

# Sensorische Physiologie: Hintergrund

Im Allgemeinen werden fünf Sinne beschrieben: Sehsinn, Hörsinn, Geschmackssinn, Geruchssinn und Tastsinn (bzw. visuelle, auditive, gustatorische, olfaktorische und taktile Wahrnehmung). Dies ist jedoch eine starke Vereinfachung. Weitere sensorische Modalitäten umfassen Temperaturempfinden, Schmerzempfinden, Vibrationswahrnehmung und kinästhetische Wahrnehmung (Propriozeption).

Einer im Großen und Ganzen akzeptablen Definition zufolge ist ein Sinn „ein System, das sich aus einem oder mehreren sensorischen Zelltypen zusammensetzt, die auf eine bestimmte Art von physischer Energie reagieren und einer oder mehreren definierten Regionen im Gehirn entsprechen, in denen die Signale empfangen und interpretiert werden“. Jeder Sinn funktioniert im Grunde genommen auf dieselbe Weise: Ein **Reiz** wird von einer spezialisierten **Rezeptorzelle** wahrgenommen, die direkt (wenn der Rezeptor Teil eines Neurons ist) oder indirekt (durch Ausschüttung von Neurotransmittern) ein **sensorisches Neuron** aktiviert. Einige dieser Rezeptoren sind in der Lage, sich an Reize zu „adaptieren“. Unter „Adaptation“ ist ein Prozess zu verstehen, bei dem ein sensorisches System gegenüber einer kontinuierlichen Reizquelle unempfindlich wird. Viele taktile Rezeptoren, z. B. Hautrezeptoren, adaptieren sich sehr schnell, was ja auch durchaus wünschenswert ist. Andernfalls würden wir es gar nicht aushalten können, Kleidung auf der Haut zu tragen. Die meisten Nozizeptoren (Schmerz) sind nicht adaptionsfähig. Daher müssen Medikamente wie Actaminophen, Morphin usw. eingesetzt werden, um das Schmerzsignal an das Gehirn zu unterdrücken. Diese fehlende Adaptionsfähigkeit ist für Rezeptoren, die uns vor unserer Umgebung schützen sollen, unerlässlich.

## Sehsinn

Als „Sehsinn“ bzw. **visuelle Wahrnehmung** wird im Allgemeinen die Fähigkeit bezeichnet, elektromagnetische Energie wahrzunehmen. Der sichtbare Bereich (häufig auch „sichtbares Spektrum“ genannt) beträgt beim Menschen ungefähr 380 nm bis 750 nm.

Das Sehvermögen einiger Insekten geht wesentlich tiefer in den ultravioletten Bereich hinein als bei Säugetieren und einige Schlangen besitzen Organe, mit denen sie Infrarotlicht (Körperwärme) erkennen können, das von ihrer Beute abgestrahlt wird. Dieser Sinn ist jedoch als zusätzliche Fähigkeit zu verstehen bzw. vom normalen Sehvermögen zu unterscheiden. Das Gehirn interpretiert das Bild, das von den Fotorezeptorzellen im Auge erfasst wird, als „Sehen“. Das Auge eines Säugetiers enthält zwei Arten von Zellen: **Zapfen**, die in erster Linie für die Farbwahrnehmung zuständig sind, und **Stäbchen**, die für die Kontrastauflösung (hell/dunkel) benötigt werden. Die Zapfen sind hauptsächlich in der **Fovea** zu finden, dem Bereich mit der größten Sehschärfe. Stäbchen sind dort zwar nicht vorhanden, dafür aber relativ gleichmäßig über die übrige Retina verteilt.

Auf der **Papille**, an der die Nerven und retinalen Blutgefäße ein- und austreten, befinden sich keine Rezeptoren. Daher wird sie häufig auch als „blinder Fleck“ bezeichnet.

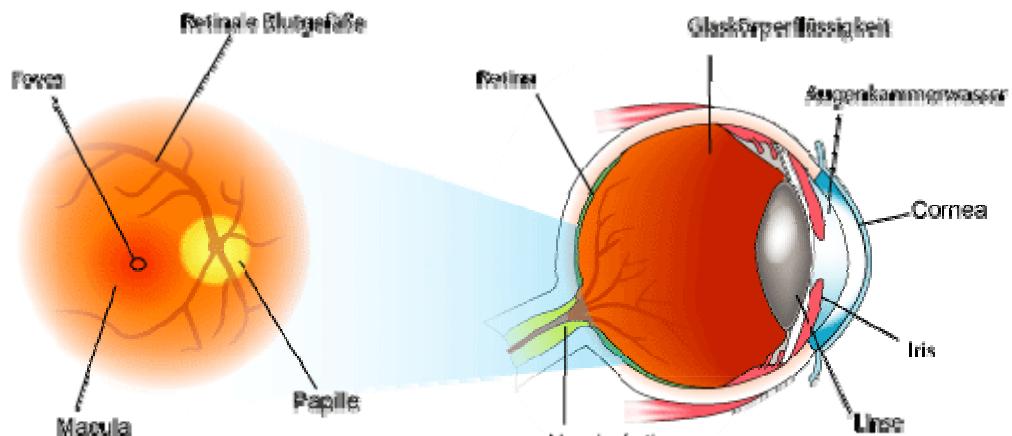


Abbildung. 1. Die Retina.

### Saccadische Unterdrückung

Wenn sich das Auge ruckartig von einem Objekt zum nächsten bewegt, würde man normalerweise erwarten, dass die Sicht verschwimmt. Ein Beobachter kann die Bewegung Ihrer Augen wahrnehmen, Sie selbst können dies jedoch nicht. Während der raschen Bewegung unterbricht der Sehnerv die Übertragung visueller Informationen. Dieses Phänomen wird als „saccadische Unterdrückung“ bezeichnet (eine „Saccade“ ist eine extrem schnelle Augebewegung).

### Farbsinn

Unsere Augen sind mit drei Sätzen von Zapfen ausgestattet, die auf Lichtwellenlängen von 564 nm (rot), 534 nm (grün) und 420 nm (blau) besonders empfindlich reagieren.

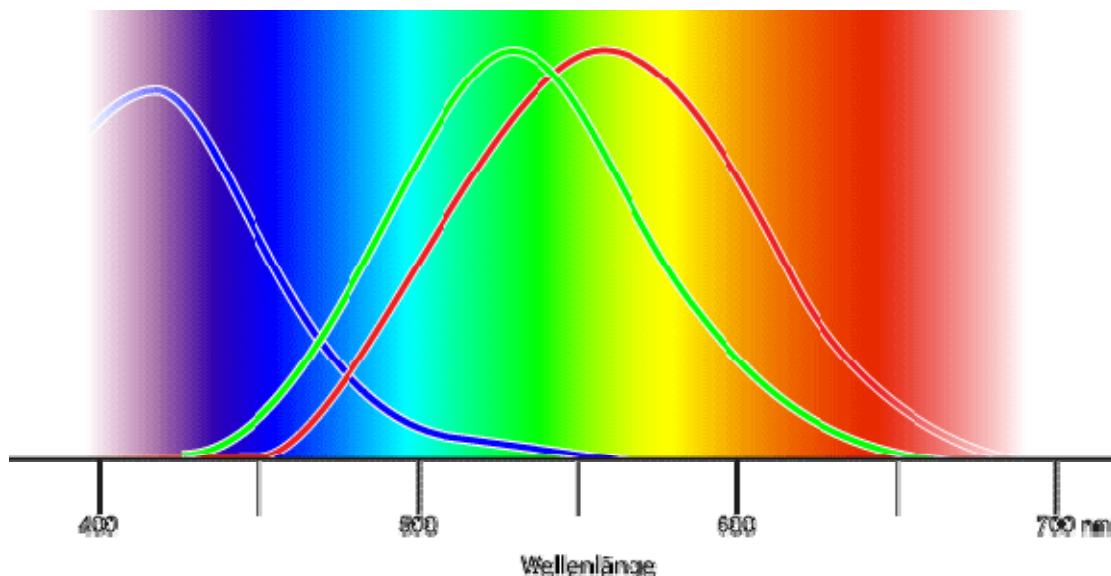


Abbildung 2. Das Sehspektrum.

Bei Wellenlängenbereichen von 380 nm bis 750 nm werden einer oder mehrere dieser Sensoren erregt. Unsere Farbwahrnehmung hängt somit davon ab, wie stark die verschiedenen Sensoren reagieren.

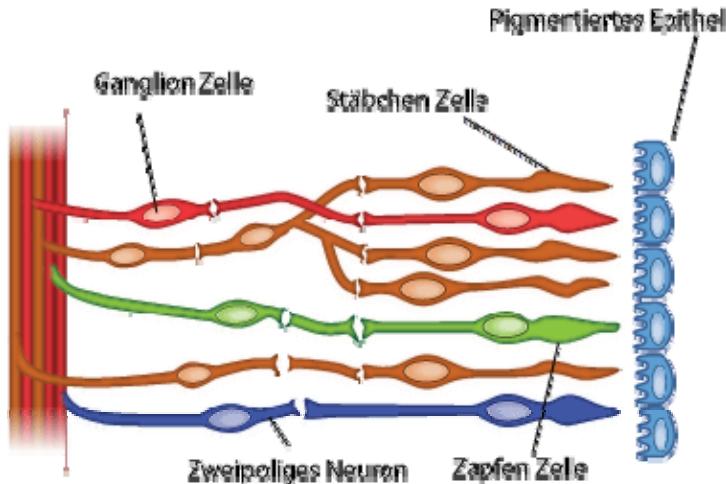


Abbildung 3. Retinale Zellen.

Bei farbenblind Menschen fehlt mindestens einer der Zapfensätze oder sie besitzen Zapfen, die auf andere Spitzenfrequenzen reagieren. Kongenitale Farbsehschwächen betreffen überwiegend die Rot- oder Grünzapfen. Diese Fehlsichtigkeit ist allgemein als Rotgrünblindheit bekannt, da sie die Fähigkeit, zwischen diesen beiden Farben zu unterscheiden, beeinträchtigt. Die mit den Blauzapfen zusammenhängende Gelbblaublindheit ist wesentlich seltener. Völlige Farbenblindheit und Unempfindlichkeit gegenüber blauem Licht kommen relativ selten vor.

Ein Defekt in den Rotzapfen wird als **Protan** bezeichnet. Menschen mit gestörter Rotzapfenfunktion leiden an **Protanomalie**. Bei einem vollständigen Fehlen der Rotzapfen spricht man von **Protanopie**.

Ein Defekt in den Grünzapfen wird als **Deutan** bezeichnet. Menschen mit gestörter Grünzapfenfunktion leiden an **Deuteranomalie**. Bei einem vollständigen Fehlen der Grünzapfen spricht man von **Deutanopie**.

Ein Defekt in den Blauzapfen wird als **Tritan** bezeichnet. Eine Funktionsstörung der Blauzapfen wurde noch nicht beobachtet. Bei einem vollständigen Fehlen der Blauzapfen spricht man von **Tritanopie**.

## Hörsinn

Als „Hörsinn“ bzw. **auditive Wahrnehmung** wird die Fähigkeit bezeichnet, über feine Haarfasern im Innenohr akustische Reize wahrzunehmen, die das Trommelfell in Schwingung versetzen. Menschen mit perfektem Gehör können Schwingungen im Bereich

von 20 bis 20.000 Hz wahrnehmen. Akustische Reize lassen sich zum Teil aber auch als Schwingungen über die taktilen Sinne des Körpers wahrnehmen. Schwingungen, die in einem Frequenzbereich unter- oder oberhalb der Hörschwelle liegen, sind nur auf diese Weise wahrnehmbar. Eine genaue Analyse des Hörsinns erfordert zusätzliche Geräte und Sicherheitsvorkehrungen und ist nicht Bestandteil dieser Experimentreihe.

## Geschmackssinn

Der Geschmackssinn bzw. die **gustatorische Wahrnehmung** gehört zu den beiden wichtigsten „**chemischen**“ Sinnen. Wie allgemein bekannt, besitzt die Zunge mindestens vier Arten von „**Geschmacksknospen**“ (Rezeptoren). Da jede von ihnen Informationen an eine etwas andere Region des Gehirns weiterleitet, vertreten manche Anatomen die Ansicht, dass sie mindestens vier verschiedenen Sinnen zuzuordnen sind. Die vier allgemein bekannten Rezeptoren nehmen die Geschmacksqualitäten süß, salzig, sauer und bitter wahr. Die Existenz eines fünften Rezeptors zur Wahrnehmung der Aminosäure Glutamat wurde vor kurzem bestätigt. Dieser so genannte „Umamirezeptor“ dient zur Wahrnehmung eines Geschmacks, der im Allgemeinen in Fleisch und künstlichen Aromen (z. B. Mononatriumglutamat) vorkommt. Der eigentliche „Geschmackssinn“ besteht aus einer Kombination von Geschmacksrezeptoren, olfaktorischen Rezeptoren, taktilen Elementen (Mundgefühl), Temperatur und Aussehen. Was unappetitlich aussieht, nehmen wir auch nicht in den Mund.

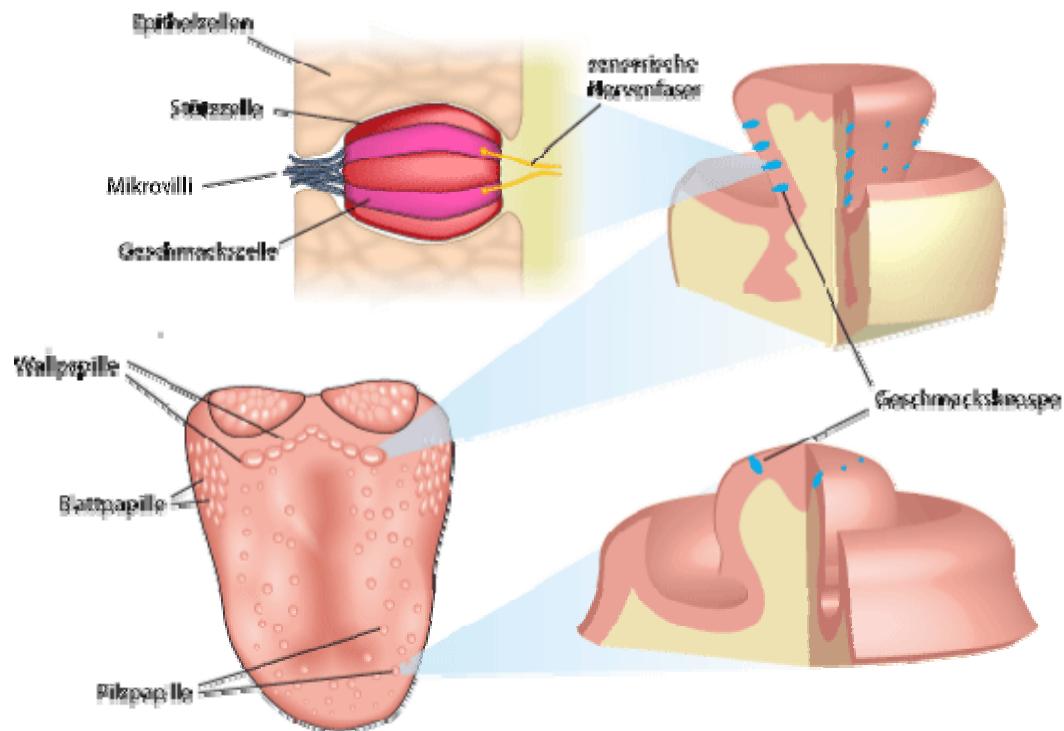


Abbildung 4. Geschmacksknospen.

## Geruchssinn

Der Geruchssinn bzw. die **olfaktorische Wahrnehmung** ist der andere „chemische“ Sinn. Es gibt Hunderte von **olfaktorischen Rezeptoren** (Abbildung 3), von denen jeder an eine bestimmte molekulare Funktion gebunden ist. Alle diese Rezeptoren befinden sich in einer speziellen Region im Dach der Nasenhöhle. Jedes Rezeptorneuron spricht auf ein ganz bestimmtes Duftmolekül an und löst ein Aktionspotenzial aus. Für die Erforschung des olfaktorischen Systems erhielten Richard Axel und Linda Buck im Jahre 2004 den Nobelpreis für Medizin. Sie beschrieben die große Familie der rund 1.000 Gene, die für die Geruchsrezeptoren zuständig sind, und erläuterten die Zusammenhänge zwischen Rezeptoren und Gehirn. Diese werden in den heutigen Experimenten indirekt analysiert.

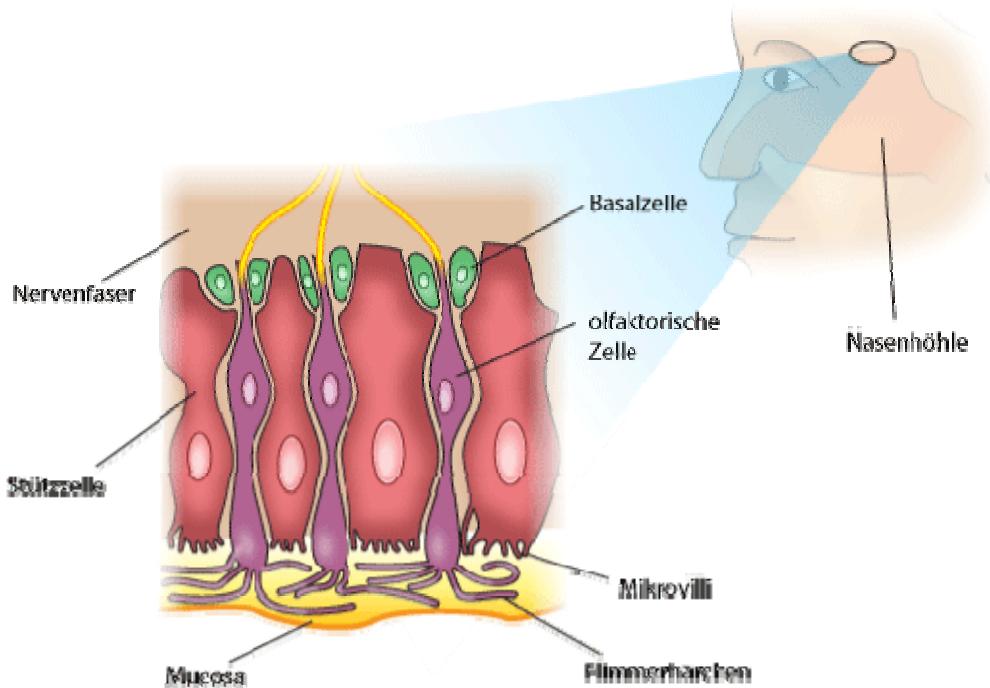


Abbildung 5. Riechzellen.

## Tastsinn

Der Tastsinn bzw. die **taktile Wahrnehmung** dient zur Erfassung von Druckreizen. Es gibt verschiedene Arten von speziellen taktilen Rezeptoren in der Haut (Abbildung 4), den Muskeln und den Eingeweiden. Diese reichen von einfachen Nervenenden in Haarfollikeln bis hin zu den relativ komplexen, in Gewebe eingebetteten Vater-Pacini-Körperchen. Es wird angenommen, dass jede Rezeptorenart auf verschiedene Druckstärken und -frequenzen reagiert.

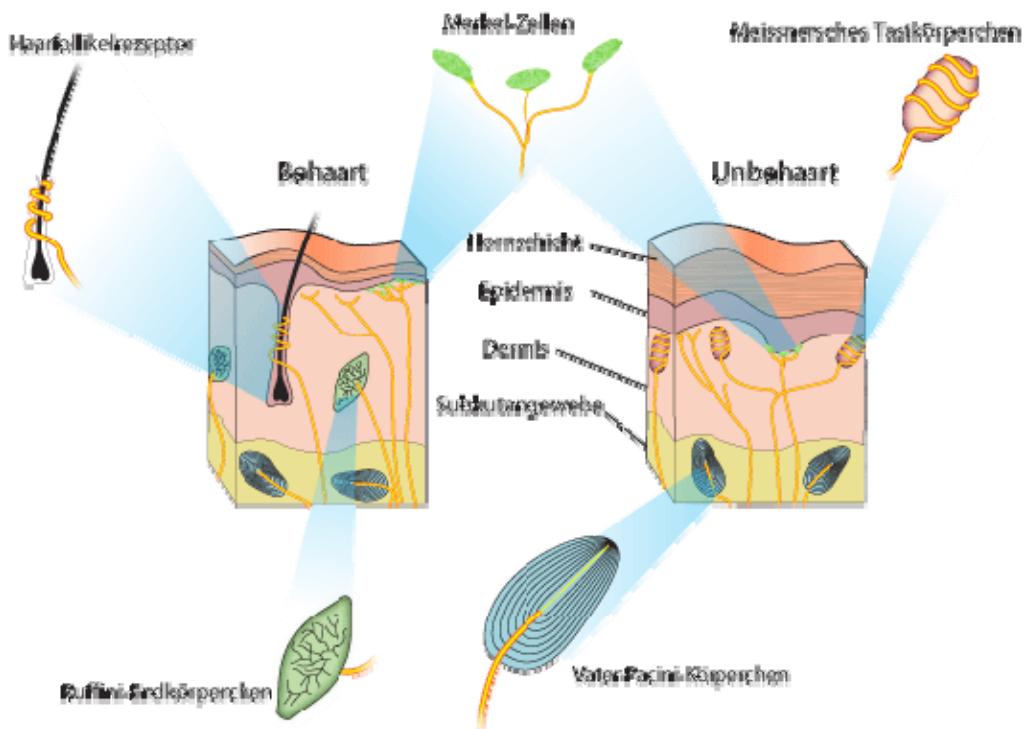


Abbildung 6. Hautrezeptoren.

## Schmerz

Die Wahrnehmung von Schmerz wird als **Nozizeption** bezeichnet. Der Begriff „Schmerz“ bezieht sich tatsächlich auf eine Gefühlswahrnehmung als Reaktion auf Reize, die voraussichtlich eine Beschädigung von Gewebe zur Folge haben. Schmerz ist eine adaptive Interpretation des Reizes, nicht der Reiz selbst. Im Allgemeinen lassen sich zwei Arten von Schmerz unterscheiden. „Schneller Schmerz“ wird vom verletzten Gewebe über myelinisierte A-Delta-Fasern übertragen. Solch ein scharfer Schmerz ist beispielsweise zu spüren, wenn man sich den Finger in einer Tür klemmt. Darauf folgt ein anhaltendes dumpfes Schmerzgefühl, der so genannte „langsame Schmerz“. Er wird über nicht myelinisierte C-Fasern an das zentrale Nervensystem übertragen. Nozizeptoren bestehen aus freien Nervenenden, die in Haut, Muskeln, Gelenken und Eingeweiden eingebettet sind und auf chemische, thermische oder mechanische Reize reagieren. Aus offensichtlichen Gründen werden wir diesen Sinn heute nicht untersuchen.

## Temperatur

Die Wahrnehmung von Wärme und Kälte (die Abwesenheit von Wärme) wird als **Thermozeption** bezeichnet. Kaltrezeptoren reagieren empfindlich auf Temperaturen unter 37°C und Warmrezeptoren auf Temperaturen von 37°C bis ungefähr 45°C. Bei noch höheren Temperaturen werden die Nozizeptoren aktiviert. Temperaturrezeptoren sind in den subkutanen Hautschichten zu finden. Die Rezeptoren adaptieren (d. h. reagieren weniger empfindlich) zwischen 20°C und 40°C. Daher fühlt sich beispielsweise ein kühler klimatisierter Raum nach kurzer Zeit nicht mehr „kalt“ an. Da diese Rezeptoren bei hohen und niedrigen Temperaturen nicht adaptieren, helfen sie temperaturbedingte

Gewebeverletzungen zu vermeiden. Die homeostatischen Thermozeptoren, die Rückmeldungen zur internen Körpertemperatur liefern, funktionieren jedoch ganz anders. Sie befinden sich in der Nähe des Hypothalamus im Gehirn und sind für die Regulierung des inneren „Thermostats“ zuständig.

## Gleichgewichtssinn

Der **Gleichgewichtssinn** dient zur Wahrnehmung des Gleichgewichts und hängt mit dem **Vestibularapparat** im Innenohr zusammen (Abbildung 5). Es herrscht Uneinigkeit darüber, ob der Richtungs- bzw. Orientierungssinn ebenfalls zum Gleichgewichtssinn gehört. Die meisten Wissenschaftler gehen im Allgemeinen davon aus, dass die „Richtung“ eine postsensorische kognitive Bewusstseinsempfindung ist. Der Vestibularapparat setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen: den **Bogengängen**, die mit Flüssigkeit (Endolymphe) gefüllt sind und zur Wahrnehmung von Drehbewegungen des Kopfes dienen, sowie dem **Utriculus** und dem **Sacculus** zur Wahrnehmung von linearer Beschleunigung und Schwerkraft. Jede Bogengangampulle enthält einen Rezeptorapparat, die **Crista ampullaris**. Diese besteht aus einem gelatineartigen, keilförmigen Gebilde, das die Ampulle verschließt und das Austreten von Endolymphe verhindert. Die Zilien der Rezeptorzellen sind in diesem Gel eingebettet. Wenn sich der Kopf bewegt, verformt sich das Gel, sodass sich die Zilien biegen. Auf diese Weise werden Drehbewegungen des Kopfes erfasst. Utriculus und Sacculus enthalten otolithische Organe. Die Zilien der Rezeptorzellen sind in ein Gel eingebettet, das auch Kalziumkarbonatkristalle enthält, die so genannten „Otolithen“. Das Gewicht der Otolithen ermöglicht die Wahrnehmung der Schwerkraft.

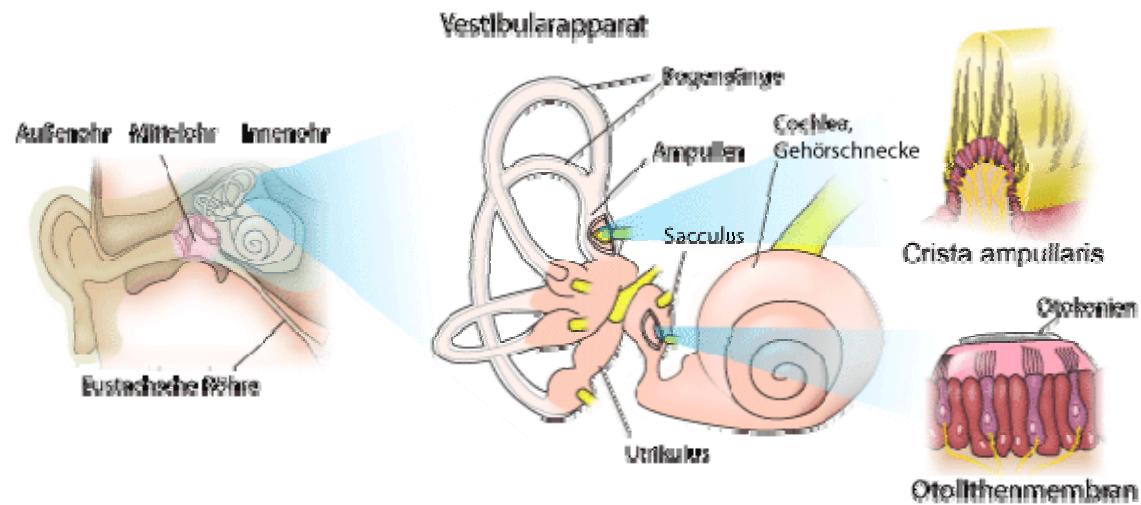


Abbildung 7. Der Vestibularapparat.

## Propriozeption

Die **Propriozeption** oder kinesthetische Wahrnehmung ist die Eigenwahrnehmung des Körpers. Der Mensch ist stark abhängig von diesem Sinn, ohne sich dessen jedoch bewusst zu sein. Die Propriozeption lässt sich eher zeigen als erklären. Mit ihrer Hilfe nehmen wir im „Unterbewusstsein“ die Lage der verschiedenen Regionen in unserem Körper wahr. Zur

Veranschaulichung dieses Phänomens schließen Sie einfach die Augen und bewegen eine Hand oder einen Fuß. Dehrezeptoren in Gelenken und Muskeln übermitteln diese dreidimensionalen Informationen zurück an das Gehirn. Bei ordnungsgemäßer propriozeptiver Funktion sind Sie sich stets bewusst, wo sich die Extremität befindet, auch wenn sie nicht von den anderen Sinnen wahrgenommen wird.

## **Zusammenfassung**

Je nach Klassifizierungsmethode besitzt der Mensch 9 bis 21 Sinne. Außerdem gibt es einige weitere physiologische Erfahrungen, die u. U. in die oben stehende Klassifizierung fallen (z. B. das sensorische Hunger- und Durstgefühl).

[Zurück zum Anfang](#)

## **Übung 1: Konvergenz des Blicks**

1. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen bei der Übung zur Konvergenz des Blicks.
2. Was ist unter „Binokularsicht“ zu verstehen? Warum ist sie Ihrer Meinung nach nützlich?

## **Übung 2: Akkommodation (Fokussierung)**

### **Studienfrage**

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.
2. Was geschieht im Auge, wenn es von einem entfernten zu einem nahen Gegenstand wechselt, um den Gegenstand fokussieren zu können?

## **Übung 3: Saccadische Unterdrückung**

1. Beschreiben und erläutern Sie hier Ihre Beobachtungen.

## **Übung 4: Der blinde Fleck**

1. Was schließen Sie aus Ihren Ergebnissen?
2. Welche anatomische Grundlage hat der blinde Fleck?

## **Übung 5: Mechanische Reizung der Retina**

1. Was haben Sie bei der mechanischen Reizung Ihrer Retina beobachtet?

## **Übung 6: Das positive Nachbild**

1. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen bei der Übung zum positiven Nachbild.

## **Übung 7: Das negative Nachbild**

1. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen bei der Übung zum negativen Nachbild.
2. Welche Schlüsse können Sie aus den Ergebnissen der Nachbildübungen in Bezug auf die Reaktionszeit von Fotorezeptoren auf Licht ziehen?

## **Übung 8: Retinale Blutgefäße**

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.
2. Was ist angesichts der Anzahl von Blutgefäßen in der Retina Ihrer Meinung nach der Grund dafür, dass Sie sie nicht normal sehen können?

## **Übung 9: Visuelle Informationen**

1. Wen haben Sie gesehen?

## **Übung 10: Optische Täuschungen**

1. Beschreiben Sie, was Sie in Abbildung 1 gesehen haben.
2. Beschreiben Sie, was Sie in Abbildung 2 gesehen haben.
3. Beschreiben Sie, was Sie in Abbildung 3 gesehen haben.

## **Übung 11: Farbenblindheit**

1. Beschreiben Sie, welche Farbdefizite bei der jeweils dargestellten Art von Farbenblindheit vorliegen.

## **Übung 12: Zweipunktdiskriminierung**

### **Studienfrage**

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.
2. An welcher Stelle war die taktile Diskriminierung am besten? Welche Aussage können Sie über die Dichte von taktilen Rezeptoren an Ihrem Arm machen?

## **Übung 13: Taktile Täuschung**

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.

## **Übung 14: Thermische Täuschung**

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.

## **Übung 15: Geschmack und Geruch**

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.

## Übung 16: Verteilung der Geschmacksknospen

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.
2. Welche Aussage können Sie angesichts Ihrer Ergebnisse über die Verteilung der verschiedenen Arten von Geschmacksrezeptoren machen?

## Übung 17: Die kinesthätische Wahrnehmung

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.

## Übung 18: Die Bogengänge

1. Beschreiben Sie hier Ihre Beobachtungen.
2. War es einfach, die Richtung zu bestimmen, während sich der Stuhl drehte und nachdem er angehalten wurde? Erläutern Sie Ihre Beobachtungen.

### Quiz:

1. e touch receptors located very close to the skin surface
  - A. Thare relatively insensitive to light touch.
  - B. adapt very quickly to stimuli.
  - C. are uniformly distributed throughout the surface of the body.
  - D. are called Pacinian corpuscles.
  - E. adapt slowly and only partially to stimuli.
2. Which statement about sensory systems is not true?
  - A. Sensory transduction involves the conversion (direct or indirect) of a physical or chemical stimulus into an action potential in a sensory neuron.
  - B. Sensory adaptation plays a role in the ability of organisms to discriminate between important and unimportant information.
  - C. The term “adaptation” refers to the process by which a sensory system becomes insensitive to a continuing source of stimulation.
  - D. The more intense a stimulus, the greater the magnitude of each action potential fired by a sensory neuron.
3. Which receptor in muscles, tendons, and ligaments inform the central nervous system of the position of and loads on parts of the body?
  - A. Stretch
  - B. Hair cell
  - C. Chemoreceptor
  - D. Photoreceptor
4. An electrode is inserted into a chemosensory nerve leading away from a taste bud in the mouth of a dog. A mild acid solution is then flushed continuously over the taste buds

associated with this nerve. Initially the nerve responds to this stimulation but over time ceases to carry action potentials. This observation would best be explained by:

- A. translocation.
  - B. adaptation of the sensory cells.
  - C. lack of neurotransmitter in the sensory nerve.
  - D. second messenger influences that increase cell membrane potentials.
5. Vertebrates rely on information from which sensory structure to keep their balance?
- A. Eustachian tube
  - B. Ear drum
  - C. Semicircular canal
  - D. Statocyst
  - E. Tympanic membrane