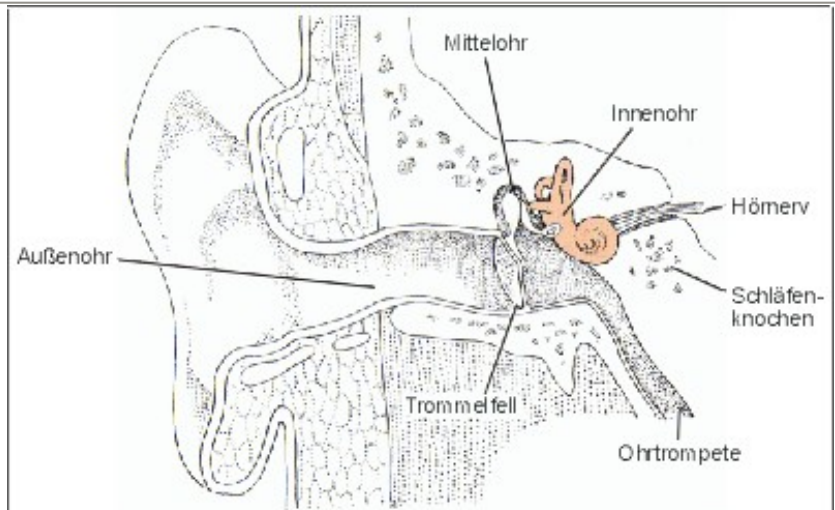
- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Struktur des Innenohrs

Die Lage des Innenohrs

Vom Außenohr werden Schallsignale über das Trommelfell auf die Knochen des Mittelohrs (Hammer, Amboß und Steigbügel) übertragen. Der Steigbügel leitet den Schall durch das ovale Fenster ins Innenohr.

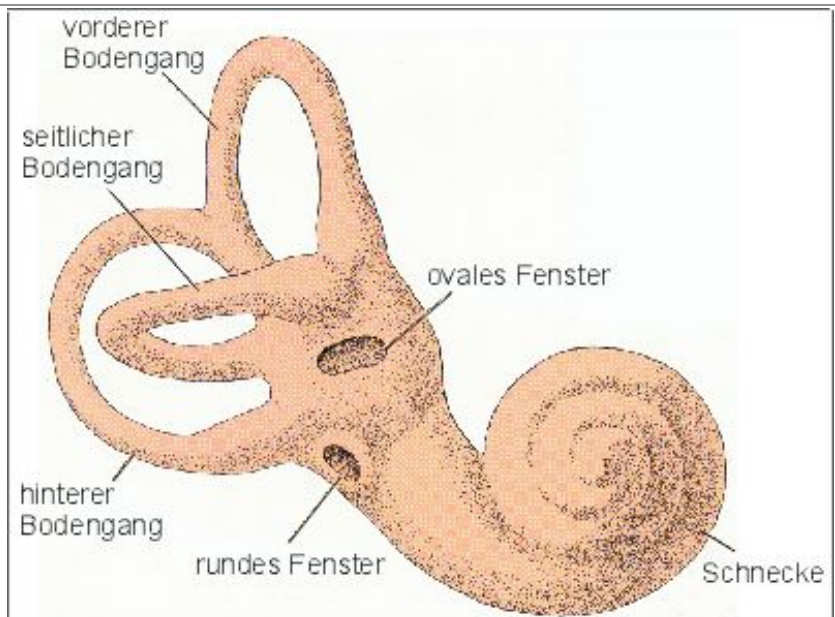
Aus: Zenner, H.P. und Zrenner, E. (1994)



Aufbau des Innenohrs

Zum Innenohr gehören die drei Bogengänge des Gleichgewichtsorgans und die Schnecke (Cochlea), die das Cortische Organ, die schallempfindliche Struktur des Innenohrs enthält.

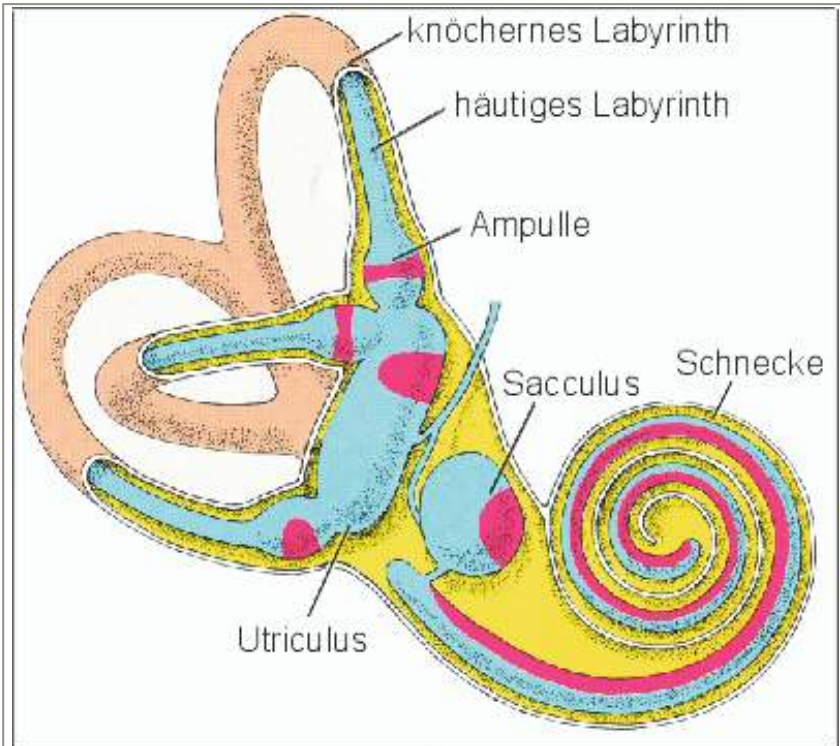
Aus: Zenner, H.P. und Zrenner, E. (1994)



Die Cochlea

Das Cortische Organ mit den Haarzellen befindet sich in den Sinnesfeldern (rote Flächen) des mit Endolymphe gefüllten Epithelschlauches innerhalb der Schnecke.

Aus: Zenner, H.P. und Zrenner, E. (1994)



Biologie III

Grundvorlesung Tier- und Humanphysiologie WS 2002/2003

Mo - Do, **10:00 - 10:45 Uhr**,
großer Hörsaal des Zoologischen Instituts, Im Neuenheimer Feld 230

Startseite

Termin	Titel / html-Skript	DOWNLOAD html-Skript	DOWNLOAD pdf-Datei	DOWNLOAD Powerpoint
--------	---------------------	-------------------------	-----------------------	------------------------

Vorsicht !!!
Bitte drucken Sie die Powerpoint-Dateien NICHT im URZ aus !!!
Verwenden Sie für Ausdrucke bitte die pdf-Dateien.

20.01.03	Elektro 1: Das Ruhepotential	elek01s.zip	elektro1.pdf	elektro1.ppt
21.01.03	Elektro 2: Das Aktionspotential	elek02s.zip	elektro2.pdf	elektro2.ppt
22.01.03	Synapse: Elektrokommunikation	synapses.zip	synapse.pdf	synapse.ppt
23.01.03	Muskel 1 Elektromechanische Kopplung	muskel01s.zip	muskel1.pdf	muskel1.ppt
27.01.03	Muskel 2: Muskelkontraktion	muskel02s.zip	muskel2.pdf	muskel2.ppt
28.01.03	Sinne 1: Haarzellen	sinne1.zip	sinne1.pdf	sinne1.ppt
29.01.03	Sinne 2: Gleichgewicht und Gehör	sinne2.zip	sinne2.pdf	sinne2.ppt
30.01.03	Vorlesung fällt aus !			
03.02.03	Sinne 3: Photoelektrische Transduktion	sinne3.zip	sinne3.pdf	sinne3.ppt
04.02.03	Sinne 4: Linsenaugen und Komplexaugen	sinne4.zip	sinne4.pdf	sinne4.ppt
05.02.03	Sinne 5: Chemoelektrische Transduktion	sinne5.zip	sinne5.pdf	sinne5.ppt
06.02.03	Sinne 6:	.zip	.zip	
10.02.03	Sinne 7:	.zip	.zip	
11.02.03	Sinne 8:	.zip	.zip	
12.02.03	ZNS:	.zip	.zip	

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Januar 2003

s.fring@zoo.uni-heidelberg.de

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

Haarzellen im Innenohr

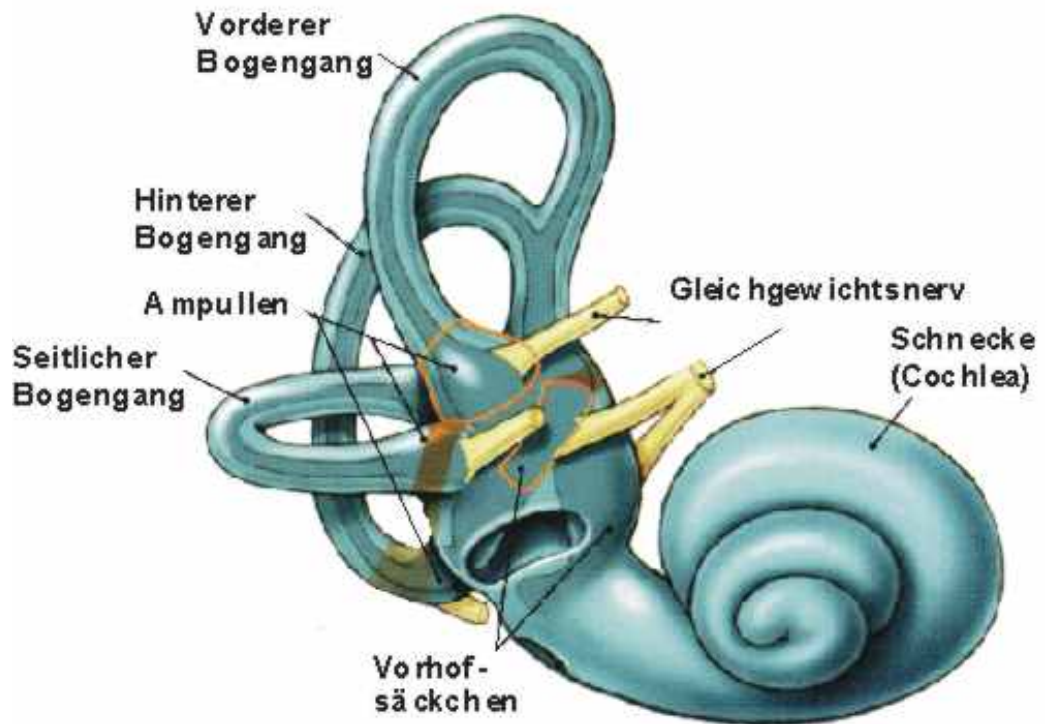
Themen:

- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Das Vestibularorgan

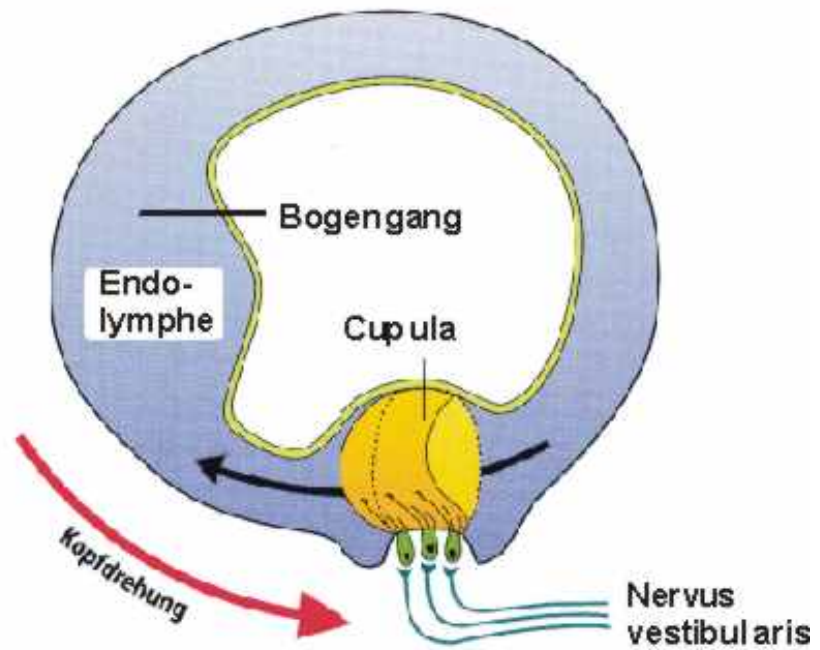
Das Vestibularorgan besteht aus drei Bogengängen und zwei Makulaorganen (Utriculus und Sacculus). Alle fünf Strukturen enthalten Haarzellen und messen Beschleunigung.

Die Bogengänge registrieren Drehbeschleunigung - v.a. die Drehung des Kopfes. Dabei ist jeder Gang für jeweils eine Raumachse zuständig. Die Bogengänge sind mit Endolymphe gefüllt. In den Ampullen werden die Bogengänge durch Cupulaorgane verschlossen, in denen die sensorischen Stereozilien der Haarzellen eingebettet sind (**unten rechts**).



Bei einer Dreh**beschleunigung** bleibt die Endolymphe infolge ihrer Massenträgheit hinter der Bewegung des knöchernen Bogengangs zurück. Dadurch wird die Cupula verschoben, und die Stereozilien der Haarzellen werden ausgelenkt.

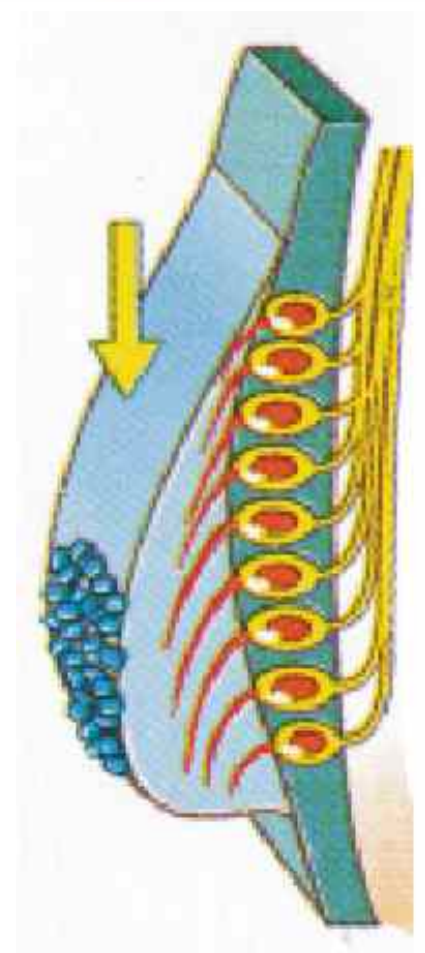
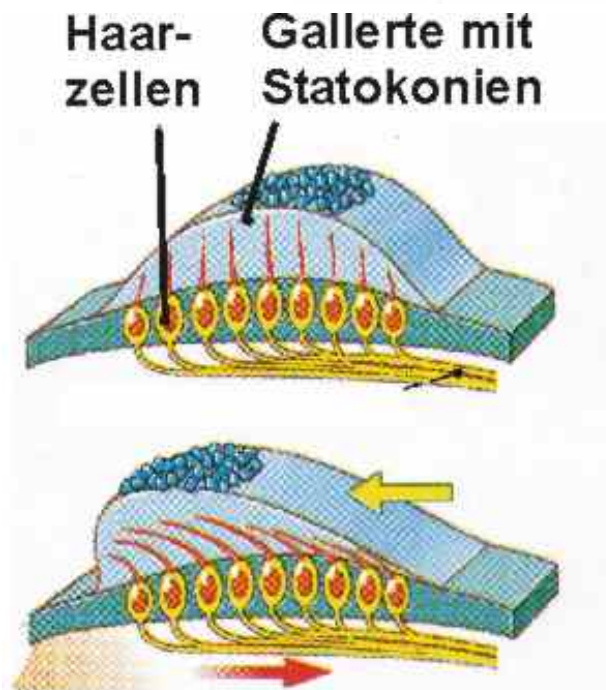
Die neuronalen Ausgänge der drei Bogengänge werden für die Körperhaltung und den Gleichgewichtssinn verwendet.



Die Makulaorgane messen Translationsbeschleunigungen. Durch Ablagerung von Calcitpartikeln (Statokonien) ist die Dichte der Otholitenmembran höher als die der umgebenden Endolymphe.

Bei Beschleunigung des Körpers bleiben die Statokonien des Utriculus hinter den Haarzellen zurück und lenken deren Stereozilien aus.

Die Gravitationsbeschleunigung wirkt auf die senkrecht stehende Otholitenmembran des Sacculus. Die Haarzellen dieses Makulaorgans geben Auskunft über die Lage des Körpers relativ zur Erdachse.



Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

Haarzellen im Innenohr

Themen:

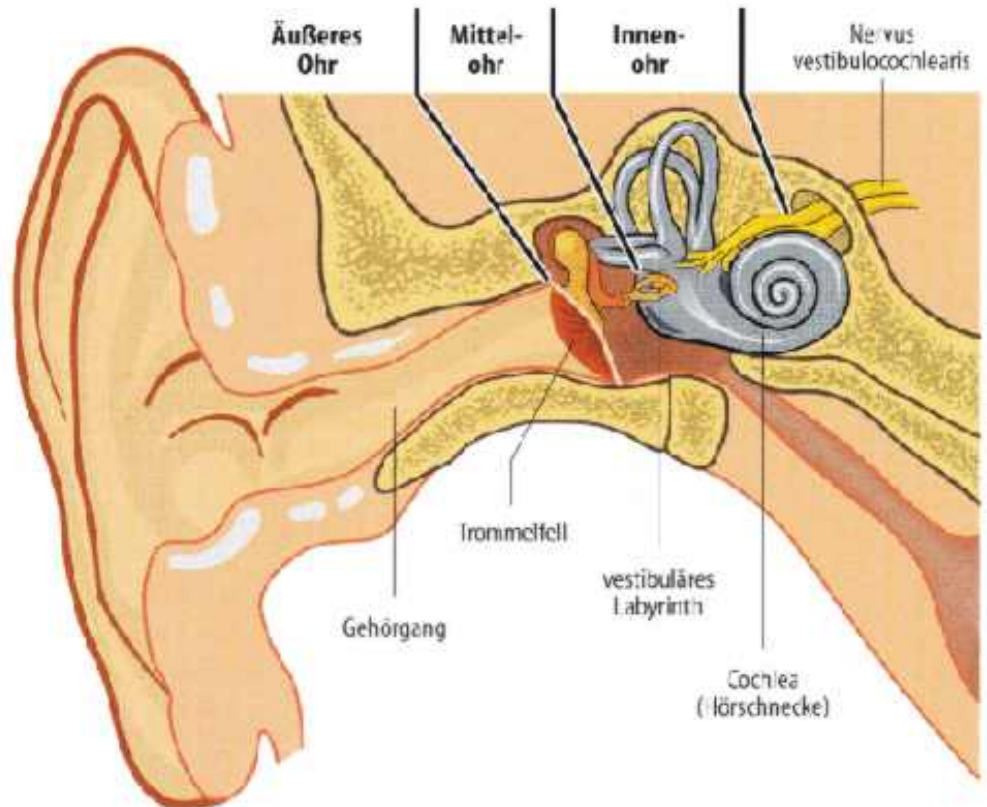
- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Vom Ohr zum Innenohr

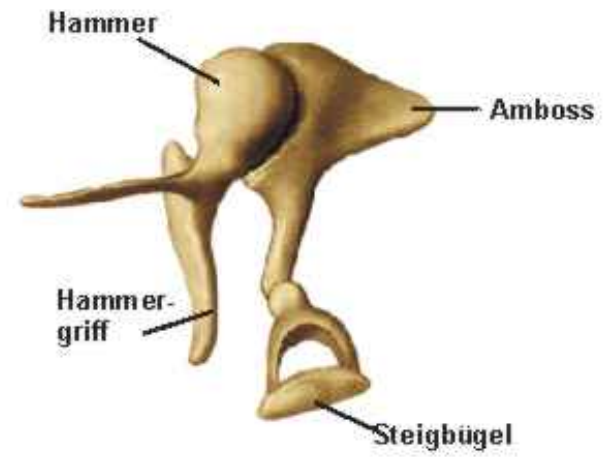
Durch den äußeren Gehörgang gelangt der Schall zum Trommelfell, das durch den Schalldruck in Schwingungen versetzt wird. Die Gehörknöchelchen des Mittelohrs leiten das Schallsignal bis zum Innenohr. Ihre besondere Struktur vermindert den Verlust an Schallenergie durch Reflexion.

In der Hörschnecke (Cochlea) wird die Frequenz und Intensität des Schallsignals analysiert. Durch den Hörnerven wird diese Information schließlich an die auditorischen Zentren des Gehirns weitergegeben.

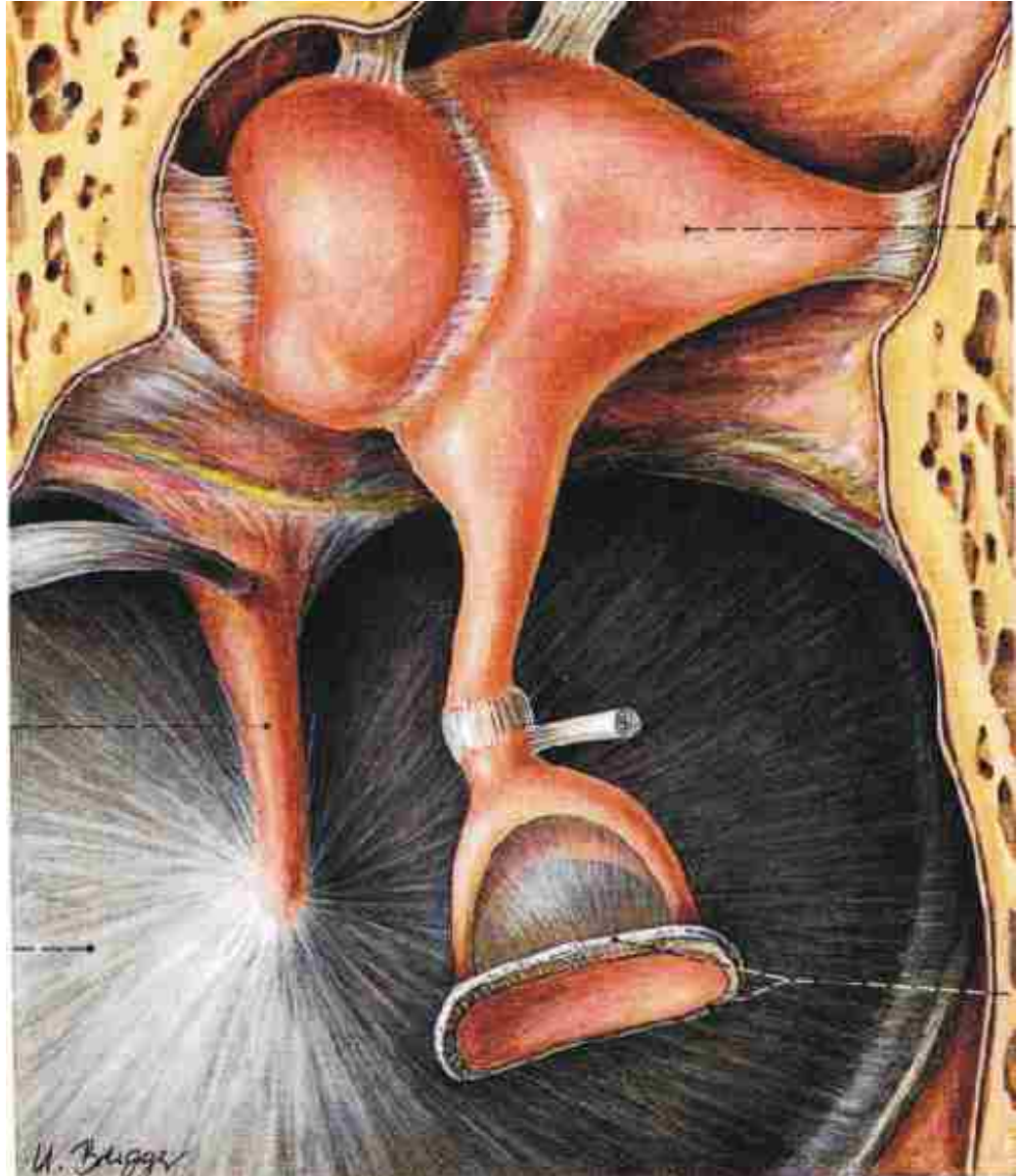
Aus: Schmidt & Thews (1997)
Physiologie des Menschen
Springer Verlag, Berlin



Die Form und räumliche Anordnung von Hammer, Amboss und Steigbügel gewährleistet eine sehr effiziente Signalweiterleitung durch die Gehörknöchelchen. Besonders wichtig ist der Flächenunterschied von Trommelfell (ca 50 mm²) und Steigbügelplatte (ca 4 mm²). Da $\text{Druck} = \text{Kraft} / \text{Fläche}$ ist, führt diese Flächenreduktion zu einer ca 20-fachen Schalldruckverstärkung.



Eindrucksvolle Darstellung des Flächenunterschieds zwischen Trommelfell (im Hintergrund) und Steigbügelplatte (im Vordergrund).



Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

Sinne 2

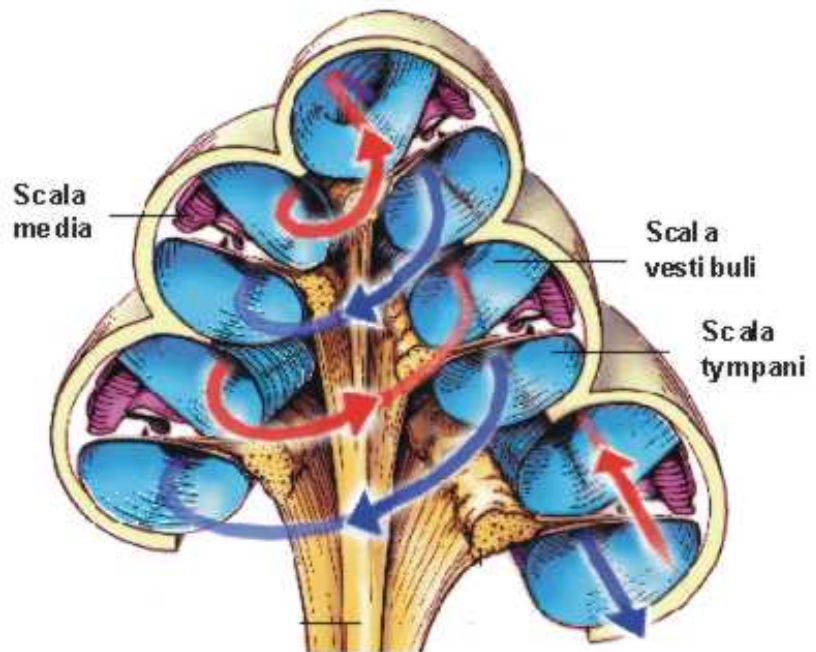
Haarzellen im Innenohr

Themen:

- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Bau der Cochlea

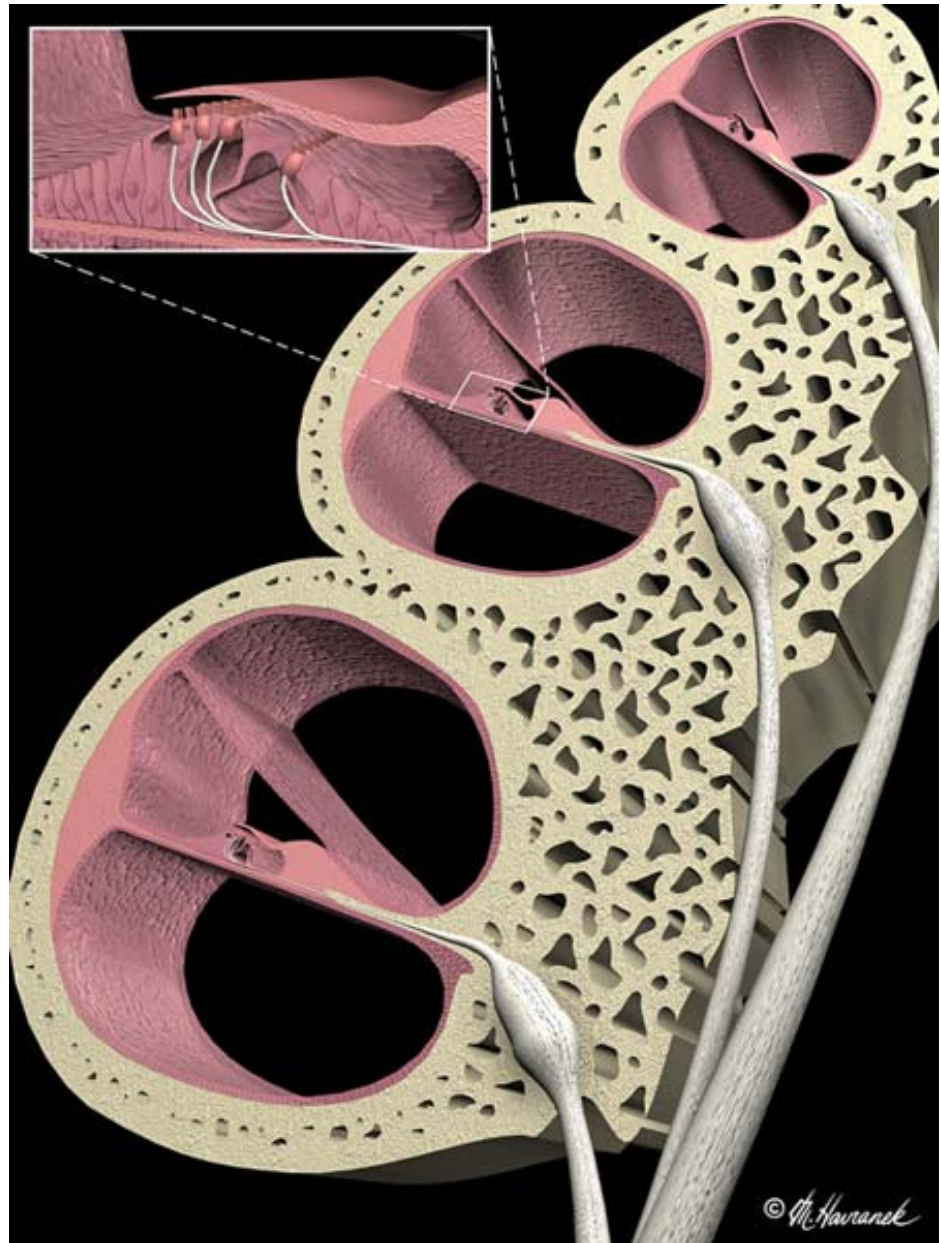
Ein Schnitt durch die Cochlea zeigt, dass jeder "Schneckengang" in drei Röhren unterteilt ist. Die **Scala vestibuli** ist mit dem ovalen Fenster verbunden. Sie nimmt den Schalldruck auf und führt ihn bis zur Spitze der Cochlea, dem Helicotrema. Dort führt eine scharfe Kehre in die zurücklaufende Röhre, die **Scala tympani**, die am runden Fenster des Innenohrs endet. Zwischen den beiden Röhren liegt die **Scala media**, die den sensorischen Apparat, das **Corti-Organ** (s.u.) enthält.



Darstellung der Dreiteilung des Schneckengangs der Cochlea. Die Scala media wird nach unten durch die **Basilarmembran**, nach oben durch die **Reissner-Membran** begrenzt.

In dem flache Winkel zwischen Basilar- und Reissner-Membranen liegt das Corti-Organ, dass sich durch die gesamte Scala media vom ovalen Fenster bis zum Helicotrema zieht.

Im Bildausschnitt oben sieht man die Haarzellen im Corti-Organ: drei Reihen äußere Haarzellen und eine Reihe innere Haarzellen. Über den sensorischen Stereozilien der Haarzellen ist die Tektorialmembran eingezeichnet.



Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

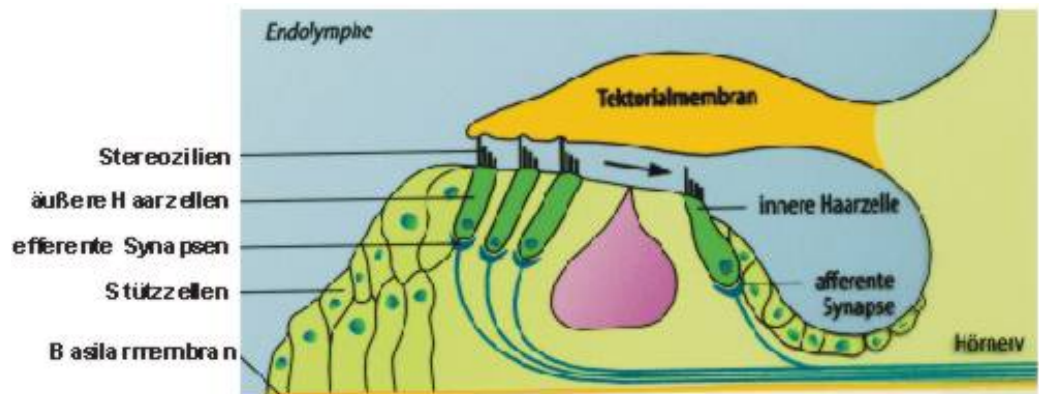
Haarzellen im Innenohr

Themen:

- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Das Corti-Organ

Schematische Darstellung der Funktion des Corti-Organ. Die Tektorialmembran berührt die Stereozilien der äußeren, nicht aber der inneren Haarzellen. Bei Eintreffen eines Schallsignals werden Basilar- und Tektorialmembran gegeneinander verschoben. Dies stimuliert die äußeren Haarzellen zu Längenänderungen, die die lokalen Bewegungen im Cortiorgan extrem (ca 1000-fach) verstärken. Die äußeren Haarzellen wirken so als [Signalverstärker](#). Die so verstärkte Bewegung führt zur Stimulierung der inneren Haarzellen, die das eigentliche sensorische Signal produzieren und zum Gehirn schicken.



Aus: Schmidt & Thews (1997)
 Physiologie des Menschen
 Springer Verlag, Berlin

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Januar 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

Haarzellen im Innenohr

Themen:

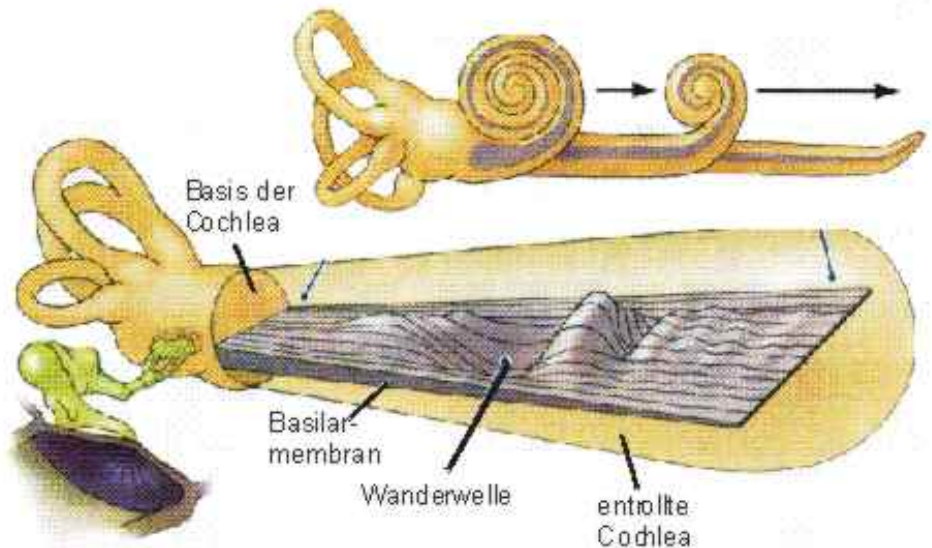
- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Tonotopie: Die Wanderwelle

Wie unterscheidet das Innenohr zwischen einzelnen Frequenzen (Tönhöhen)?

Eine Schallwelle, die durch das ovale Fenster in das Innenohr gelangt, versetzt die cochleären Membranen (Basilar-, Reissner- und Tektorialmembran) in Schwingungen. Die Welle läuft dabei von der Schneckenbasis zur Schneckenspitze und zeigt an einer ganz bestimmten Stelle eine maximale Amplitude. Die Lage dieser Stelle auf der Membran hängt von der Frequenz ab (Tonotopie). Die Ursache dafür ist vor allem die Beschaffenheit der Basilarmembran: Nahe der Schneckenbasis ist sie relativ dick und steif und zeigt Resonanz bei hohen Frequenzen. Mit zunehmender Entfernung vom ovalen Fenster wird die Membran dünner und schlaffer und reagiert auf immer tiefere Töne. Die Basilarmembran ist also "gestimmt" wie ein Saiteninstrument, bei dem der gesamte Frequenzbereich auf *einer* Saite vertreten ist.

Da Töne einer bestimmten Frequenz nur einen eng begrenzten Abschnitt der Basilarmembran zum Schwingen bringt, wird die Frequenzinformation in eine Ortsinformation umgewandelt. Die Position einer stimulierten Haarzelle in der Cochlea enthält daher die Information über die Schallfrequenz.



Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

Haarzellen im Innenohr

Themen:

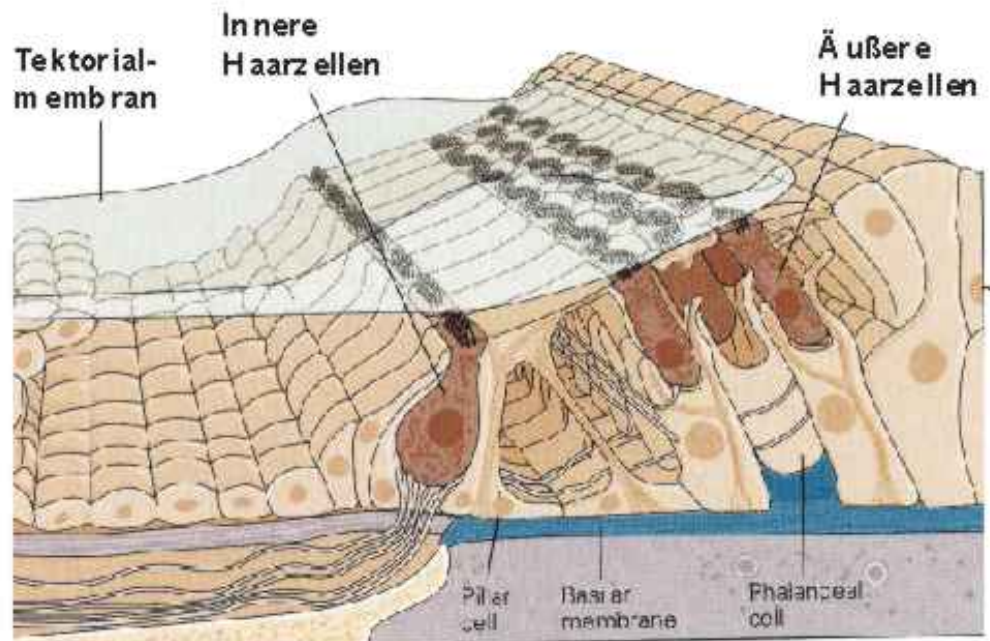
- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Die Verstärker der Cochlea

Die drei Reihen äußerer Haarzellen haben keine sensorische Funktion sondern dienen dazu, das Schallsignal so weit zu verstärken, daß die inneren Haarzellen stimuliert werden.

Bei Eintreffen der Wanderwelle werden die äußeren Haarzellen, die direkten Kontakt mit der Tektorialmembran haben, depolarisiert. Die Zellen reagieren darauf mit Kontraktion (s.u.). Da Schallsignale im allgemeinen oszillieren (Schallwellen), wird auch das Membranpotential der äußeren Haarzellen (und damit ihre Länge) periodisch verändert: die Zellen "vibrieren" mit der Frequenz des eintreffenden Tones und verstärken damit die Auslenkungen der Tektorialmembran. Man kann vielleicht sagen: Die äußeren Haarzellen schütteln die Tektorialmembran im Takt des Schallsignals. Dadurch schaukelt sich die Signalintensität um ca das 1000-fache der ursprünglichen Signalintensität auf - und erst durch diese Verstärkung werden leise bis mittlere Töne hörbar.

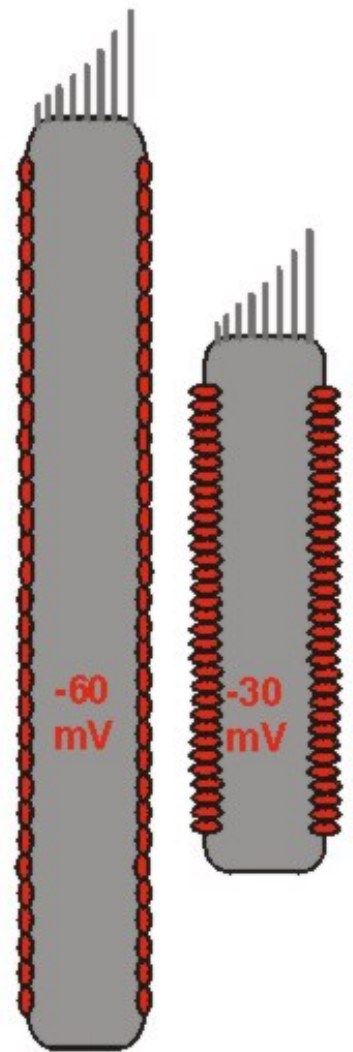
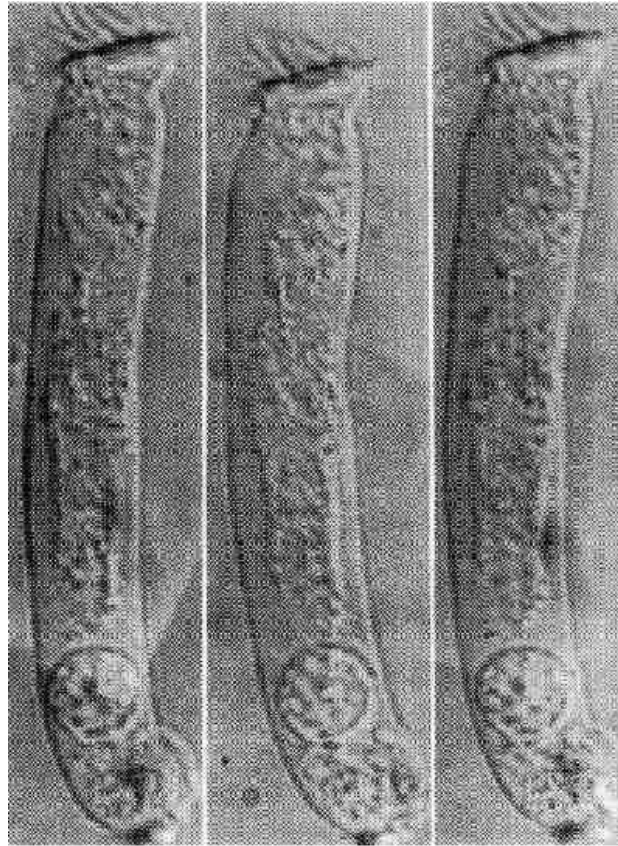
Die Fähigkeit der äußeren Haarzellen, ihre Länge unter der Kontrolle des Membranpotentials zu verändern, beruht auf einem besonderen Protein, dem **Prestin**. Man nimmt an, dass Prestin spannungsabhängige Konformationsänderungen ausführt. Da Prestin in großen Mengen in der Plasmamembran vorliegt, kann es die Zelle auseinanderdrücken oder zusammenziehen, je nach Konformation. Diese spannungsgesteuerte Längenänderung ist



sehr schnell: sie kann sich bis zu 20.000-mal pro Sekunde vollziehen (Töne mit Frequenzen über 20 kHz können wir nicht hören).

Zur Internetseite:

[Die tanzende äußere Haarzelle](#)



Grundvorlesung Tierphysiologie WS 2002/2003

START

Sinne 2

Haarzellen im Innenohr

Themen:

- [Struktur des Innenohrs](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Vom Ohr zum Innenohr](#)
- [Bau der Cochlea](#)
- [Das Corti-Organ](#)
- [Tonotopie: Die Wanderwelle](#)
- [Die Verstärker der Cochlea](#)
- [Zusammenfassung](#)

Zusammenfassung

1. Schall wird im ovalen Fenster auf die Cochlea übertragen
2. Eine Wanderwelle bildet sich auf der Basilarmembran. Die Lage des Maximums ist frequenzabhängig
3. Im Wellenmaximum werden äußere Haarzellen erregt. Sie pumpen durch Längenänderung Energie in die Wanderwelle, deren Maximum dadurch ca 1000-fach verstärkt wird.
4. Die verstärkte Wanderwelle erregt lokal innere Haarzellen. Die produzieren das sensorische Signal mit Information über Tonfrequenz und Tonintensität.

