

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

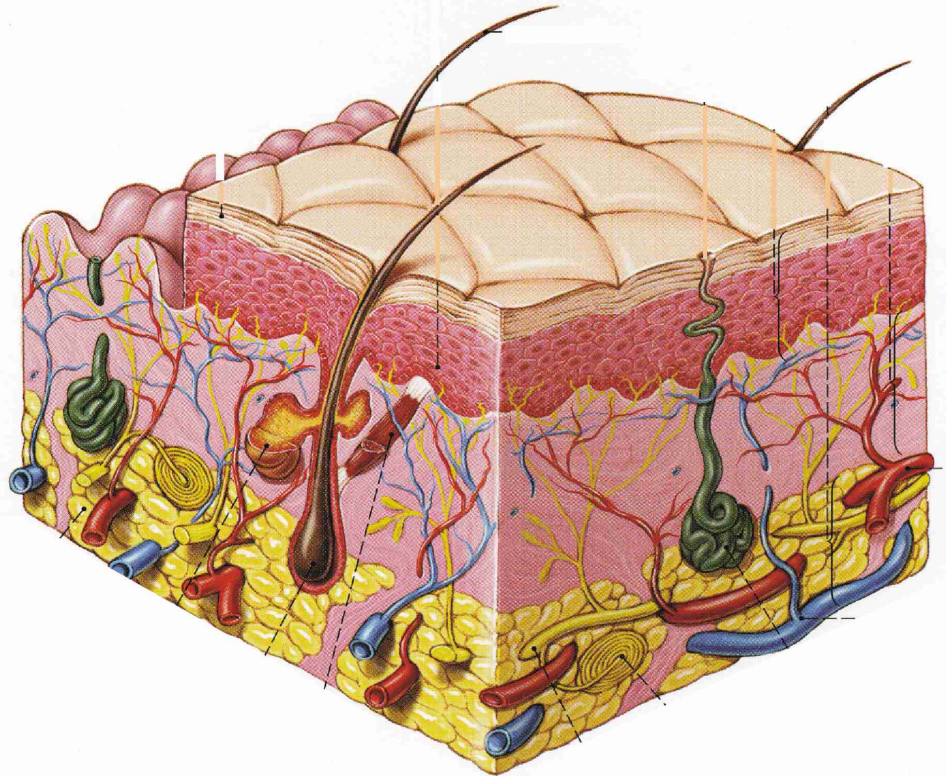
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Das größte Sinnesorgan des Menschen

Beim Menschen ist die Haut mit einer Oberfläche von 1,5 - 1,8 m² und einem Gewicht von mehr als 3 kg das größte sensorische Organ. Spezialisiert auf mechanische, thermische und chemische Reize, gibt uns die Haut eine Vielzahl lebenswichtiger Informationen über unsere unmittelbare Umgebung. In diesem Abschnitt der Vorlesung werden die Sinneszellen für mechanische Stimulation sowie die Thermorezeptoren der Haut beschrieben. Die Schmerzempfindung durch die Haut wird in einem extra Abschnitt diskutiert.

Die Abbildung rechts zeigt schematisch den Aufbau der behaarten Haut. Die Oberhaut wird von der Hornschicht und der Epidermis (Keimschicht, rot) gebildet. Die darunterliegende Lederhaut (Corium, rosa) wird von vielen Blutgefäßen (rot, blau) sowie von Nervenfasern (gelb) durchzogen. Die darunterliegende Unterhaut (Subcutis) enthält vor allem Fettgewebe. Schweißdrüsen (grün) münden in Hautporen, und jedes Haar verfügt über einen Aufrichtemuskel und eine Talgdrüse.



Aus: Weitz, B. (1998) Atlas der Anatomie. Weltbild Verlag, München

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

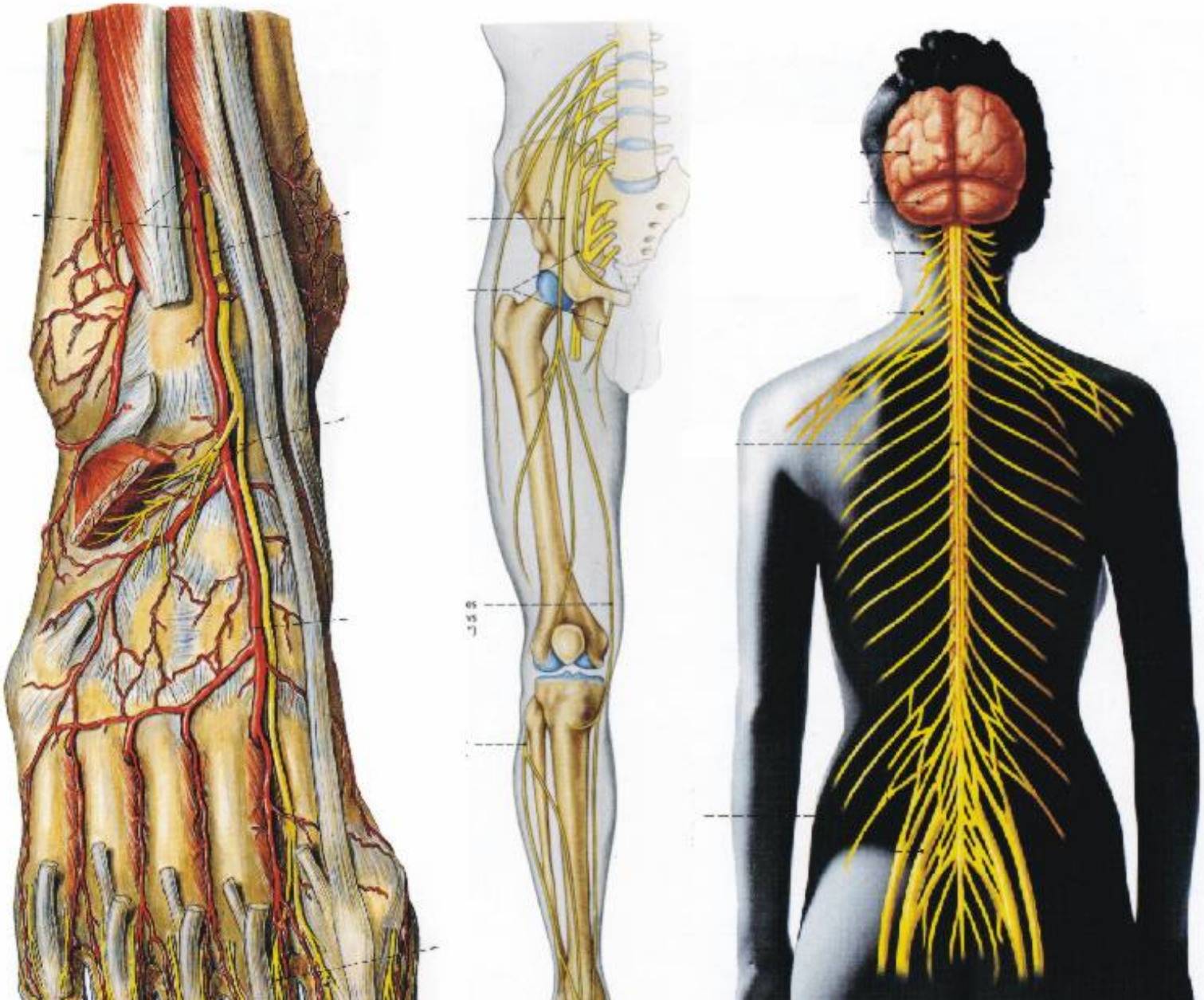
II. Der Weg zum Gehirn

Themen:

- [Von der Haut zum Rückenmark](#)
- [Vom Rückenmark zum Thalamus](#)

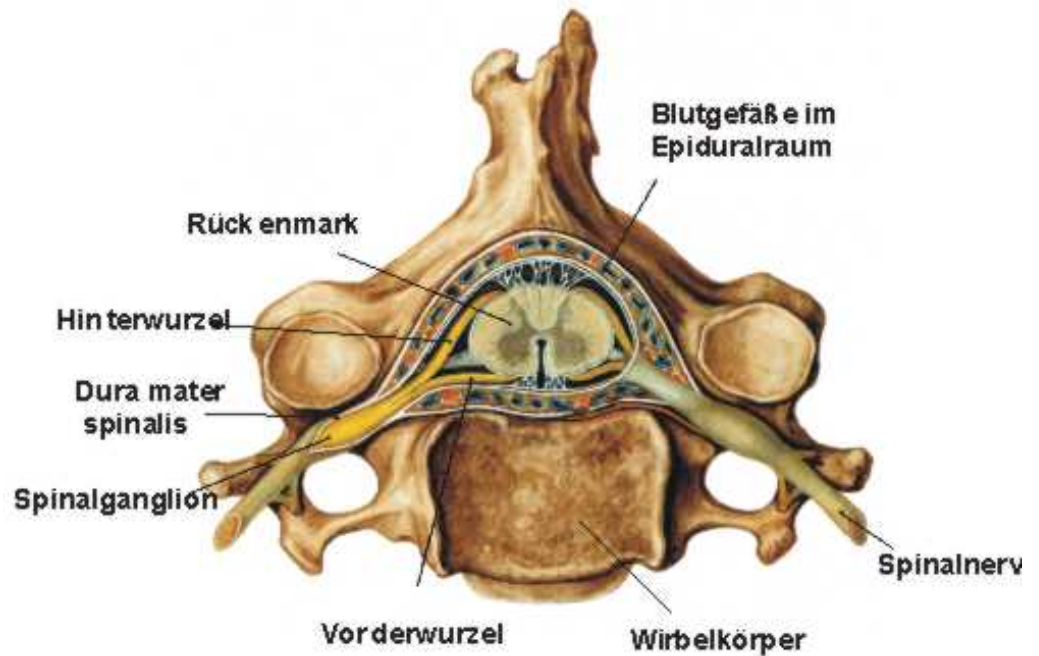
- [Vom Thalamus zur Großhirnrinde](#)
- [Somatotopie](#)
- [Zusammenfassung](#)

Von der Haut zum Rückenmark





Die Dichte der Mechanosensoren in der Haut ist ca 10-100/cm². Bei 2 m² Hautfläche ergibt das eine Gesamtzahl von 0.1 - 12 Millionen Sensoren (äußerst grobe Schätzung!). Die Axone dieser Zellen werden in nur 62 Spinalnerven zusammengefasst und dem Rückenmark zugeführt. Die Zellkörper der Mechanosensoren liegen in den Spinalganglien direkt an den Wirbeln. Von dort verläuft von jeder Zelle ein Axon durch die Hinterwurzel ins Hinterhorn des Rückenmarks. Im Querschnitt des Rückenmarks (**rechts**) erkennt man die schmetterlingsförmige graue Substanz. Sie enthält die Zellkörper der Rückenmarksneurone. In der umgebenden weißen Substanz verlaufen die Axone. Die Mechanosensoren bilden im Hinterhorn Synapsen mit nachgeschalteten Rückenmarksneuronen.



Aus: Weitz, B. (1998) Atlas der Anatomie, Weltbild-Verlag

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. Der Weg zum Gehirn

Themen:

- [Von der Haut zum Rückenmark](#)
- [Vom Rückenmark zum Thalamus](#)
- [Vom Thalamus zur Großhirnrinde](#)
- [Somatotopie](#)
- [Zusammenfassung](#)

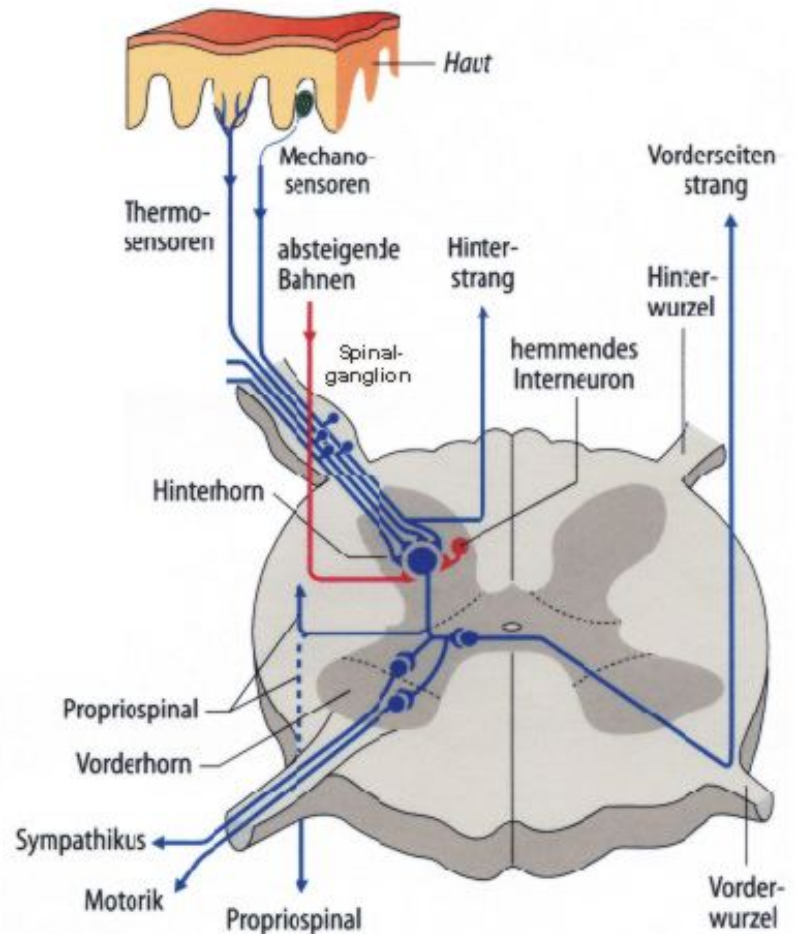
Vom Rückenmark zum Thalamus

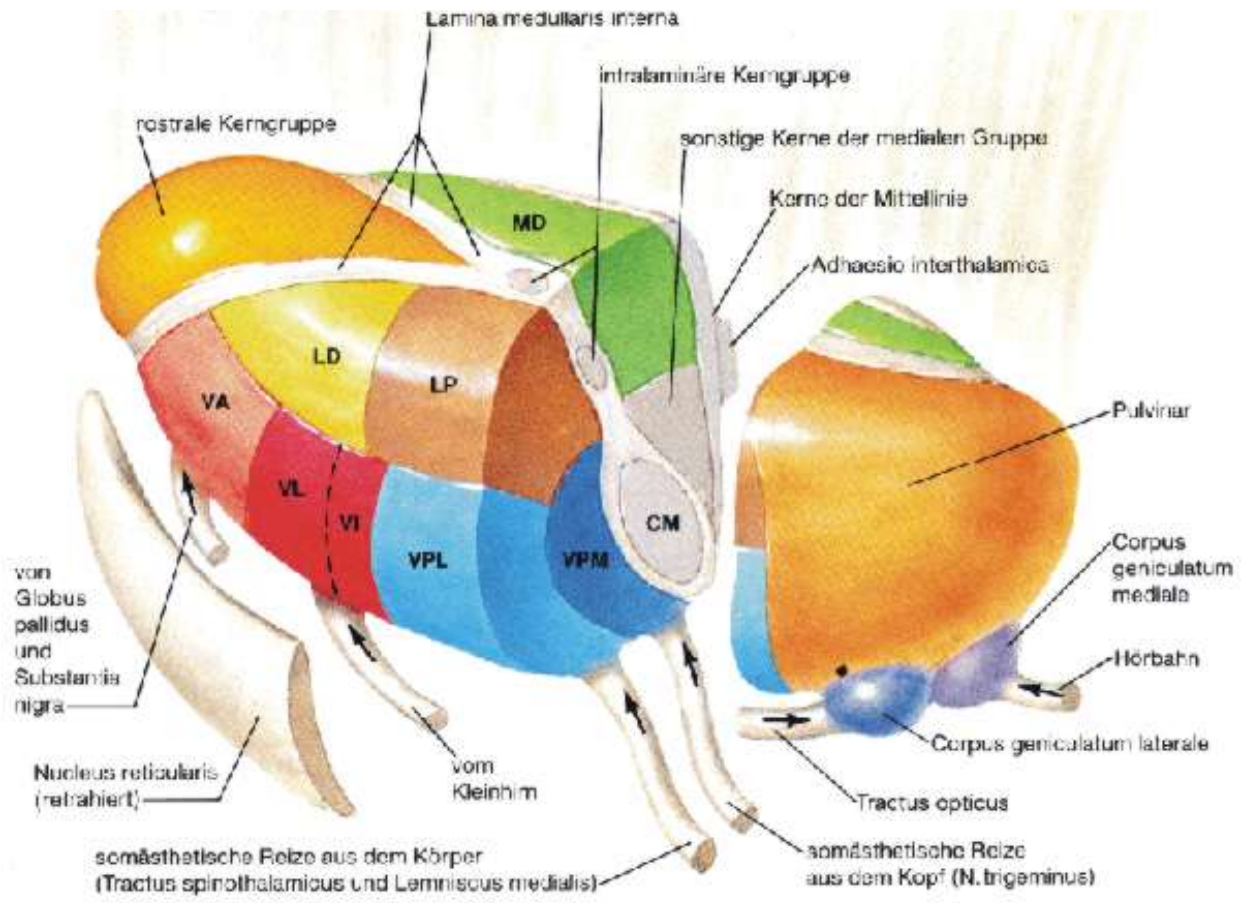
Die meisten afferenten Axone der Hautsinneszellen enden in einer Synapse im Hinterhorn. Das sensorische Signal wird auf Rückenmarksneurone weiterverschaltet und entweder über den ipsilateralen Hinterstrang (Tastsinn) oder den kontralateralen Vorderseitenstrang (Temperatur- und Schmerzsinne) in Richtung Gehirn geleitet.

Durch das Zwischenhirn, wo die sensorischen Signale von den Rückenmarksneuronen wiederum auf nachfolgende Nervenzellen des Gehirns geschaltet werden, erreicht die Information der Hautsinne den Thalamus (**unten**).

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

Die mechanosensorischen Signale erreichen den Ventrobasalkern des Thalamus (VPL und VPM), wo sie somatotopisch (nach Hautbereichen getrennt) verarbeitet werden. Vom Thalamus aus werden die Signale zur Großhirnrinde geleitet und damit dem Bewußtsein zugeführt.





Aus: Netter, F.H. (1987)
Nervensystem I,
Neuroanatomie und
Physiologie
Georg Thieme Verlag,
Stuttgart

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

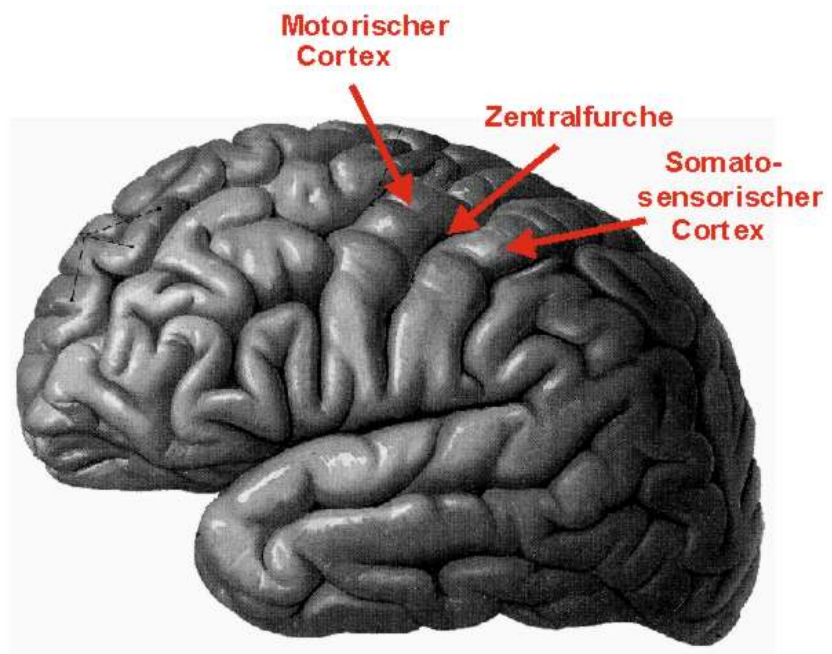
II. Der Weg zum Gehirn

Themen:

- [Von der Haut zum Rückenmark](#)
- [Somatotopie](#)
- [Zusammenfassung](#)
- [Vom Rückenmark zum Thalamus](#)
- [Vom Thalamus zur Großhirnrinde](#)

Vom Thalamus zur Großhirnrinde

Die bewußte Verarbeitung der Hautsinne erfolgt im somatosensorischen Cortex. Diese Struktur ist im menschlichen Gehirn leicht zu erkennen: Hinter der quer verlaufenden Zentralfurche (Sulcus centralis) verläuft von der Spalte zwischen den Großhirnhälften bis hinunter zum Schläfenlappen die Wulst des Gyrus postcentralis, der den somatosensorischen Cortex enthält. Parallel dazu, auf der Vorderseite der Zentralfurche, verläuft der Gyrus precentralis mit dem motorischen Cortex.



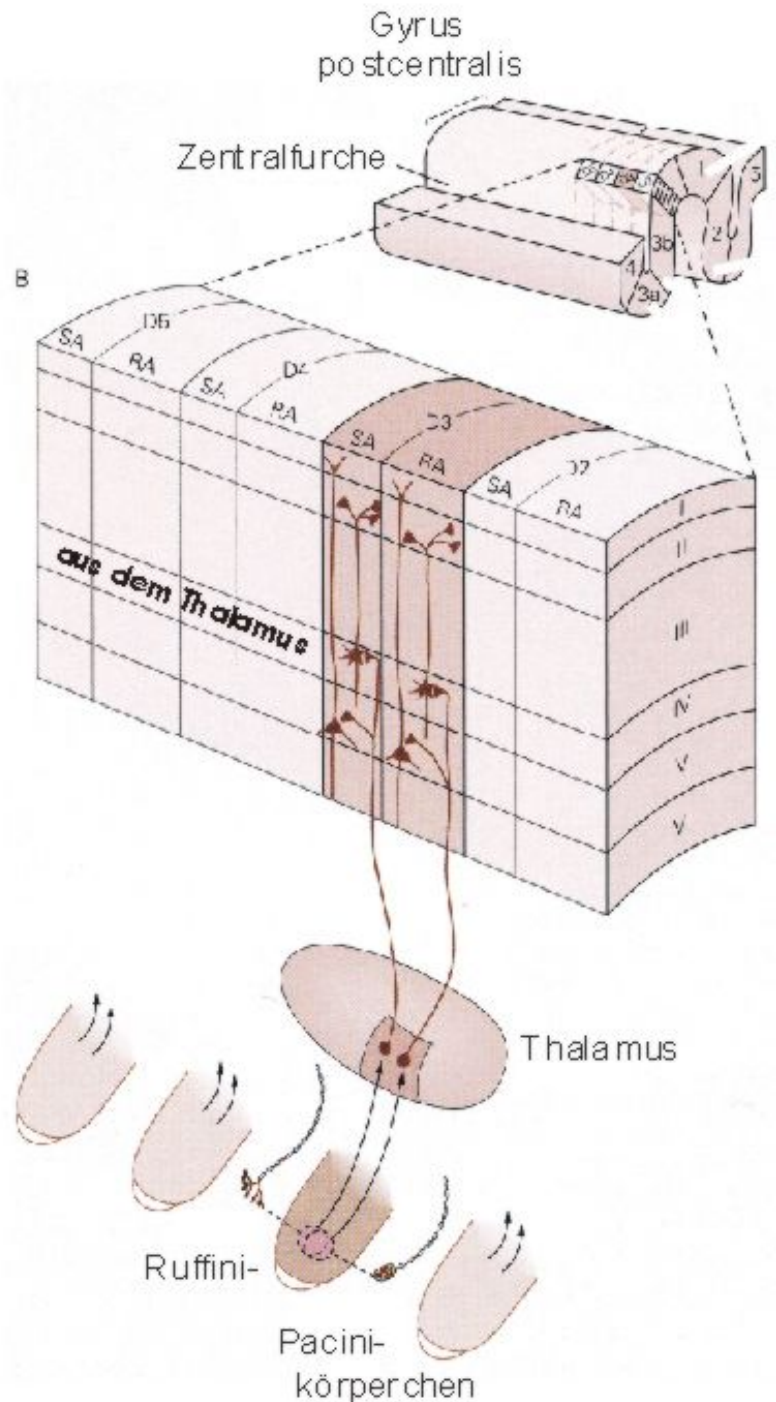
Der somatosensorische Cortex ist - wie die gesamte Großhirnrinde - in 6 Schichten unterteilt. Diese Schichtung ergibt sich aus der Anordnung der verschiedenen Zelltypen (v.a. der Pyramiden- und Körnerzellen. Die Axone, die das Hautsinnessignal aus den Ventrobasalkernen des Thalamus bringen, enden Schicht 4, wo sie Synapsen mit Pyramidenzellen und Körnerzellen bilden.

Jede Pyramidenzelle bildet mit ihren Dendriten eine funktionelle Einheit im Cortex, die wegen ihrer säulenförmigen Struktur als **Kolumnen** bezeichnet werden. Kolumnen haben einen Durchmesser von 0,2 - 0,5 mm und sind orts- und sensorspezifisch. Ortsspezifisch bedeutet, daß die Signale, die in eine Kolumne münden, aus einer engumgrenzten Hautfläche (zB einer Fingerkuppe) kommen. Sensorspezifisch sind sie, weil eine einzelne Pyramidenzelle

Eingänge von mehreren gleichartigen Hautsinneszellen bekommen kann - also zB von mehreren Ruffini-Körperchen. In der Zeichnung **rechts** ist das dadurch veranschaulicht, dass alle Ruffini-Körperchen der Kuppe des 3. Fingers auf eine Kolumne verschaltet sind. Die Pacini-Signale aus demselben Hautareal kommen in der danebenliegenden Kolumne an.

Auf diese Weise entsteht am Ziel der Hautsignale eine räumliche Ordnung. Aus dem ständig wechselnden Aktivitätsmuster der Kolumnen des somatosensorischen Cortex entsteht die bewußte Wahrnehmung der Hautsinne.

Aus: Kandel, Schwartz, Jessel (2000)
Principles of neural science
McGraw-Hill



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. Der Weg zum Gehirn

Themen:

- [Von der Haut zum Rückenmark](#)
- [Vom Rückenmark zum Thalamus](#)
- [Vom Thalamus zur Großhirnrinde](#)
- [Somatotopie](#)
- [Zusammenfassung](#)

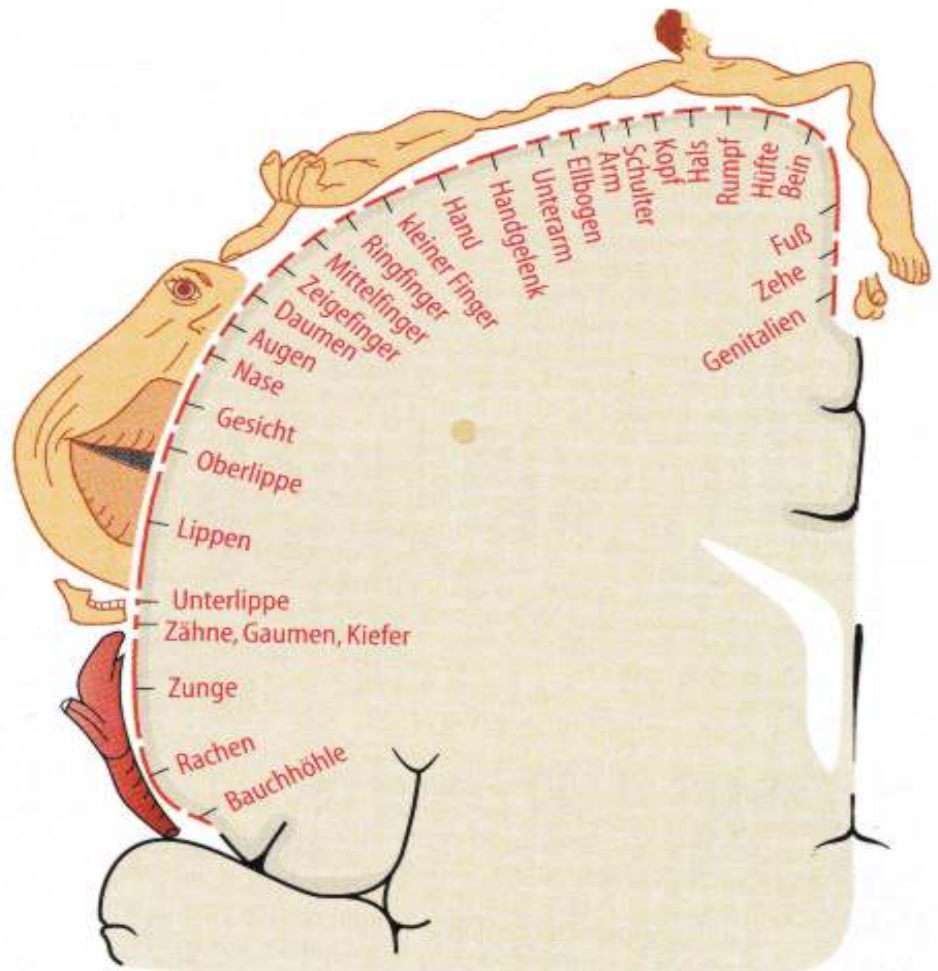
Somatotopie

Im somatosensorischen Cortex trifft Information von Sinneszellen von der gesamten Körperoberfläche sowie von Muskeln und Gelenken ein. Der Anteil der einzelnen Körperregionen an der Verschaltung im somatosensorischen Cortex richtet sich danach, wieviel Sinneszellen die jeweilige Körperregion enthält.

Sensorisch besonders gut versorgte Körperregionen (Mund, Finger) belegen den größten Teil des somatosensorischen Cortex. Unempfindlichere Regionen (Beine, Rumpf, Arme) sind auf wesentlich kleineren Flächen repräsentiert.

Die Abbildung von Körperregionen auf eine Gehirnareal nennt man Somatotopie.

Aus: Schmidt, R.F + Thews, G. (1997)
Physiologie des Menschen
Springer Verlag, Berlin



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. Der Weg zum Gehirn

Themen:

- [Von der Haut zum Rückenmark](#)
- [Von Rückenmark zum Thalamus](#)
- [Somatotopie](#)
- [Zusammenfassung](#)
- [Vom Thalamus zur Großhirnrinde](#)

Zusammenfassung

- Die Axone der Mechanorezeptoren werden in den Spinalnerven gebündelt.
- Durch Hinterwurzeln erreichen sie das Hinterhorn des Rückenmarks und bilden dort Synapsen.
- Im Hinterstrang verlaufen die weiterführenden Fasern zur Medulla oblongata und von dort zum Thalamus.
- Alle sensorische Information geht durch den Thalamus. Der Tastsinn läuft durch den Ventrobasalkern.
- Vom Thalamus aus erreichen die Signale den mechanosensorischen Cortex.
- Im Cortex ist die gesamte Körperoberfläche 2-dimensional repräsentiert: Somatotopie

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

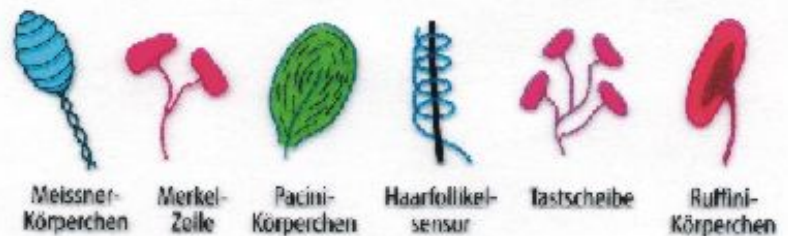
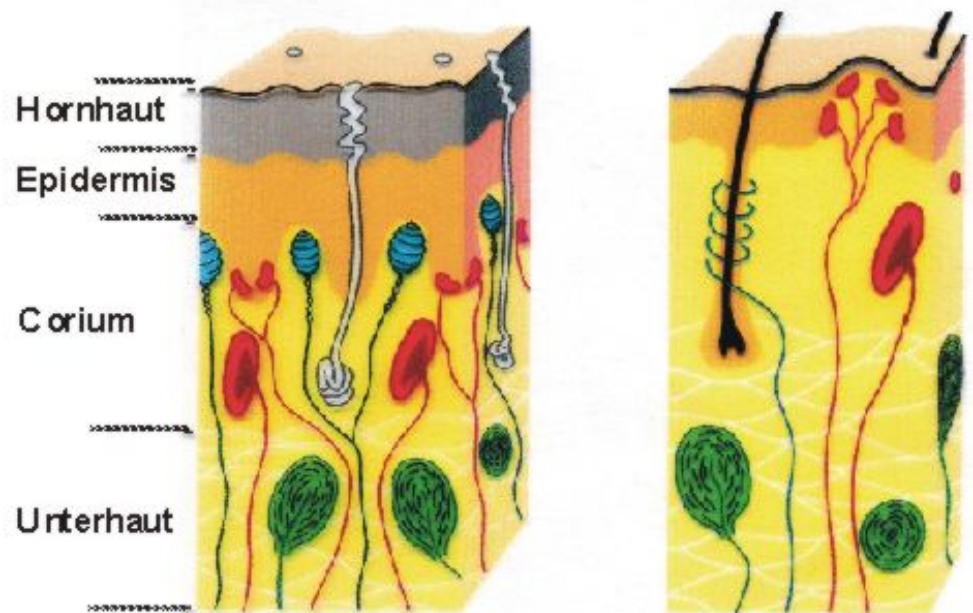
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Die Vielfalt der Mechanosensoren

Struktur und Lage der Mechanosensoren in der Haut des Menschen. Die unbehaarte Haut (Handflächen, Fußsohlen) hat eine etwas andere Zusammenstellung von Sensoren wie die behaarte Haut. Unterschiedliche Sensoren liefern verschiedene Arten von Tastinformation. Die Gesamtheit dieser Information wird benötigt, um Form, Größe und Bewegung eines Gegenstands auf der Hautoberfläche zu beurteilen. Die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Sensortypen sind auf den oben angegebenen Seiten zu finden.

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



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

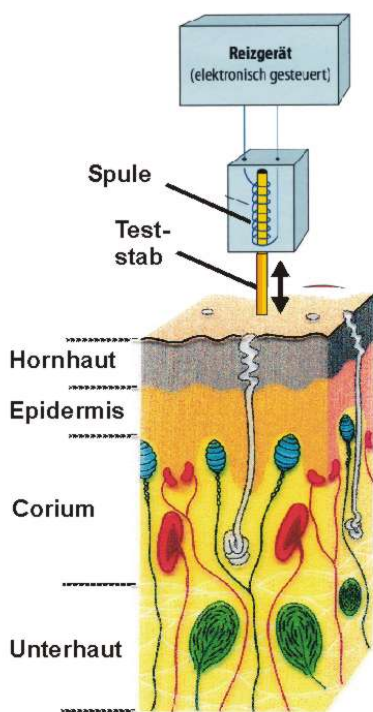
I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

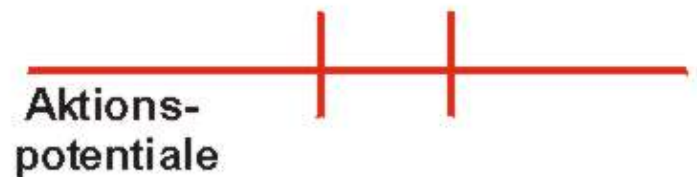
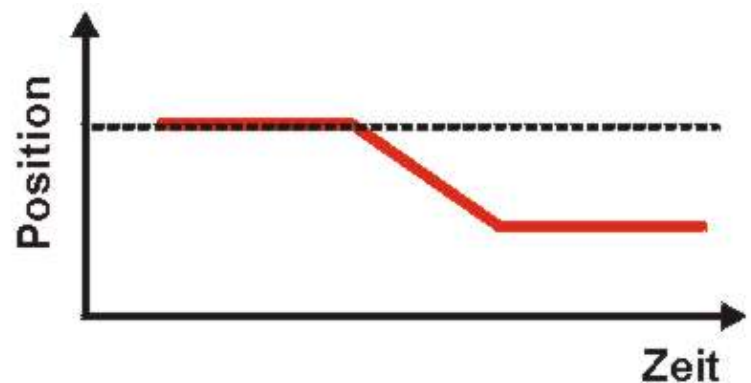
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Pacini-Körperchen



Um zu untersuchen, wie ein Mechanorezeptor auf einen Reiz reagiert, wird ein sehr dünner Teststab auf die Hautoberfläche gesetzt. Ein Reizgerät (**links**) drückt den Stab dann mit definierter Kraft eine bestimmten Weg auf die Haut (zB 2 mm). Die Reaktion der Sinneszellen wird gleichzeitig von den Nervenfasern extrazellulär abgeleitet. Die Position des Teststabs und die Aktionspotentiale der Sinneszelle werden dann verglichen (**rechts**). Bei Ableitungen von Pacini-Körperchen sieht man Aktionspotentiale nur zu Beginn und am Ende der Bewegung des Teststabs. Pacini-Körperchen sind schnell-adaptierende Mechanorezeptoren: Sie registrieren den Übergang Stillstand-Bewegung oder Bewegung-Stillstand, nicht aber gleichförmige Bewegungen. Damit sind sie besonders für die Detektion von **Vibration** optimiert.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

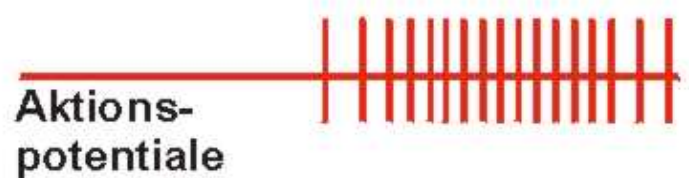
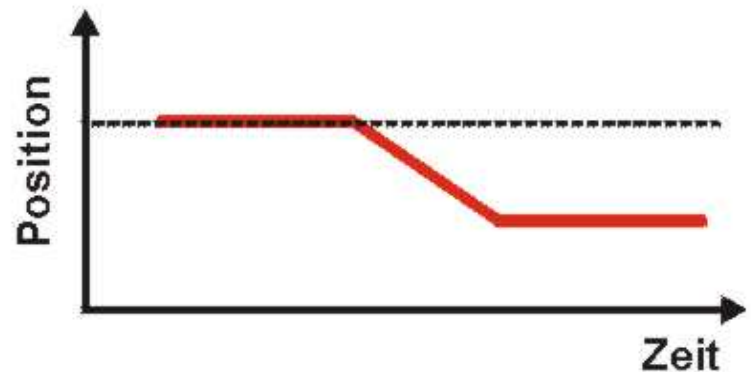
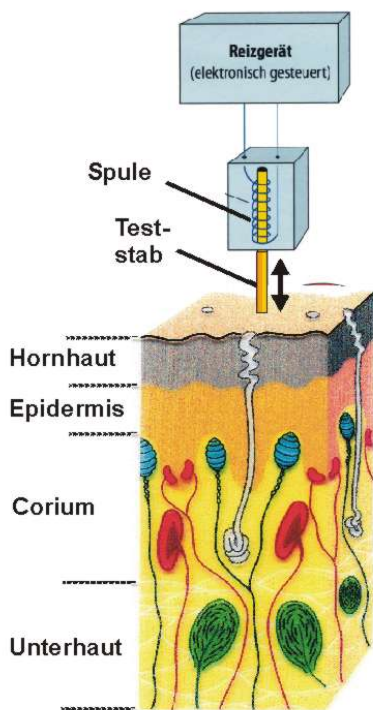
II. der Weg ins Gehirn

Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Ruffini-Körperchen

Ruffini-Körperchen adaptieren nur langsam (SA-Rezeptoren, *slowly adapting*) und können deshalb nicht nur anzeigen daß ein Gegenstand die Haut berührt, sondern auch *wie tief* die Haut eingedrückt wird.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

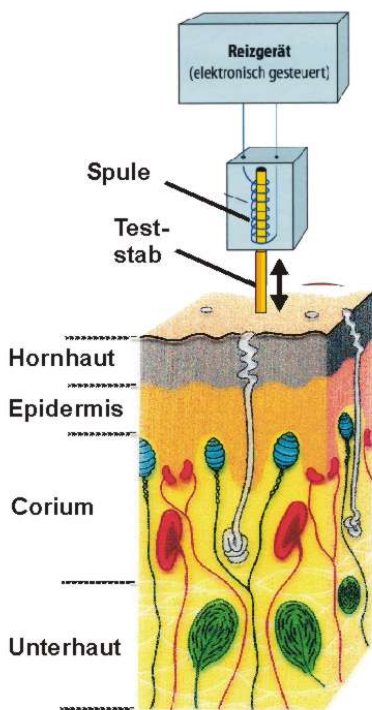
I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

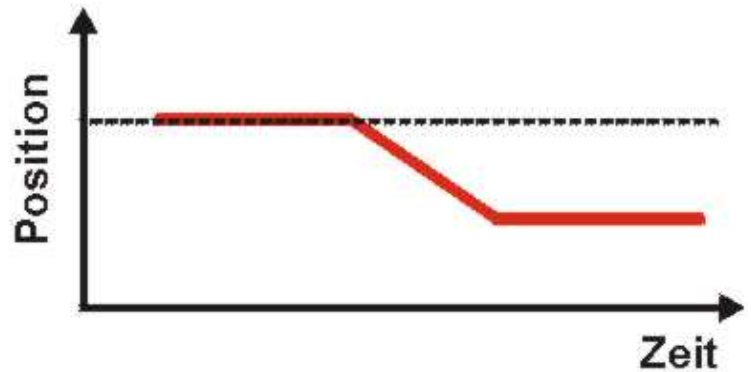
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Meissner-Körperchen



Meissner-Körperchen gehören zu den schnell-adaptierenden (RA, *rapidly adapting*) Mechanosensoren. Sie signalisieren das Eindringen der Haut, passen sich aber der neuen, tieferen Position des Teststabs an, und feuern nicht weiter.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

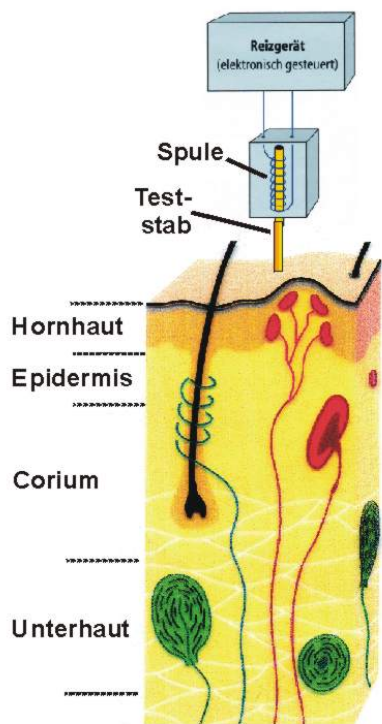
I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

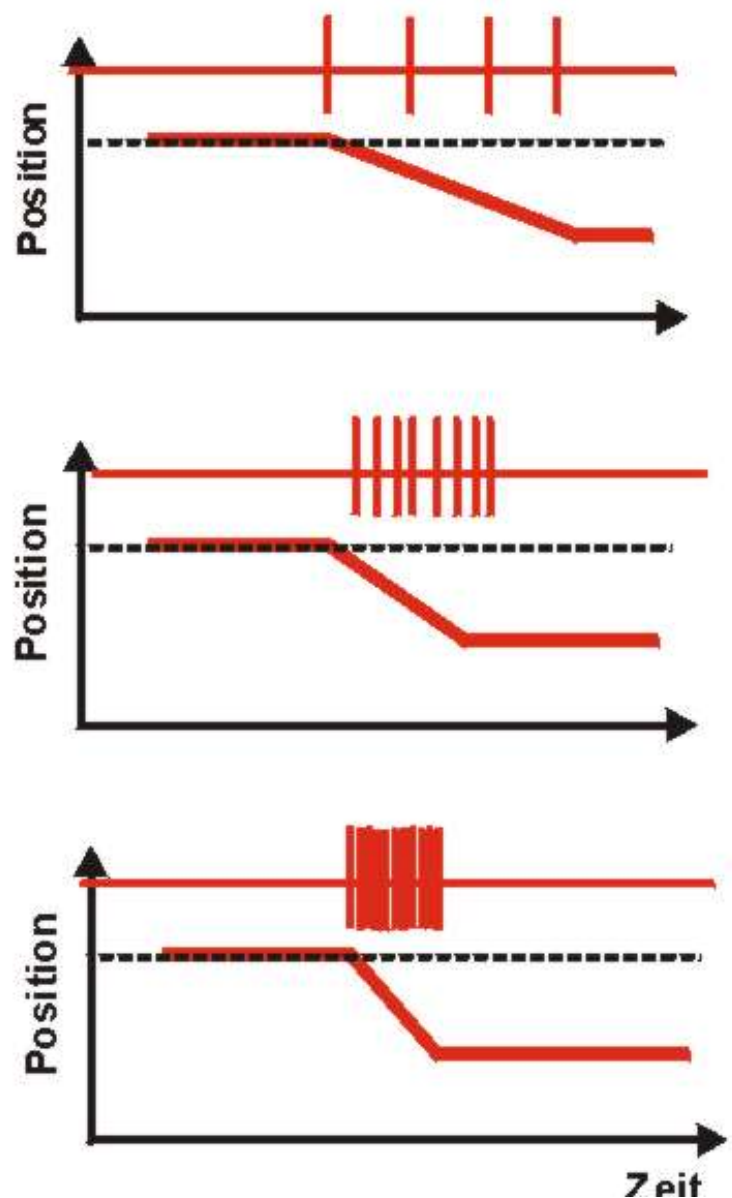
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Haarfollikel-Sensoren



Haarfollikel-Sensoren sind eine besondere Art schnell adaptierender (RA-) Sensoren. Ihre Entladungsfrequenz ändert sich proportional zur *Geschwindigkeit* der Reizbewegung. Je schneller der Teststab auf die Haut gedrückt wird, desto höher ist die Frequenz der Aktionspotentiale. Nach dem Ende der Bewegung passen sich auch die Haarfollikel-Sensoren der Situation an und hören auf zu feuern.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

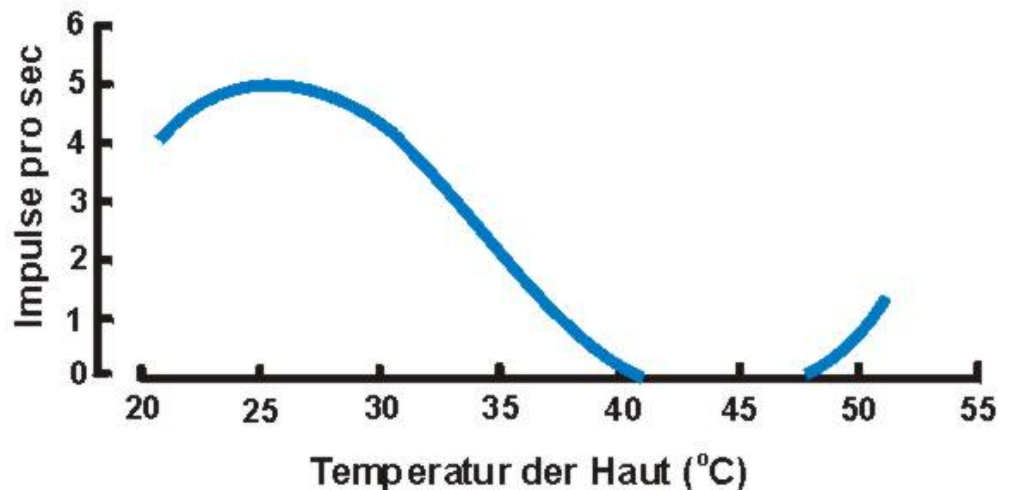
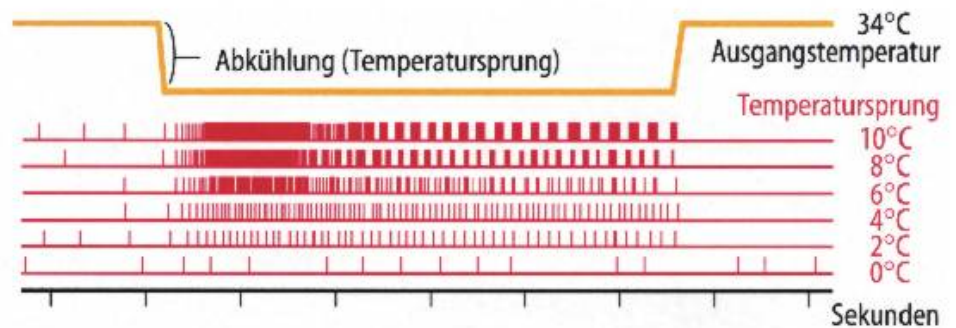
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Kaltsensoren

Information über die Hauttemperatur gelangt von zwei unterschiedlichen Populationen von Thermosensoren zum Gehirn: Kaltsensoren und Warmsensoren.

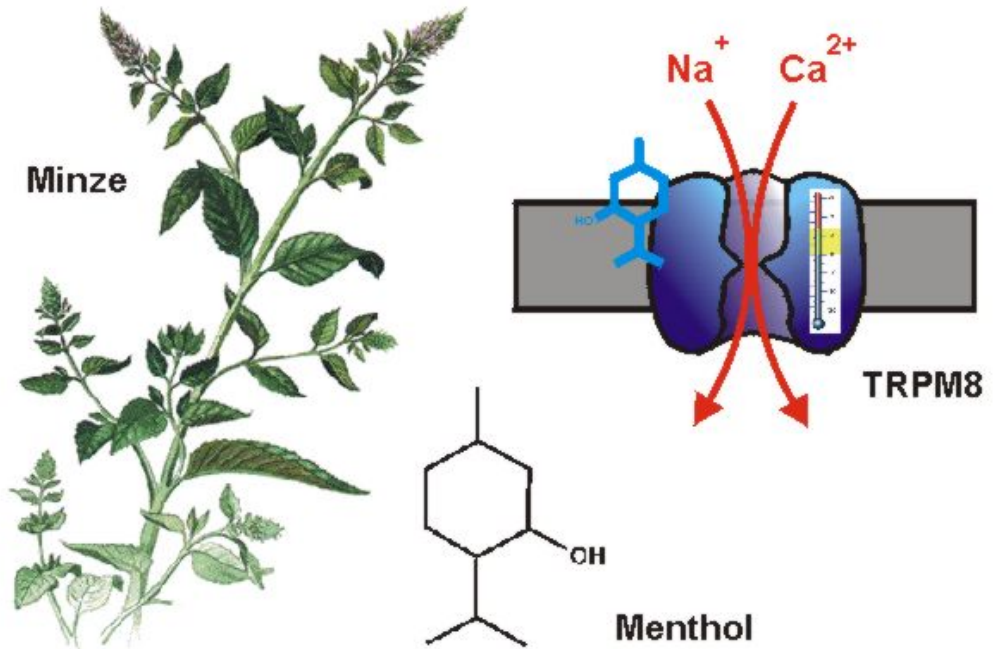
Kaltsensoren reagieren mit einem Anstieg der Entladungsfrequenz, wenn die Haut von einer als neutral empfundenen Temperatur (34 °C) aus abgekühlt wird. Bei starker Abkühlung schalten diese Sensoren in einen Burstmodus - Aktionspotentiale werden in Gruppen (Bursts) gefeuert, die durch Perioden ohne Aktivität getrennt sind.



Die Transduktionskanäle

Die sensorischen Endigungen der Kaltsensoren reagieren nicht nur auf Temperaturänderung sondern auch auf chemische Stimulation. Menthol, der Hauptbestandteil des Pfefferminzöls, bringt Kaltsensoren zum Feuern und erzeugt dadurch eine Kälteempfindung.

Durch die Verwendung von Menthol in dem Bioassay für eine Expressionsklonierung konnte ein Ionenkanal identifiziert werden, der sowohl durch Abkühlung als auch durch Menthol geöffnet wird. Dieser Kanal, TRPM8, ist wahrscheinlich das thermosensitive Protein, das die Kaltrezeptoren befähigt, auf Abkühlung zu reagieren. TRPM8-Kanäle werden in den sensorischen Endigungen der Kaltrezeptoren exprimiert und bei Abkühlung der Haut geöffnet. Sie leiten dann Kationen in die Nervenfaser, depolarisieren die Membran und lösen Aktionspotentiale aus.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

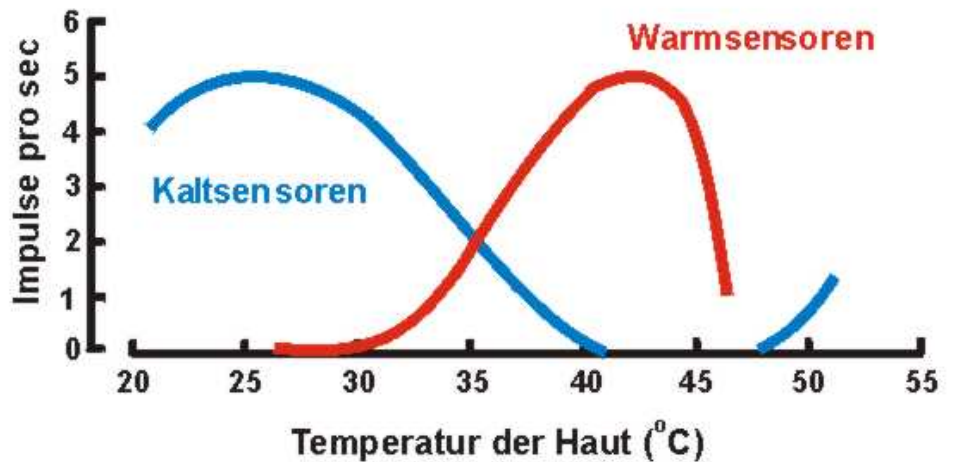
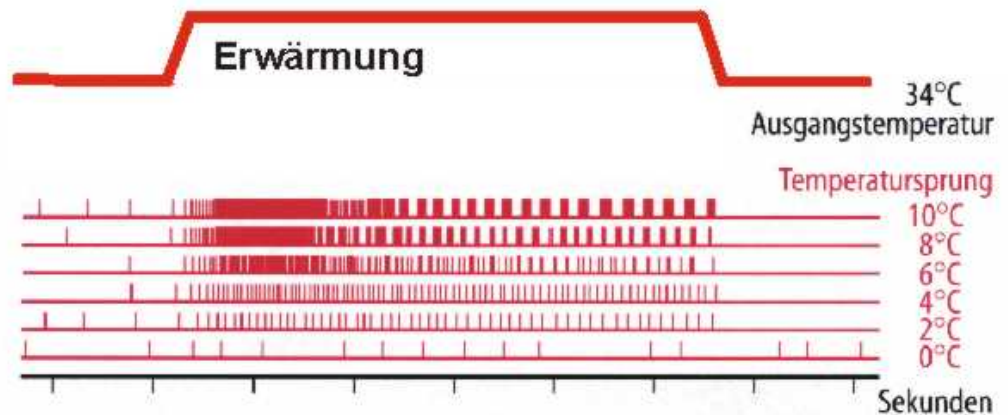
Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Warmsensoren

Information über die Hauttemperatur gelangt von zwei unterschiedlichen Populationen von Thermosensoren zum Gehirn: Kaltsensoren und Warmsensoren.

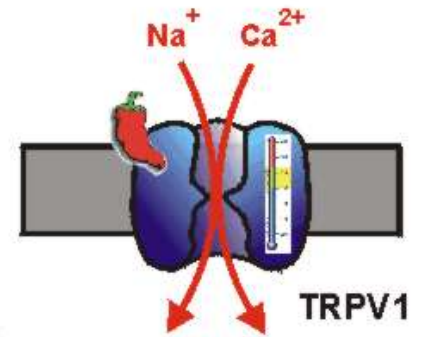
Warmsensoren reagieren auf Erwärmung über die neutrale Hauttemperatur mit einem Anstieg der Entladungsfrequenz. Bei Temperaturen über 45 °C übernehmen Schmerzrezeptoren die Wahrnehmung von gewebschädlicher Hitze.



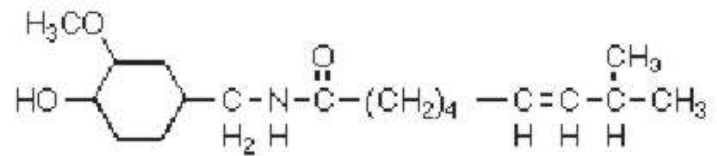
Die Transduktionskanäle

Capsaicin, der scharf-schmeckende Bestandteil von Paprika und Chili-Früchten, ist ein chemischer Agonist von Warmsensoren. Bei Kontakt von Capsaicin mit den sensorischen Endigungen der Sinneszellen wird deshalb eine starke Wärmeempfindung (Hitzeschmerz) ausgelöst. Für die Pflanzen bietet Capsaicin damit einen gewissen Schutz gegen Fraßfeinde (Vögel, die für die Verbreitung des Pflanzensamens gebraucht werden, sind Capsaicin-unempfindlich).

Capsaicin hat die Identifizierung des wärmeempfindlichen Rezeptors in den Warmsensoren ermöglicht: Ionenkanäle, die von dem Protein TRPV1 gebildet werden, können sowohl durch Erwärmung als auch durch Capsaicin geöffnet werden. Diese Kanäle leiten einen Kationenstrom in die sensorischen Endigungen der Warmsensoren und lösen so die elektrische Erregung aus.



Capsaicin



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Die Sinne der Haut

I. Berührungs- und Temperatursensoren

II. der Weg ins Gehirn

Themen:

- [Das größte Sinnesorgan des Menschen](#)
- [Die Vielfalt der Mechanosensoren](#)
- [Pacini-Körperchen](#)
- [Ruffini-Körperchen](#)
- [Meissner-Körperchen](#)
- [Haarfollikel-Sensoren](#)
- [Kaltsensoren](#)
- [Warmsensoren](#)
- [Zusammenfassung](#)

Zusammenfassung Sinneszellen der Haut

- Die Haut besitzt eine Vielzahl unterschiedlicher Sinneszellen für die Detektion mechanischer Reize.
- Unterschiedliches Adaptationsverhalten bestimmt die sensorischen Eigenschaften der einzelnen Sensoren
- Die Sensorendichte bestimmt die Empfindlichkeit der Haut
- Die Hauttemperatur wird von Kalt- und Warmsensoren gemessen.
- Die Kaltsensoren besitzen Menthol-aktivierbare, Temperatur- gesteuerte Ionenkanäle.
- Die Warmsensoren werden durch Capsaicin-aktivierbare, Temperatur-gesteuerte Ionenkanäle erregt.