

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsezeptoren von C. elegans](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Zusammenfassung 1

- Zellen haben mechanosensitive Ionenkanäle um ihr Volumen zu regulieren.
- Diese Kanäle werden durch Dehnung der Plasmamembran aktiviert. Zu ihnen gehört MscL aus E. coli.
- Berührungssensoren haben komplizierter gebaute mechanosensitive Kanäle. Bei C. elegans sind die Kanäle mit Zytoskelett und Cuticula verbunden.
- Höhere Tieren haben zusätzlich mechanosensitive Zellen mit spezialisierten Organellen, den Stereozilien.
- Tip links verbinden Transduktionkanäle benachbarter Stereozilien und kontrollieren deren Öffnung.
- Haarzellen reagieren sehr schnell und mit extremer Empfindlichkeit.

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Mai 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

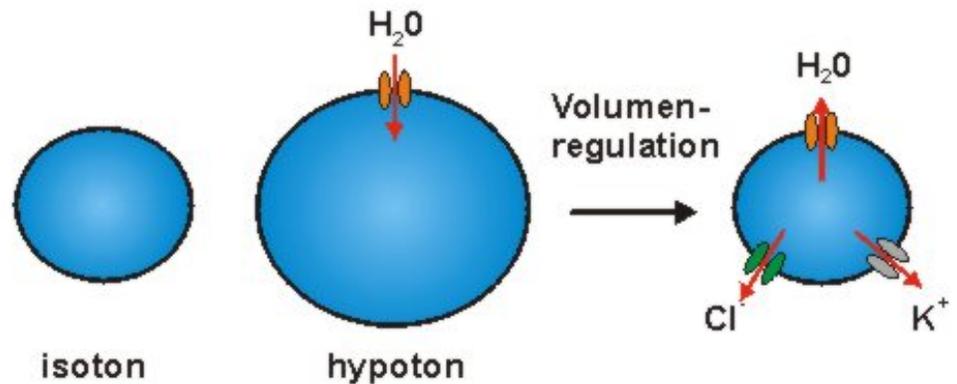
Themen:

- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsrezeptoren von C. elegans](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung](#)

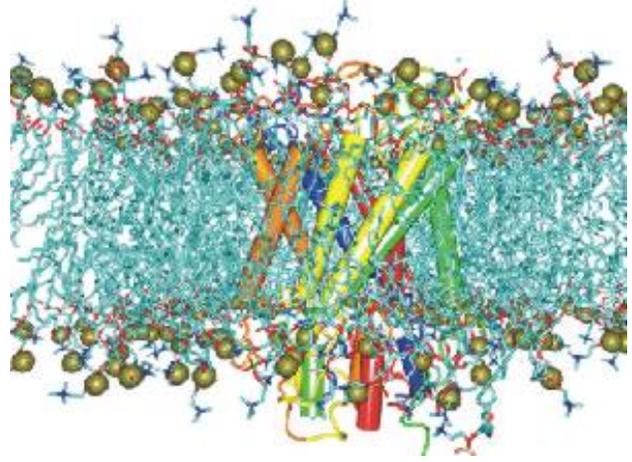
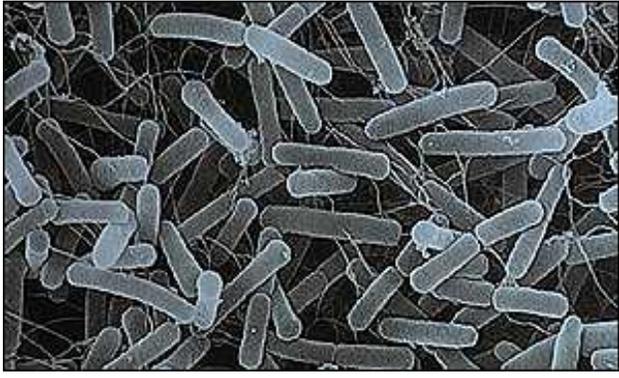
Regulation des Zellvolumens

Alle Zellen müssen in der Lage sein, ihr Volumen zu regulieren. Wenn die Salzkonzentration (genauer: die Osmolarität) im Aussenmedium geringer ist als in der Zellen, fließt Wasser in die Zellen und vergrößert deren Volumen. Die Zelle registriert dieses Anschwellen durch **mechanosensitive Ionenkanäle**, die durch die erhöhte Membrandehnung aktiviert werden (engl.: stretch-activated ion channels).

Bei Öffnung dieser Kanäle reagiert die Zelle mit einem Programm, das die intrazelluläre Salzkonzentration absinken läßt. So können zB Kaliumkanäle und Chloridkanäle aktiviert werden; KCl verläßt die Zelle, die Salzkonzentration in der Zelle sinkt, und der Wassereinstrom kommt zum Erliegen.



Bei dem Bakterium *E. coli* - das natürlich auch sein Volumen regulieren muss - ist es gelungen, einen mechanosensitiven Ionenkanal zu identifizieren. Das Protein **MscL (large mechanosensitive channel)** besteht aus fünf gleichen Untereinheiten (Homopentamer, unten rechts). Es befindet sich in der Zellmembran von *E. coli*. Bei Dehnung der Membran wird der Kanal geöffnet und entläßt Salze, Zucker, Aminosäuren usw in den periplasmatischen Raum - eine Notreaktion zur Absenkung der intrazellulären Osmolarität.



Quelle: <http://www.psc.edu/science/schulten2001.html>

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Mai 2003

s.fring@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

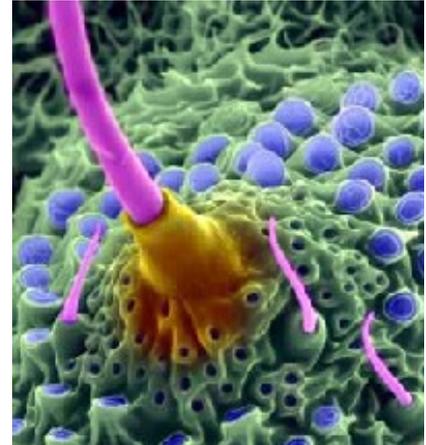
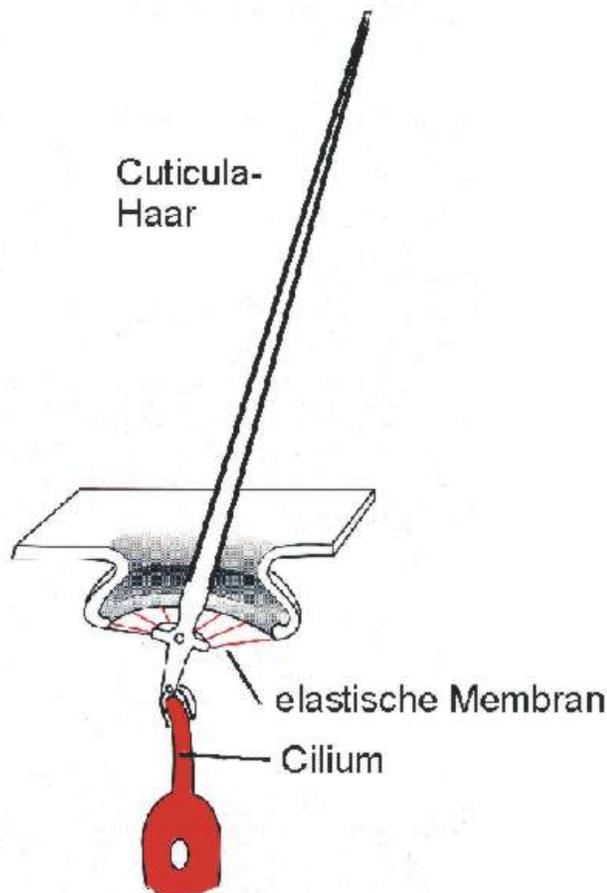
- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)
- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

Haare und Borsten

Mechanosensitive Zellen werden von Tieren eingesetzt, um Berührung zu detektieren, um Gelenkstellung oder Verformung der Körperoberfläche zu messen, um Erschütterungen und Vibrationen oder Schall wahrzunehmen. Um die jeweiligen Aufgaben ausführen zu können, sind die Zellen in ganz unterschiedliche, spezialisierte Organe eingebaut.

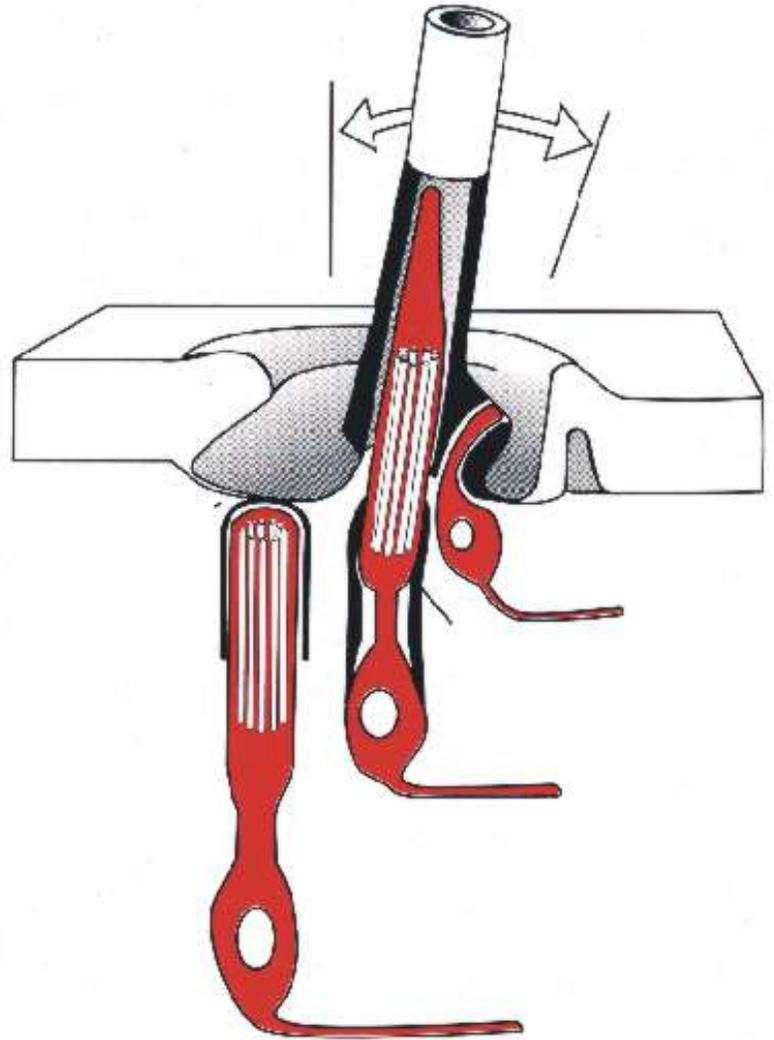
Bei Spinnen findet man sensorische Haare (Trichobothrien), die in einer flexiblen Membran in die Cuticula eingelassen sind und mit mechanosensitiven Neuronen verbunden sind. Bei Auslenkung des Haars durch Berührung oder einen Windhauch wirkt über einen langen Hebel ein Kraft auf das Neuron und erzeugt ein sensorisches Signal.

Aus: Müller, W.A. (1998) Tier- und Humanphysiologie, Springer Verlag, Berlin



Sensorische Borstenhaare können komplexe Informationen liefern: Unterschiedlich angebrachte Mechanosensoren werden durch Zug oder Auslenkung aktiviert, während andere auf die Verformung der Cutikula reagieren.

Aus: Müller, W.A. (1998) Tier- und Humanphysiologie, Springer Verlag, Berlin



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

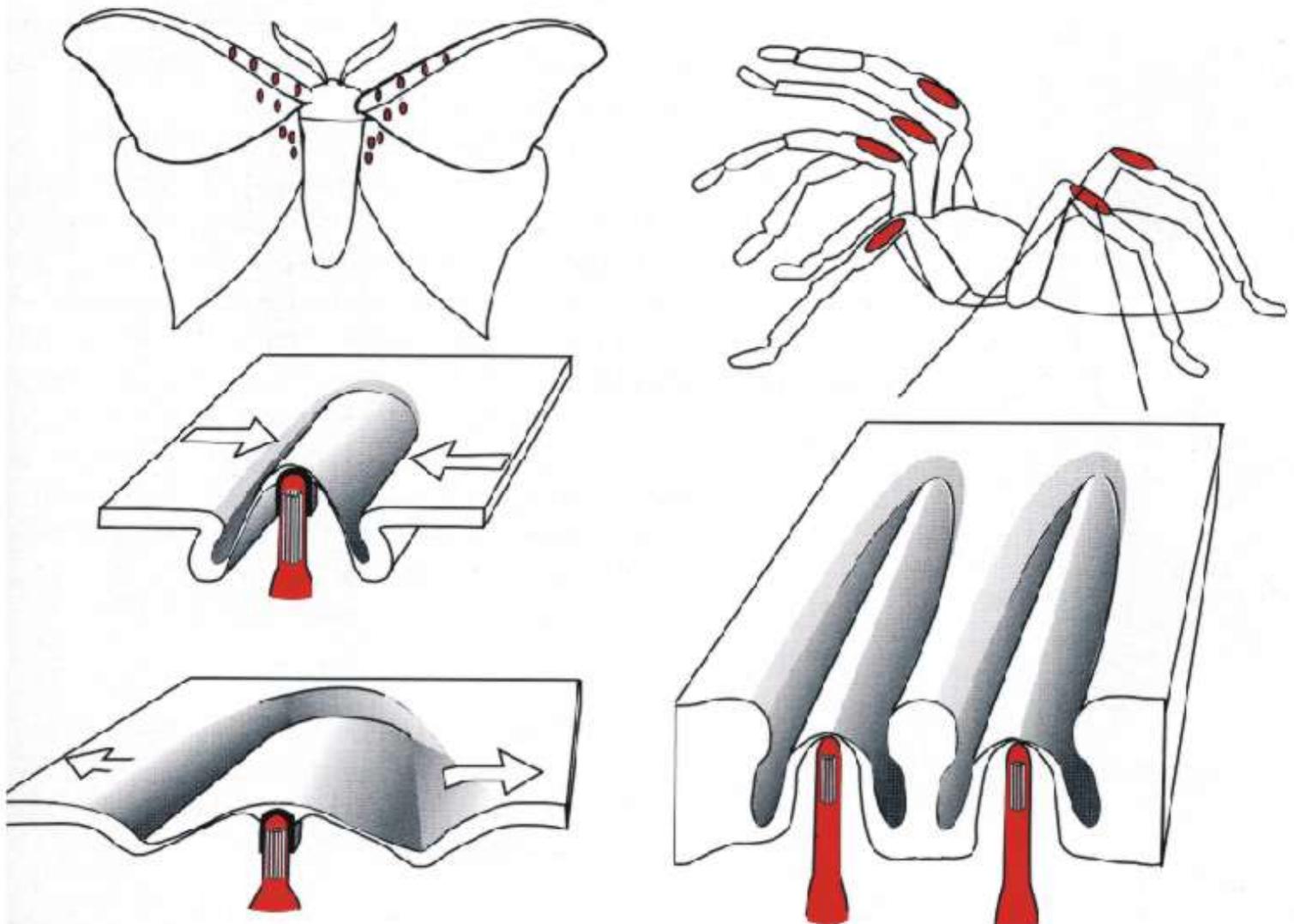
II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)

- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

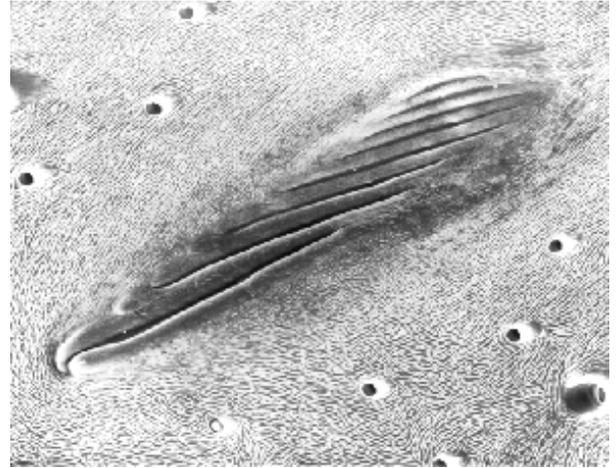
Sensillen



Die gesamte Cutikula der Insekten kann im Prinzip zur Mechanorezeption verwendet werden, denn jede direkte Einwirkung verformt die Cuticula, und ebenso Schall, Vibrationen, etc. An bestimmten Stellen des Körpers ist die Cuticula sehr dünn und zudem gefaltet.

Mechanosensoren messen die Verformung der Cutikula in diesen Kuppelsensillen (campaniforme Sensillen, links) und Spaltsensillen (lyriforme Sensillen, rechts) und registrieren damit selbst winzige mechanische Reize.

Aus: Müller, W.A. (1998) Tier- und Humanphysiologie, Springer Verlag, Berlin



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

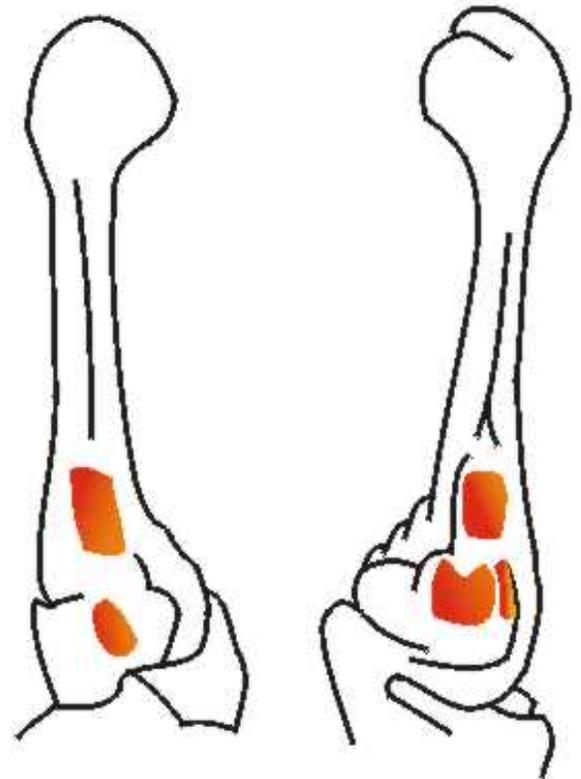
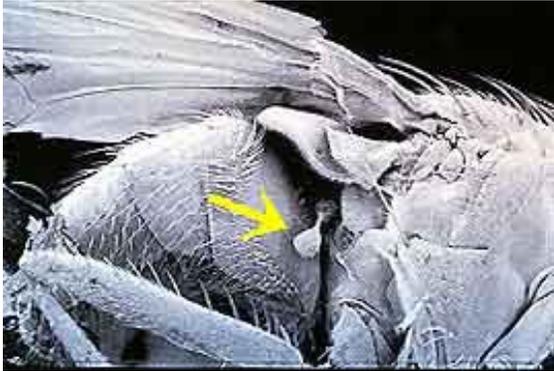
I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)
- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

Halteren



Bei den Zweiflüglern (*Diptera*, Fliegen, Mücken) ist das hintere Flügelpaar zu Schwingkölbchen (Halteren) umgebildet. Halteren funktionieren im Prinzip wie der Kreiselkompass in einem Flugzeug: Beide erhalten durch schnelle Rotation eine weitgehend stabile Raumlage, die als Referenz für die Fluglage dienen kann. Halteren beschreiben 8-förmige Rotationen im Takt des Flügelschlags. Wenn sich die Position des Thorax relativ zu den Halteren verändert, messen Felder von Kuppelsensillen an der Basis der Halteren (rechts, rote Felder) diese Abweichung. Das Tier kann diese Information nutzen, um seine Fluglage zu stabilisieren.

Quelle: http://www.ento.csiro.au/Ecowatch/Primary/diptera/pages/fly_haltere.htm

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)
- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

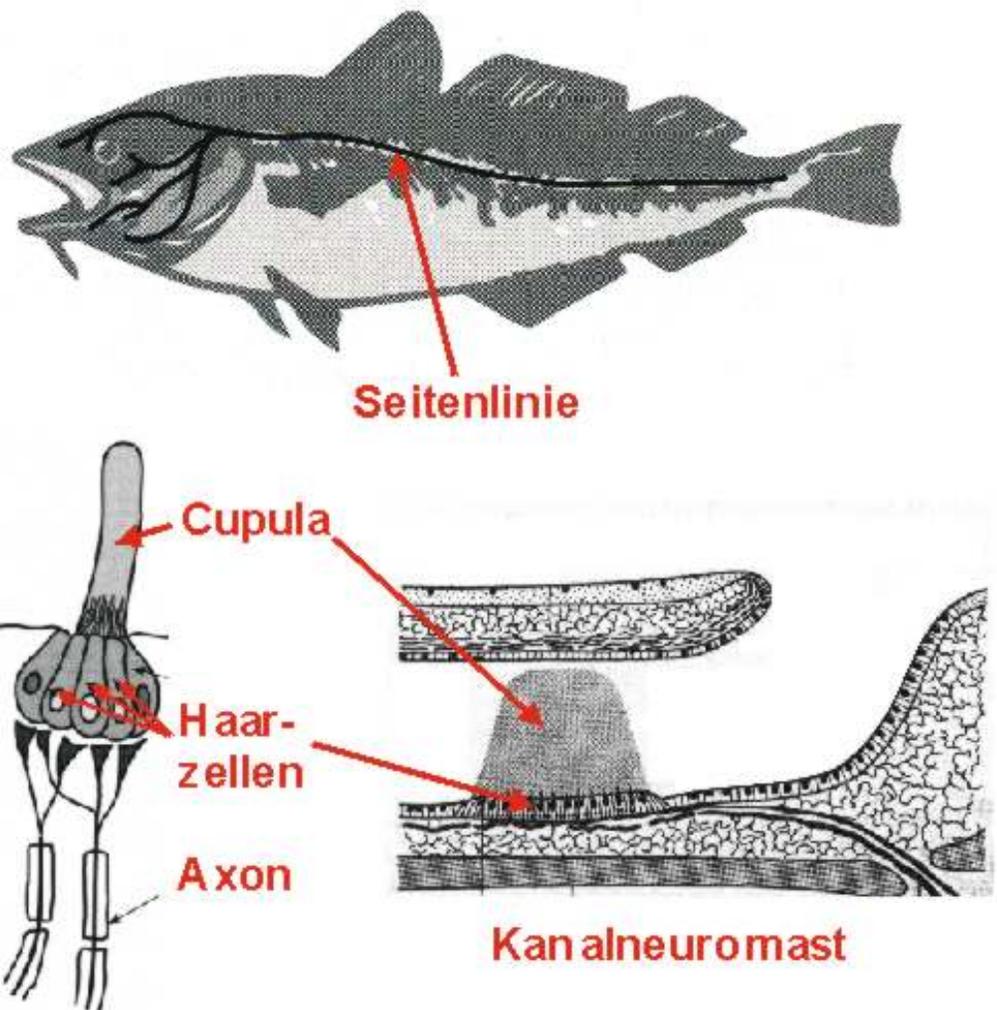
Seitenlinienorgane

Die Seitenlinienorgane dienen den Fischen zur Wahrnehmung von Wasserbewegungen und zur Detektion von Druckunterschieden, wie sie durch die Bewegungen anderer Fische in der Umgebung erzeugt werden. Vorbeischwimmende Fische erzeugen Wasserwirbel, die über das Seitenlinieorgan registriert werden und damit den Fisch auch in völliger Dunkelheit über seine unmittelbare Umgebung informieren.

Bei den Haarzellen des Seitenlinienorgans sind die Stereozilien in einer Kappe aus Gallerte, der Cupula, zusammengefasst. Eine Auslenkung der Cupula aktiviert daher zahlreiche Haarzellen und erzeugt ein starkes sensorisches Signal.

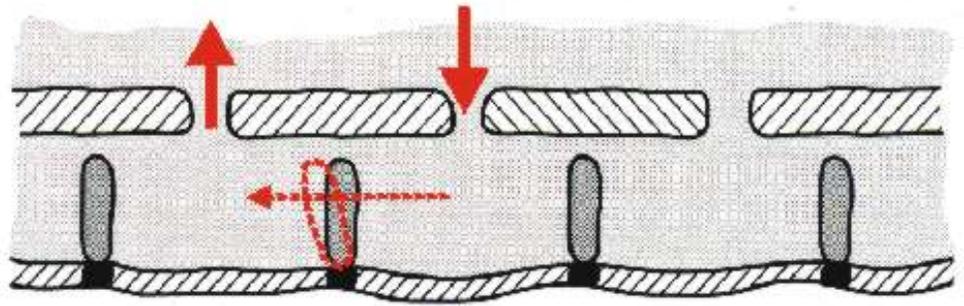
Diese Sensoren im Seitenlinienorgan (Haarzellen + Cupula) nennt man Neuromasten. Bei Fischen, die sich in fließenden Gewässern oder in der Brandung aufhalten, liegen die Neuromasten vorwiegend in Kanälen unterhalb der Schuppen (Kanalneuromasten). Diese Kanäle haben zahlreiche Verbindungen zur Oberfläche, durch die Druckdifferenzen an der Körperoberfläche wahrgenommen werden.

Bei Fischen, die vorwiegend in stehenden



Gewässern leben, können Neuromasten auch auf der Schuppenoberfläche sein (Epidermalneuromasten). In beiden Fällen reagieren die Haarzellen der Neuromasten mit ausserordentlich großer Empfindlichkeit auf kleinste mechanische Reize.

Aus: Smith, C.U.M. (2000) Biology of sensory systems. Wiley, Chichester



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

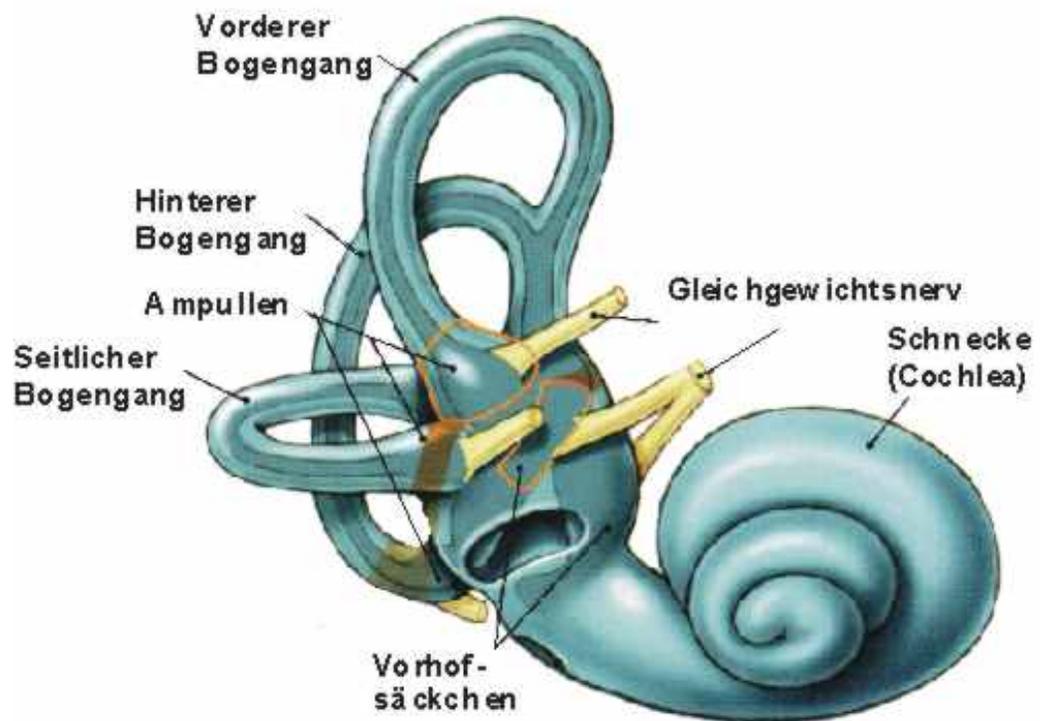
Themen:

- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)
- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

Das Vestibularorgan

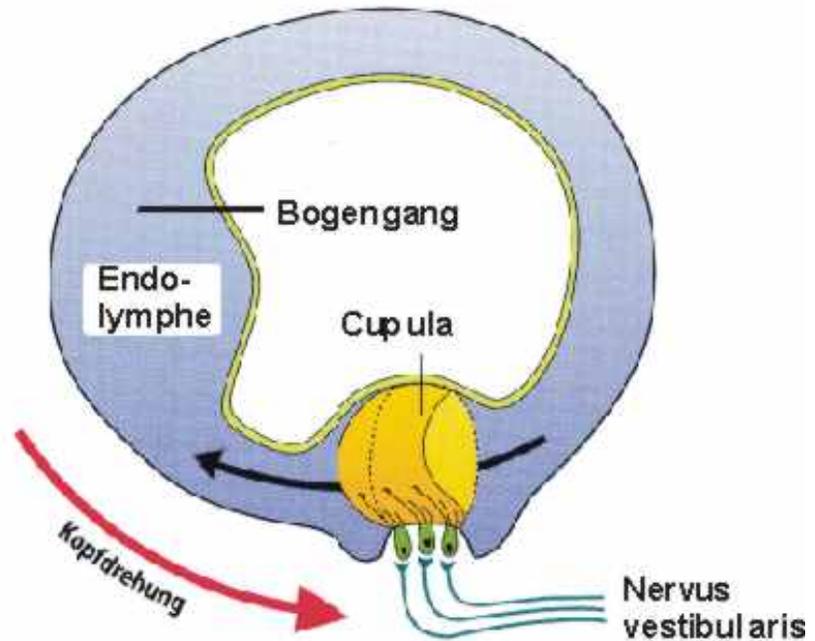
Das Vestibularorgan besteht aus drei Bogengängen und zwei Makulaorganen (Utriculus und Sacculus). Alle fünf Strukturen enthalten Haarzellen und messen Beschleunigung.

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.

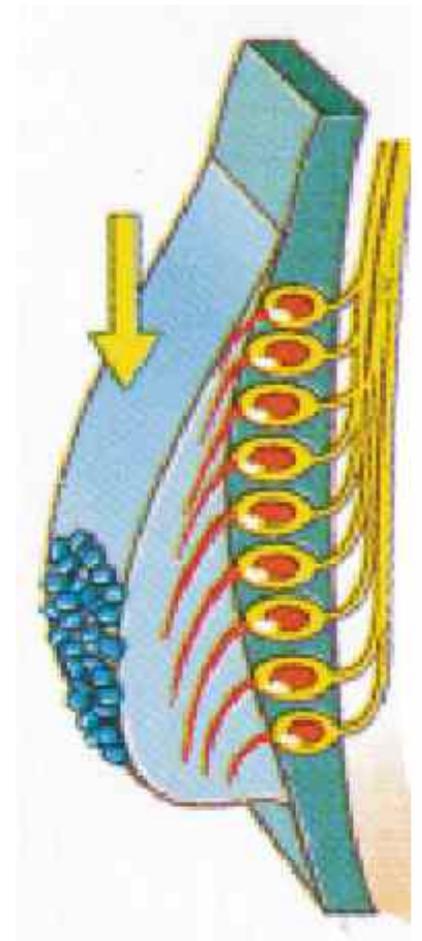
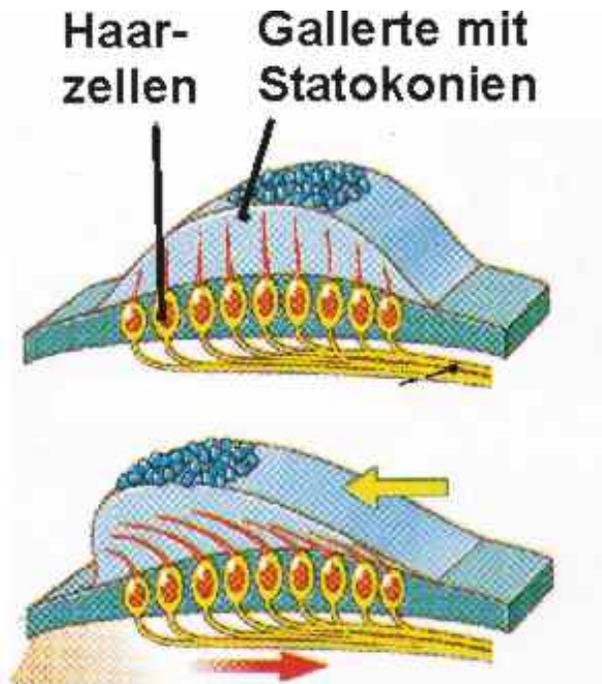
Die neuronalen Ausgänge der drei Bogengänge werden für die Körperhaltung und den Gleichgewichtssinn verwendet.



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

Bei Beschleunigung des Körpers bleiben die Statokonen 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.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

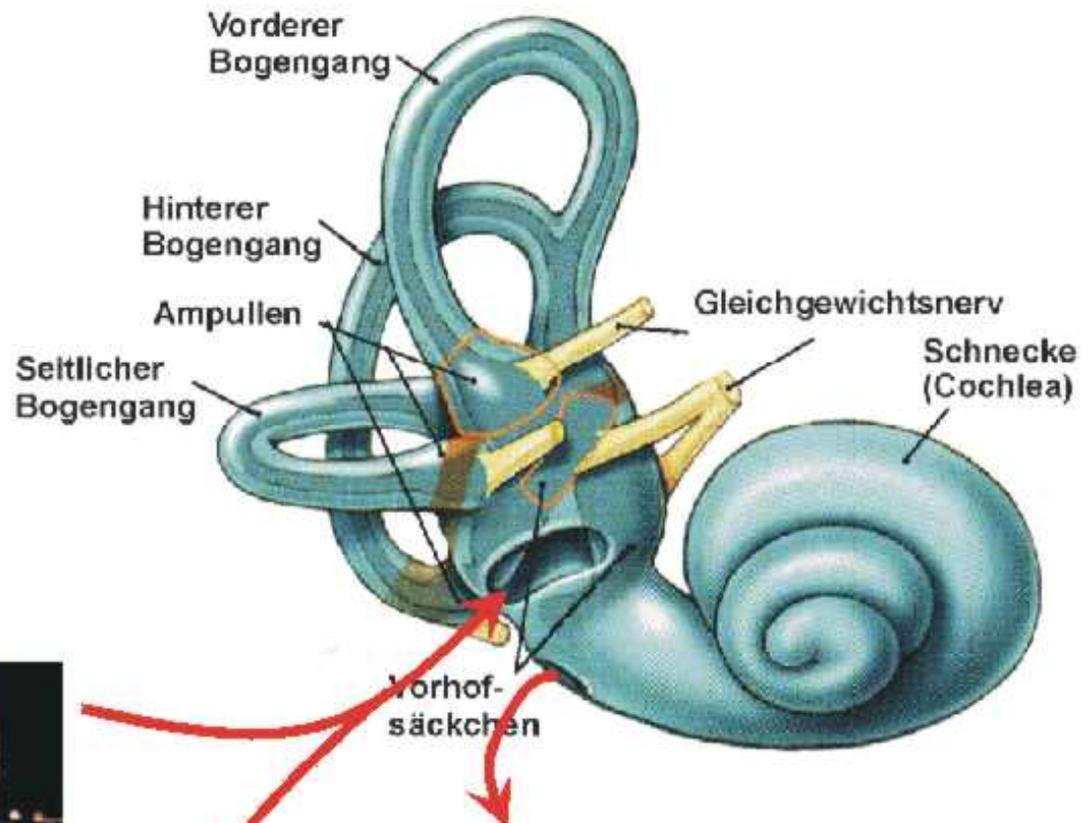
II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)

- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

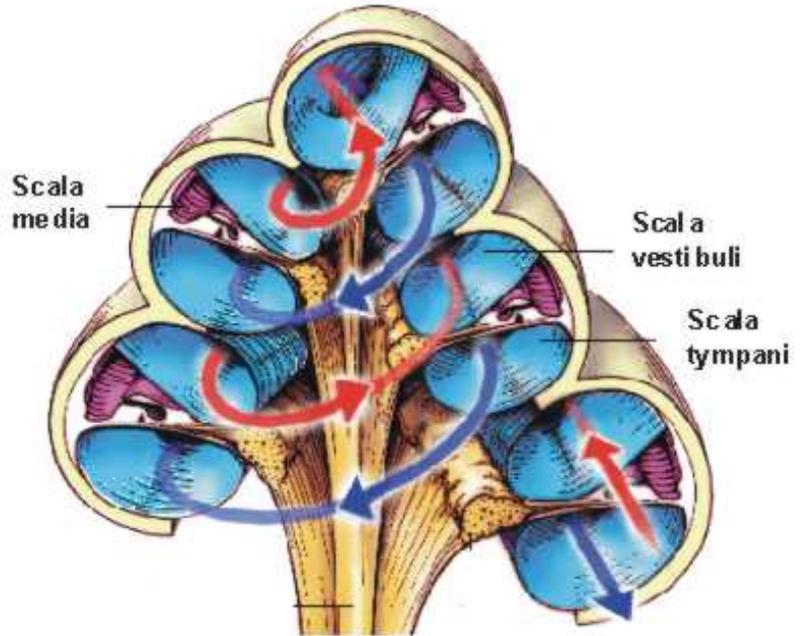
Die Cochlea des Innenohrs





Haarzellen in der Cochlea (Schnecke) des Innenohrs analysieren den Schall (siehe Vorlesung Hören). Der Schall gelangt in das Innenohr durch das ovale Fenster, eine Öffnung, auf die das dritte Gehörknöchelchen (der Steigbügel) aufliegt. Schallwellen durchlaufen die Schnecke bis zur Spitze, wieder herunter und treten am runden Fenster wieder aus.

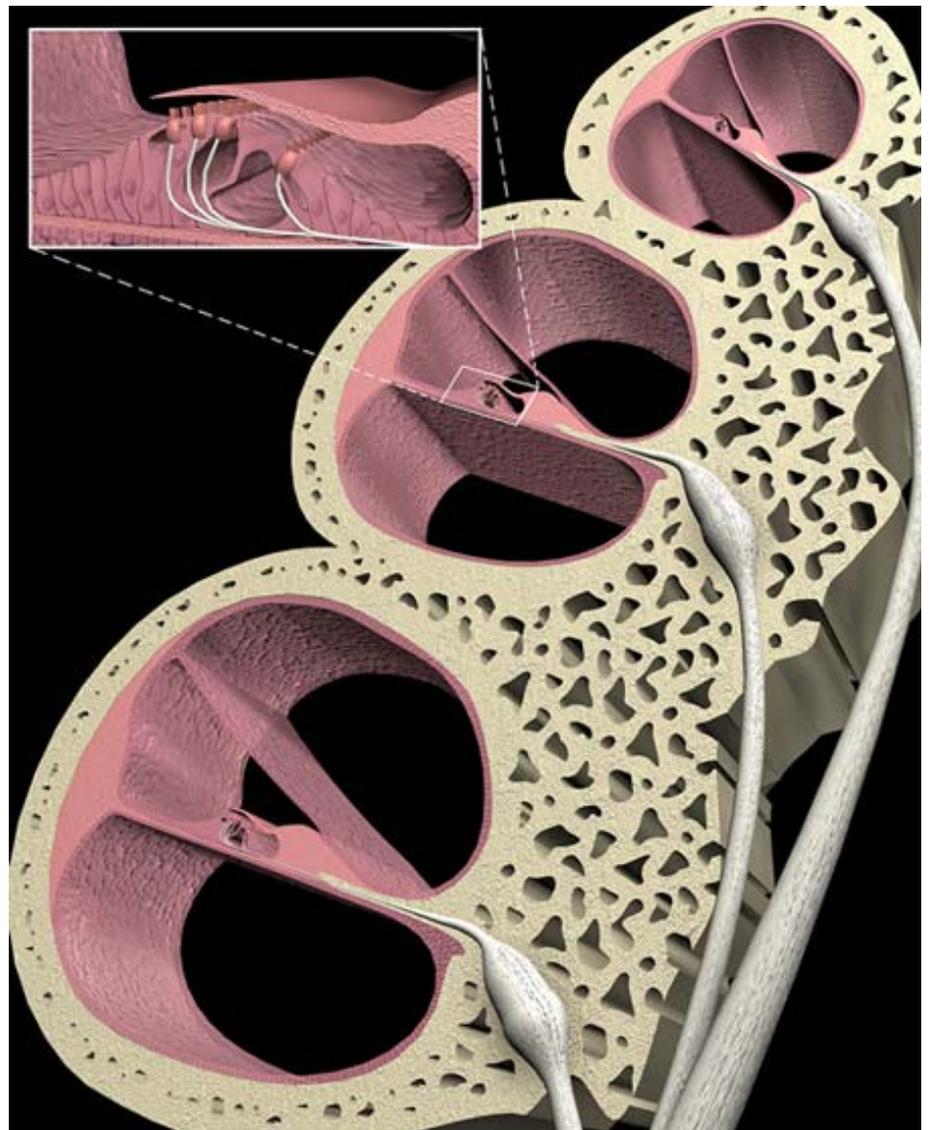
Ein Schnitt durch die Cochlea zeigt, dass jeder "Schneckengang" in drei Röhren unterteilt ist. Die **Scala vestibuli** ist mit dem ovalen Fenster verbunden. Sie nimmt den Schalldruck auf und führt ihn bis zur Spitze der Cochlea, dem Helicotrema. Dort führt eine scharfe Kehre in die zurücklaufende Röhre, 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.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Haare und Borsten](#)
- [Sensillen](#)
- [Halteren](#)
- [Seitenlinienorgane](#)
- [Das Vestibularorgan](#)
- [Die Cochlea des Innenohrs](#)
- [Zusammenfassung](#)

Zusammenfassung

- **Mechanosensorische Organe kommen in vielerlei Formen vor. Sie sind hochempfindlich und spezialisiert.**
- **Insekten verfügen über Sensillen, die Verformung der Cuticula, Schall, Vibration und Luftbewegung messen.**
- **In den Seitenlinienorganen der Fische detektieren Haarzellen Druckschwankungen und Wasserbewegung**
- **Das Vestibularorgan misst Dreh- und Translationsbeschleunigung mit Hilfe von Haarzellen.**
- **In der Cochlea des Innenohrs analysieren Haarzellen den Schall.**

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

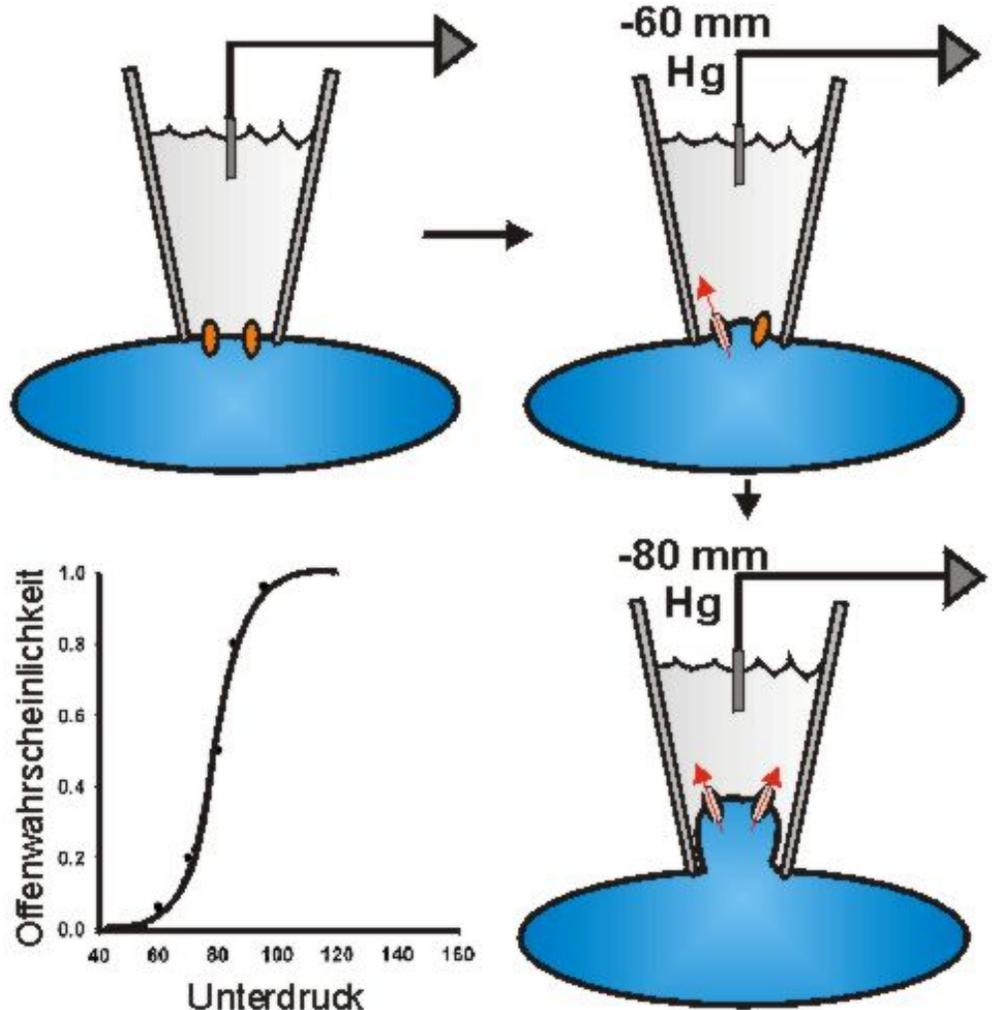
II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsezeptoren von C. elegans](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung](#)

Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle

Der funktionelle Nachweis mechanosensitiver Kanäle wird mit der Patch-Clamp-Methode durchgeführt. Dazu wird eine Meßelektrode aus Glas auf die Zellmembran gesetzt und ein Unterdruck angelegt. Dadurch wird eine kleine Membranfläche ("Patch") in die Elektrode eingesogen und dabei gedehnt. Mechanosensitive Kanäle reagieren auf die Membrandehnung: sie öffnen ihre Pore und lassen Strom über die Membran fließen, der mit der Elektrode gemessen werden kann. Wenn der Unterdruck genau dosiert wird, kann man die Abhängigkeit der Kanalaktivität vom angelegten Unterdruck quantitativ ermitteln. Die Kanalaktivität wird dabei mit der Offenwahrscheinlichkeit angegeben: Ohne Membrandehnung haben die Kanäle eine Offenwahrscheinlichkeit von 0 - sie sind nie offen. Mit zunehmender Membrandehnung (mit zunehmendem Unterdruck in der Elektrode) steigt die Offenwahrscheinlichkeit, bis sie den Wert 1 erreicht - wenn die Kanäle immer offen sind.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"



Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsrezeptoren von *C. elegans*](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung](#)

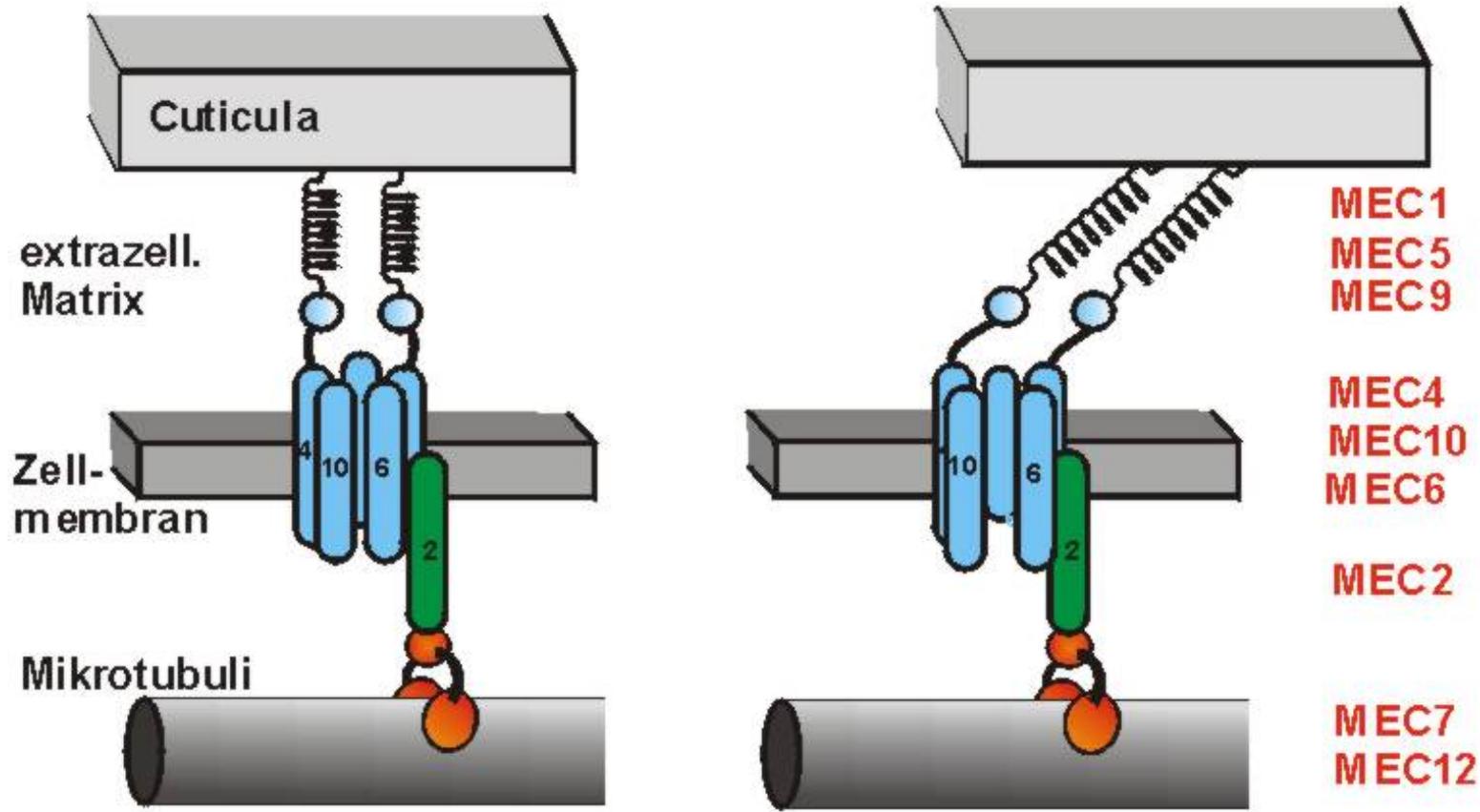
Berührungsrezeptoren von *C. elegans*



Der Nematode **Caenorhabditis elegans** eignet sich aus mehreren Gründen besonders für die Suche nach mechanosensitiven Kanälen. Man kann durch mechanische Stimulation (Berühren mit einem Haar) eine reproduzierbare Reaktion auslösen. Alle 302 Neuronen der Tiere sind bekannt, und man konnte durch Laser-Ablations-Versuche (Zerstörung einzelner Neurone) die mechanosensitiven Neurone identifizieren. Es gibt zahlreiche Mutanten, bei denen die Reaktionen auf mechanische Stimuli fehlen. Und schließlich ist das Genom von *C. elegans* bekannt und kann nach Genen für mechanosensorische Ionenkanäle durchforstet werden.

Arbeiten mit *C. elegans*-Mutanten haben ergeben, daß die Berührungssensoren nicht nur von einem Kanalprotein gebildet werden. Vielmehr sind die Sensoren komplexe Proteinaggregate aus mindestens 9 unterschiedlichen Proteinen (bezeichnet MEC1 - MEC12). Drei MEC-Proteine bilden den eigentlichen Ionenkanal; sie gehören zur Proteinfamilie der Degenerine, die auch beim Menschen mechanosensitive Kanäle bilden (siehe Vorlesung Schmerz). Andere MEC-Proteine verankern den Ionenkanal einerseits mit dem Zytoskelett und andererseits - über die extrazelluläre Matrix - mit der Cuticula.

Bei Berührung der Cuticula wird diese relativ zur Zellmembran des Neurons ein winziges Stück bewegt - genug, um eine mechanische Kraft auf den Kanal auszuüben, die ausreicht, die Pore zu öffnen.



Stephan Frings, Uni Heidelberg, [Abt. Molekulare Physiologie](http://www.sinnesphysiologie.de/abt_molekulare_physiologie) Mai 2003 s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Mechanorezeption

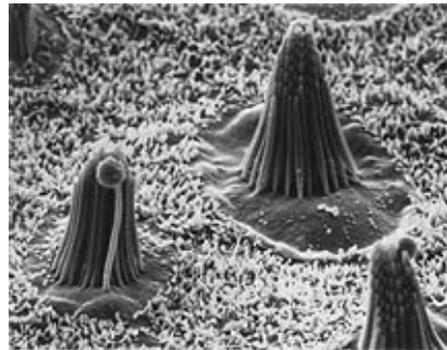
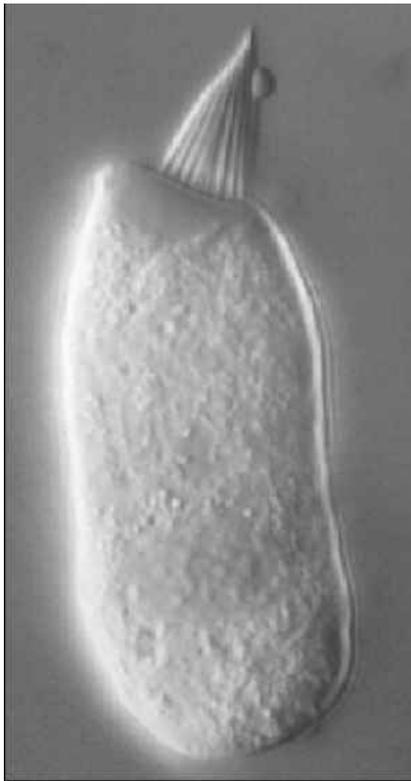
I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsezeptoren von C. elegans](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung](#)

Haarzellen



Haarzellen sind ein Erfolgsmodell der Evolution. Sie funktionieren in gleicher Weise und Bauart im Seitenlinienorgan der Agnathen (Neunauge) und im Innenohr des Menschen als hochempfindliche Mechanosensoren.

Mit ihren Stereozilien können sie mechanische Reize detektieren, die nicht größer sind als die thermische Bewegung von Atomen, und können diese winzigen Signale umsetzen in neuronale Signale. Haarzellen sind selbst keine Neurone. Aber sie bilden an ihrem basalen Pol Synapsen mit afferenten Axonen, die sie durch

Transmitterausschüttung aktivieren können.

Die mechanosensorischen Organellen sind die Stereozilien am apikalen Pol der Zelle. Eine Haarzelle kann etwa 20 - 100 Stereozilien haben. Deren auffälligstes Merkmal ist ihre Längenabstufung: Auf der Seite des nicht mechanosensitiven Kinoziliums (das mit dem runden Knopf) stehen die längsten Stereozilien. Mit zunehmendem Abstand zum Kinozilium werden die Stereozilien immer kürzer.

Quelle: <http://umech.mit.edu/hearing/intro/intro.html>

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"



Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

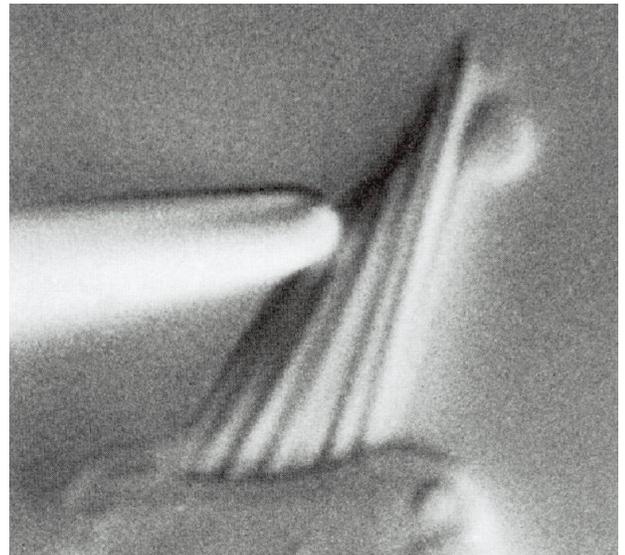
- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsrezeptoren von C. elegans](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung](#)

Die Empfindlichkeit von Haarzellen

Um die Arbeitsweise von Haarzellen zu erforschen, werden die Zellen isoliert (zB aus dem Innenohr des Frosches) und in Ringer-Lösung gehalten. Mit einem Mikromanipulator werden dann genau bemessene Auslenkungen der Stereozilien ausgeführt (rechts), während gleichzeitig mit einer intrazellulären Elektrode das Membranpotential gemessen wird.

Mit dieser Versuchsanordnung findet man heraus, wie empfindlich die Haarzelle reagiert, d.h. wie die quantitative Beziehung von Auslenkung und Depolarisation ist.

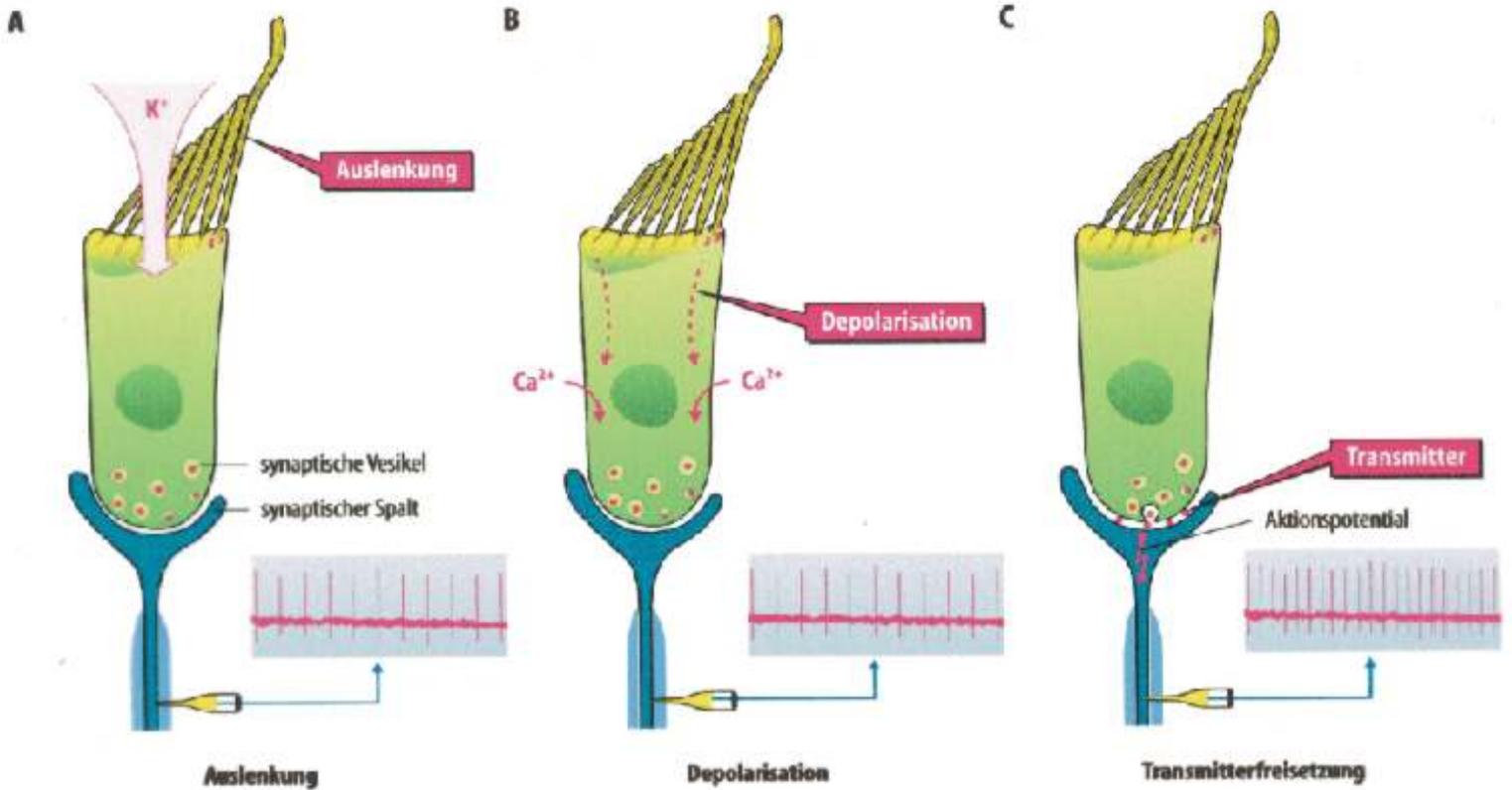
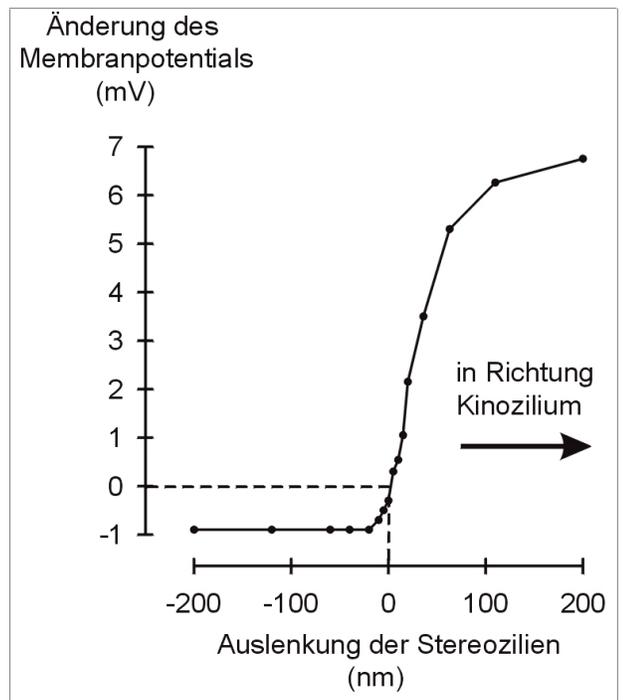
Zenner, H.P., Zrenner, E. (1994) Physiologie der Sinne, Spektrum Verlag, Heidelberg



Das Ergebnis einer solchen Messung ist rechts gezeigt. Bei einer Auslenkung der Stereozilien von der Ruhestellung (Auslenkung = 0) in Richtung Kinozilium depolarisiert die Zelle, und zwar über einen Bereich von 100 nm um etwa 7 mV (also zB von einem Ruhepotential von -60 mV auf -53 mV). Die Depolarisation führt zur Ausschüttung von Transmitter (wahrscheinlich Glutamat) und zur Erregung der afferenten Nervenfasern (unten).

Die Zellen reagieren mit einer fast unglaublichen Empfindlichkeit: Schon eine Auslenkung von 0.3 nm (3 Angstrom !) führt zu einer Depolarisation von 0.1 mV und zu einer Änderung der Spikerate, die vom Gehirn als Schallsignal erkannt werden kann. Das entspricht einer Auslenkung von 0.003 Grad. Übertragen auf die Höhe des Eiffelturms, entspricht das einer Auslenkung um die Breite eines Daumens (Hudspeth, A.J. (1989), How the ear's works work. Nature 341:397-404).

Nach: Russel, I.J., Kössl, M., Richardson, J.P. (1992), Non-linear mechanical responses of mouse cochlear hair cells, Proceedings of the Royal Society London Ser. B 250:217-227



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

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Mai 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"



Mechanorezeption

I. Die Suche nach mechanosensitiven Zellen

II. Mechanosensitive Organe

Themen:

- [Regulation des Zellvolumens](#)
- [Nachweis mechanosensitiver Ionenkanäle](#)
- [Berührungsrezeptoren von C. elegans](#)
- [Haarzellen](#)
- [Die Empfindlichkeit von Haarzellen](#)
- [Die Transduktionskanäle der Haarzellen](#)
- [Zusammenfassung](#)

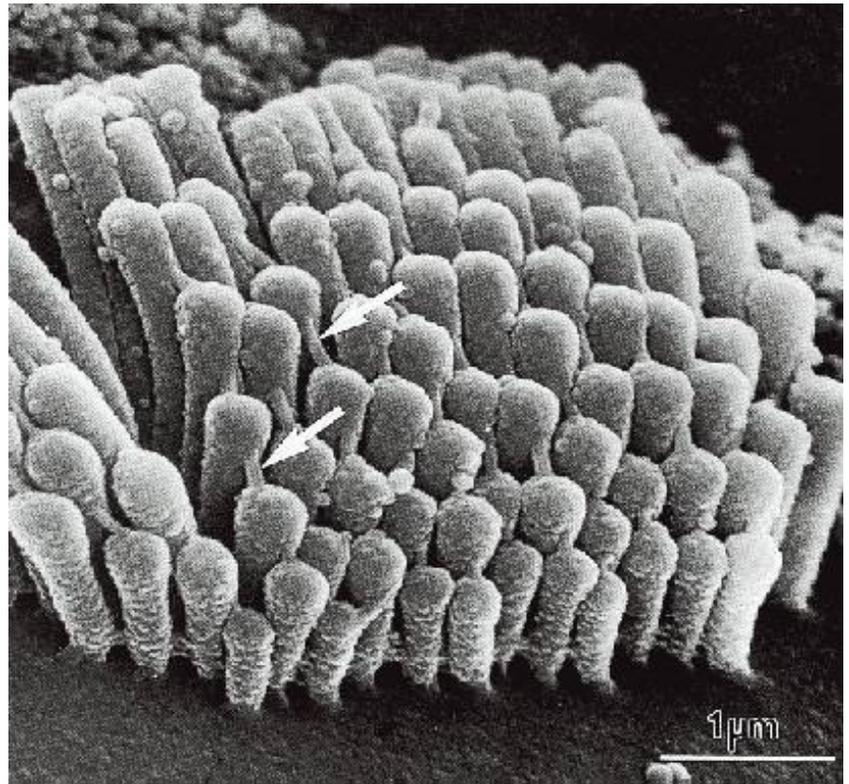
Die Transduktionskanäle der Haarzellen

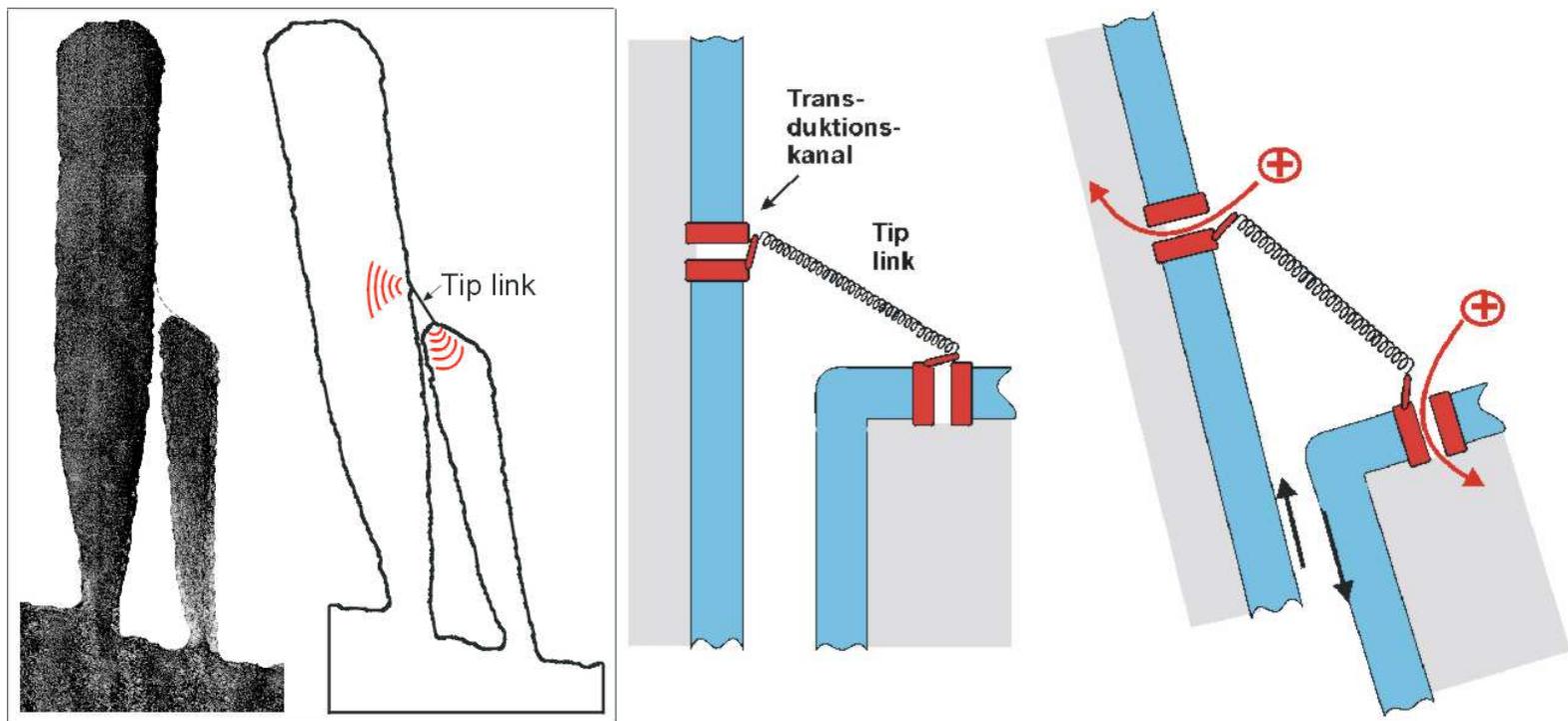
Die Suche nach den Transduktionskanälen der Stereozilien - den Ionenkanälen, die bei Auslenkung aktiviert werden - führte zur Entdeckung der Tip-links. Tip links sind dünne Proteinfäden, die jede Stereozilie mit ihrer nächst-längeren und nächst-kürzeren Nachbarin (nicht aber mit den gleichlangen Nachbarn!) verbinden (siehe Pfeile rechts). Durch die Tip links entstehen Ketten von Stereozilien, die von der kürzesten zu längsten (am Kinozilium) verlaufen.

Es gibt gute Hinweise darauf, daß die Tip links die Öffnung der Transduktionskanäle kontrollieren. Werden die Tip-links entfernt, verlieren die Haarzellen ihre Mechanosensitivität. Wenn die Tip-links nachwachsen, wird die Funktion wieder hergestellt.

Aus: Pickles, J.O., Corey, D.P. (1992) Mechano-electrical transduction by hair cells.

Trends in Neuroscience 15:254-258





Bei Auslenkung des Haarbündels verschieben sich die benachbarten Stereozilien gegeneinander. Dabei werden die Tip-links gestrafft und üben eine Zugkraft auf die Plasmamembranen der beiden Stereozilien aus. Diese Kraft öffnet die Transduktionskanäle und löst damit die Depolarisation der Zelle aus. Rechts ist dieser Vorgang schematisch dargestellt, wobei das Tip-link durch eine Feder symbolisiert ist, die an beiden Enden je einen Transduktionskanal steuert. Es ist bisher noch nicht geklärt, wieviele Kanäle mit einem Tip-link verbunden sind, ob sie sich an beiden Enden befinden und welche Struktur sie haben.