

# Sinnesorgane

*QUOD SENSUS OSTENDIT, ID CREDIT ANIMUS!* (WAS DIE AUGEN SEHEN, GLAUBT DAS HERZ !)

## Inhaltsverzeichnis

Folien Seite A.S. Seite R.

Modelle: Ohr, Auge

<b>ALLGEMEIN .....</b>	<b>2</b>		
SENSIBILITÄT .....	2		
REZEPTOREN .....	2		
PRIMÄRE UND SEKUNDÄRE SINNESZELLEN.....	2		
REZEPTORENREAKTIONEN .....	2		
<b>DIE HAUT.....</b>	<b>3</b>		
BERÜHRUNGS- UND TASTEMPFINDEN .....	3		
SCHMERZEMPFINDUNGEN.....	4		
<i>Schmerzentstehung.....</i>	<i>4</i>		
<i>Schmerzcharakteristika.....</i>	<i>4</i>		
DIE TIEFENSENSIBILITÄT .....	6		
<b>GERUCHS- UND GESCHMACKSSINN.....</b>	<b>7</b>		
DIE RIECHFELDER.....	7		
DIE RIECHBAHN.....	7		
DER GESCHMACKSSINN.....	8		
DIE GESCHMACKSREZEPTOREN.....	8		
<i>Die Reizung der Geschmacksrezeptoren.....</i>	<i>8</i>		
DIE GESCHMACKSBAHN .....	9		
<b>DAS AUGE.....</b>	<b>9</b>		
DER AUGAPFEL .....	9		
<i>Die äußere Augenhaut .....</i>	<i>9</i>		
<i>Die mittlere Augenhaut.....</i>	<i>10</i>		
<i>Das Kammerwasser .....</i>	<i>10</i>		
<i>Das Glaukom .....</i>	<i>10</i>		
<i>Iris und Pupille .....</i>	<i>11</i>		
<i>Die innere Augenhaut .....</i>	<i>11</i>		
<i>Netzhautablösung.....</i>	<i>11</i>		
<i>Netzhautgefäße.....</i>	<i>11</i>		
HISTOLOGIE UND PHYSIOLOGIE DER NETZHAUT .....	12		
<i>Zapfen und Stäbchen.....</i>	<i>12</i>		
DIE LINSE .....	13		
<i>Katarakt.....</i>	<i>13</i>		
<i>Arcus senilis.....</i>	<i>13</i>		
DER GLASKÖRPER.....	13		
DIE SEHFUNKTION.....	13		
<i>Die Optik.....</i>	<i>14</i>		
<i>Die Brechkraft des Auges.....</i>	<i>14</i>		
<i>Visusprüfung.....</i>	<i>15</i>		
AKKOMMODATION .....	15		
DER PUPILLENREFLEX .....	15		
DIE KONVERGENZREAKTION .....	15		
		FEHLSICHTIGKEITEN .....	16
		<i>Altersweitsichtigkeit.....</i>	<i>16</i>
		<i>Kurzsichtigkeit.....</i>	<i>16</i>
		<i>Weitsichtigkeit.....</i>	<i>16</i>
		<i>Astigmatismus.....</i>	<i>16</i>
		<i>Blindheit .....</i>	<i>16</i>
		DIE STIMULATION DER PHOTOREZEPTOREN .....	17
		<i>Die Erregung der Stäbchen .....</i>	<i>17</i>
		<i>Die Erregung der Zapfen.....</i>	<i>17</i>
		<i>Die Dunkeladaptation.....</i>	<i>17</i>
		<i>Die Helladaptation .....</i>	<i>18</i>
		<i>Farbenblindheit .....</i>	<i>18</i>
		DIE SEHBAHN .....	18
		DIE ÄUßEREN AUGENMUSKELN .....	18
		<i>Schielen.....</i>	<i>19</i>
		DIE SCHUTZEINRICHTUNGEN DES AUGES .....	19
		<b>DAS HÖR- UND GLEICHGEWICHTSORGAN... 19</b>	
		DAS ÄUßERE OHR.....	19
		DAS MITTELOHR .....	20
		<i>Die Ohrtrumpete.....</i>	<i>20</i>
		<i>Die Gehörknöchelchen .....</i>	<i>20</i>
		DAS INNENOHR .....	21
		<i>Die Schnecke.....</i>	<i>21</i>
		DER SCHALL .....	21
		DIE PHYSIOLOGIE DES HÖRENS .....	22
		PATHOLOGIE.....	23
		<i>Otosklerose .....</i>	<i>23</i>
		<i>Akustisches Trauma .....</i>	<i>23</i>
		<i>Altersschwerhörigkeit.....</i>	<i>23</i>
		DAS GLEICHGEWICHTSORGAN.....	24
		<i>Utriculus und Sacculus.....</i>	<i>24</i>
		<i>Die Bogengänge .....</i>	<i>24</i>

## Allgemein

### Sensibilität

Unter **Sensibilität** versteht man die Fähigkeit, Veränderungen in der Umwelt oder im Körperinnern über Sinnesorgane wahrzunehmen. Die Sinnesorgane übermitteln dabei dem Menschen Informationen über die Umwelt und sich selbst.

Der Prozeß des Bewußtwerdens von Sinneseindrücken verläuft in den folgenden Phasen:

- Ein Reiz trifft zunächst auf einen **Sinnesrezeptor** und erregt ihn.
- Dadurch werden **Nervenimpulse** ausgelöst, die zum Rückenmark und/oder zum Gehirn geleitet werden.
- Jede Sekunde treffen im ZNS ca. 1 Million Rezeptorsignale ein. Diese Menge von Signalen muß im **Thalamus** gefiltert werden.
- Nur die wirklich wichtigen Signale werden schließlich in der **Großhirnrinde** bewußt.

*Beispiel: Nachts nehmen wir in der Regel Verkehrslärm oder Regengüsse nicht wahr, da sie nicht wichtig sind. Dagegen weckt uns das Zerspringen einer Fensterscheibe sofort auf.*

S. 202 U.

### Rezeptoren

Rezeptoren sind spezialisierte Zellen, die von spezifischen inneren oder äußeren Reizen erregt werden und daraufhin elektrische oder chemische Impulse abgeben. Ein ausreichend starker Reiz bewirkt an dem Rezeptor eine Veränderung des Membranpotentials (*Generatorpotential: Wenn das Membranpotential einen bestimmten Schwellenwert erreicht, wird ein Aktionspotential ausgelöst. Wenn nämlich die Synapsen, die sich auf den Dendriten und dem Zellkörper befinden, aktiv werden, dann ändern sie das Membranpotential ihrer Empfängerzelle.*)

Wenn das Generatorpotential *überschwellig* ist, so wie in Fall 2 und 3 der Abbildung, löst es an der angeknüpften Nervenzelle Aktionspotentiale aus, die über deren Axon fortgeleitet werden.

S. 202 O.

### Primäre und sekundäre Sinneszellen

Rezeptoren sind unterschiedlich aufgebaut. Sie können als freie Nervenendigungen im Gewebe liegen oder zusammen mit anderen spezialisierten Zellen komplexe Sinnesorgane bilden.

Man unterscheidet **primäre** und **sekundäre Sinneszellen**. Die primären Sinneszellen leiten ihre Impulse über eigene Axone ab d.h. sie sind Rezeptor und Sinneszelle in einem. Sekundäre Sinneszellen sind dagegen mit Dendriten mehrerer Nervenzellen verknüpft.

### Rezeptorenreaktionen

Die Rezeptoren reagieren jeweils spezifisch auf eine bestimmte Qualität.

- **Mechanorezeptoren** registrieren mechanische Deformierung durch Druck- und Zugkräfte die auf die Rezeptorzelle selbst oder auf ihre Umgebung einwirken. Ein Sonderfall sind die Dehnungsrezeptoren in den Muskelspindeln. (Das klassische Beispiel ist der **Patellarsehnenreflex**: Der Schlag auf die Sehne des M. quadriceps femoris unterhalb der Knie- scheibe bewirkt eine plötzliche Dehnung des Muskels. Dadurch werden die Muskelspindeln, die auch als Dehnungsrezeptoren arbeiten, erregt. Diese Erregung läuft über afferente Nervenfasern und das Hinterhorn zum Rückenmark, wo sie unmittelbar auf die Vorderhornzellen umgeschaltet wird, und es als Folge daraus zur Kontraktion des M. quadriceps femoris mit der daraus resultierenden Streckung des zuvor gebeugten Beins kommt.)
- **Thermorezeptoren** reagieren auf Temperaturveränderungen.
- **Photorezeptoren** reagieren auf Licht.
- **Chemorezeptoren** in Mund und Nase reagieren auf Geschmacks- bzw. Geruchs- stoffe.
- **Nozizeptoren** sprechen bei Schmerzreizen infolge Gewebeschädigungen an (*lat. nocere = schaden*). Schmerzreize können auch von anderen, also inadäquaten Rei- zen, ausgelöst werden. So können beispielsweise laute Geräusche nicht nur als *laut*, sondern u.U. auch als *schmerzhaft* empfunden werden.
- **Bestimmte Chemorezeptoren** registrieren die Konzentration bestimmter Bestand- teile in Körperflüssigkeiten wie Sauerstoff, Kohlendioxid und Glukose.

## Die Haut

S. 203 O.

### Berührungs- und Tastempfinden

In der Haut liegen zahlreiche Sinnesrezeptoren. Sie ermöglichen die Wahrnehmung äuße- rer Gegenstände und auch die Erfahrung der eigenen Körperoberfläche.

Die Hautrezeptoren bestehen aus Dendriten von sensiblen Neuronen, die frei in der Haut enden oder in bindegewebige Strukturen eingebettet sind. Die Erregungen aus den Haut- rezeptoren werden nach mehrfachen Umschaltungen an die sensorischen Rindenfelder in der hinteren Zentralwindung der Großhirnrinde übermittelt.

Die Hautrezeptoren sind je nach Erfordernis auf bestimmte Reizarten spezialisiert.

S. 203 R.

### Mechanorezeptoren:

- **Merkelsche Scheiben**, spezialisierte Hautzellen in haarlosen Gebieten, stehen in Kontakt zu Dendriten sensibler Nervenzellen und werden mechanisch gereizt.
- **Meissnersche Körperchen** kommen, zusammen mit den Merkelschen Scheiben, besonders zahlreich an den Fingerspitzen, Hand- und Fußsohlen, Augenlidern, Lip- pen und äußerem Genitale vor. Sie reagieren ebenfalls auf mechanischen Reiz.
- **Vater-Pacinische Lamellenkörperchen** bestehen aus großen Endkörperchen von Nervenfasern in der Unterhaut für die Wahrnehmung von Vibrationen. Vorkommen an Handteller, Fußsohle, Faszien, Periost, Endsehnen, Blutgefäßen, Mesenterium und äußerem Genitale.

- **Freie Nervenendigungen** sind Dendriten ohne bindegewebige Hülle. Im Gegensatz zu den drei vorgenannten sind sie nicht nur für mechanische Reize, sondern auch für Temperatur- und Schmerzreize sowie Juckreiz empfänglich.

### Thermorezeptoren

Die Thermorezeptoren informieren das ZNS ständig über die Temperaturverhältnisse an der Körperoberfläche und im Körperinnern. Es handelt sich um freie Nervenendigungen z.B. **Ruffini-Körperchen** und **Krause-Endkolben** in der Haut sowie **Neuronen im Hypothalamus** zur Überwachung der Bluttemperatur.

Die einzelnen Rezeptoren sind auf Kälte- oder Wärmereize spezialisiert. Durch das Zusammenspiel der Rezeptoren können Temperaturen von 10°C bis 45°C registriert werden, außerhalb dieses Bereichs werden die *Schmerzrezeptoren* gereizt.

### Schmerzempfindungen

**Schmerzrezeptoren** kommen überall in der Haut und in vielen Regionen im Körperinnern vor. So unangenehm ihre Informationen auch sind, sie sind von großer Bedeutung. Ohne sie würden weder bei einer Gallenkolik noch bei der Berührung von Feuer Schutzmechanismen schwerste Schädigungen oder gar den Tod verhindern.

### Schmerzentstehung

S. 204 L.

Schmerzempfindungen werden über freie Nervenendigungen vermittelt. Es sind die gleichen Rezeptoren, die auch Juck- und Kitzelreize wahrnehmen. Sie reagieren auch auf chemische Reize wie sie z.B. bei Entzündungen durch Prostaglandine oder Histamin vorkommen.

Wenn Schmerzrezeptoren gereizt werden, gelangt der Reiz über gemischte periphere Nerven zunächst zum Rückenmark, wo innerhalb weniger Sekunden **Neuropeptide** wie z.B. Glutamat ausgeschüttet werden. Von dort wird die Erregung über die Vorderseitenstrangbahn des Rückenmarks zum Thalamus und von dort zu den sensorischen Rindenfeldern der Großhirnrinde geleitet.

Dort hemmen allerdings andere, vom Gehirn ausgeschüttete Neuropeptide wie z.B. Endorphine oder das Serotonin die Weiterleitung oder unterdrücken sie ganz. Dieses sogenannte **absteigende Hemmsystem** ist sinnvoll, damit Schmerzreize nicht zur Unterbrechung lebensnotwendiger Handlungen wie z.B. Fluchtreaktionen führen.

### Schmerzcharakteristika

Man teilt Schmerzen je nach Entstehungsort in **somatische** und **viszerale** Schmerzen ein.

**Der somatische Schmerz** ist der Schmerz, der von der Haut, dem Bewegungsapparat oder dem Bindegewebe herrührt. Man unterscheidet zwischen **Oberflächen-** und **Tiefenschmerz**.

Der Oberflächenschmerz hat zwei nacheinander bewußt werdende Anteile:

1. der Anteil, der gut lokalisierbar ist, und der nach Ende des Reizes schnell abklingt. Dieser Schmerzreiz löst Reflexe aus, wie z.B. das Wegziehen der Hand von einer heißen Herdplatte. Nach kurzer Pause folgt diesem ersten Schmerz

2. ein Schmerz von eher *dumpfem* oder brennendem Charakter, der schwer zu lokalisieren ist, und der langsamer abklingt.

**Der viscerale Schmerz** ist der Eingeweideschmerz. Er ist von *dumpfem* Charakter und ähnelt auch aufgrund seiner vegetativen Reaktionen dem Tiefenschmerz. Er tritt z.B. bei Dehnung infolge Blähungen oder bei Spasmen glatter Muskulatur auf. Er kann sowohl als Dauerschmerz z.B. im Magen, als auch als periodisch wiederkehrender Schmerz bei Koliken auftreten.

**Der neurogene Schmerz** entsteht durch Reizung von Nervenfasern wie bei der Trigeminalneuralgie. Es handelt sich um einen sogenannten *hellen* Schmerz.

Man muß auch zwischen einem akuten und einem chronischen Schmerz unterscheiden. Außerdem kann es auch aufgrund psychischer Störungen zu Schmerzen, den sogenannten **psychogenen Schmerzen** kommen. Hier findet die psychische Störung ihren Ausdruck in einer somatischen Erscheinung.

Jede Schmerzempfindung wird stark von der subjektiven Einstellung des Patienten bestimmt. Angst kann das Schmerzempfinden z.B. wesentlich steigern. Ablenkung kann es lindern. Andererseits ist es aber so, daß die Schmerzrezeptoren keine Adaption, d.h. keine Anpassung zeigen. Das ist bei chronisch Kranken besonders quälend, da für sie die Funktion des Schmerzes als *Alarmsignal* keine Funktion mehr hat.

So verlangen viele Patienten nach einem *Analgetikum*. Analgetika sind aber keineswegs immer risikolos:

- Die **Azetylsalizylsäure** wie z.B. Aspirin® oder ASS-ratiopharm®, wirkt schmerzlindernd (*analgetisch*), fiebersenkend (*antipyretisch*) und entzündungshemmend (*antiphlogistisch*). Sie verzögert außerdem die Blutgerinnung. Allerdings greift sie auch die Magenschleimhaut an, und es kann zu unerwünschten Nebenwirkungen wie Magen- und Darmblutungen kommen. Bei Kopf- und Zahnschmerzen, leichtem Fieber, rheumatoider Arthritis und leichtem Tumorschmerz ist ASS angezeigt.
- Die **nichtsteroidalen Antiphlogistika (NSA)** sind ähnlich wie ASS bei Schmerzen entzündlichen Ursprungs angezeigt, also bei rheumatischen und degenerativ-entzündlichen Erkrankungen des Bewegungsapparates, sowie leichtem Tumorschmerz und evtl. Koliken.

Diese meisten dieser Präparate sind *verschreibungspflichtig*. Die am häufigsten verordneten sind Indometazin (Amuno®) und Diclofenac (Voltaren®). Ein *nicht verschreibungspflichtiges* NSA ist hingegen Ibuprofen (Ibuprofen Stada® 200).

- **Paracetamol** wie z.B. Paracetamol-ratiopharm® und ben-u-ron® wirkt im Gegensatz zu ASS und den NSA nur schmerzlindernd und fiebersenkend. Da es *magenfreundlich* ist, gilt es als Mittel der ersten Wahl.
- **Opioide** sind von dem Rauschgift Opium abgeleitete Substanzen. Sie mindern das zentrale Schmerzempfinden und verbessern die Stimmungslage. Da sie abhängig machen können und schwere Nebenwirkungen wie z.B. Depression des Atemzentrums haben können, sind sie nur bei schweren und schwersten Schmerzen indiziert.

Schwächere Opioide sind beispielsweise Kodein (Gelonida NA®), Tilidin (Valoron®), Tramadol (Tramal®) und Pethidin (Dolantin®).

Stärkere Opioide sind Morphin (MST Mundipharma®), Piritramid (Dipidolor®) und Buprenorphin (Temgesic®).

Um dem Mißbrauch vorzubeugen unterstehen die Opioide, außer dem Kodein, der Betäubungsmittel-Verschreibungsverordnung (*BtMVV*). Das bedeutet, daß diese Arzneimittel nur unter strenger Kontrolle abgegeben werden. Der Nachteil liegt auf der Hand: Ärzte tun sich mit der Verordnung schwer, auch bei Schwerstkranken.

## Die Tiefensensibilität

Unser Gefühl für die Stellung unserer Gelenke und das Gefühl für Widerstände gegen unsere Muskeln haben wir der Tiefensensibilität zu verdanken.

Über **Mechanorezeptoren** (s. SEITE 3) in Muskeln, Sehnen und Gelenken erhält das ZNS Informationen über die Lage und Stellung des Körpers im Raum, das ist der sogenannte **Stellungssinn**, und über das Zusammenspiel der Muskeln erhält es Informationen über den sogenannten **Bewegungssinn**. Außerdem gibt es den **Kraftsinn**, der die erforderliche Muskelarbeit zum Überwinden von Gegenständen registriert.

Die Erregungen aus den Rezeptoren werden teils über die Pyramidenbahn *bewußt* wahrgenommen und *bewußt* beantwortet, teils werden sie direkt *unbewußt reflektorisch* im Rückenmark umgeschaltet.

## Geruchs- und Geschmackssinn

Der Geruchssinn ist eine „Kontrollstation“ am Beginn der Atemwege. Ein unangenehmer Geruch kann vor dem Verzehr von verdorbenen Nahrungsmitteln warnen.

Außerdem gibt es enge Verflechtungen zwischen dem Geruchssinn und Emotionen. So können schlechte Gerüche zum Erbrechen führen. Einen unsympathischen Menschen kann man „nicht riechen“. Umgekehrt fördern angenehme Gerüche den Appetit und fördern über viscerale Reflexbögen die Sekretion von Speichel und Magensaft.

S. 206 R. U.

### Die Riechfelder

Die Rezeptoren für den Geruchssinn sind **Chemorezeptoren**. Sie liegen in der **Regio olfactoria** in beiden Nasengängen im Bereich der oberen Muschel und des gegenüberliegenden Teils des Nasenseptums.

Die Riechfelder in der Schleimhaut der Regio olfactoria bestehen aus einem hohen, mehrreihige Riechepithel, das sich aus Stützzellen, Sinneszellen und basalen Ersatzzellen zusammensetzt.

Die **Riechzellen** bilden das *erste Neuron*. Sie haben am Ende ihrer Dendriten **Riechhärchen** (*Rezeptoren für die Geruchsreize*). Die Neuriten aller Riechzellen ziehen als **Nn. olfactorii** durch die Löcher, *Lamina cribrosa*, des Siebbeins und enden an den Mitralzellen des **Riechkolben**, *Bulbus olfactorius*.

Der Mensch kann ca. 4.000 verschiedene Gerüche wahrnehmen. Eine Klassifikation wie beim Geschmackssinn ist nicht möglich.

Damit ein Stoff gerochen werden kann, muß er gasförmig eingeatmet werden und so mit den Rezeptoren der Riechfelder reagieren.

### Die Riechbahn

Beiderseits in der vorderen Schädelgrube liegen die Riechkolben. In ihnen werden die Nervensignale der Riechzellen auf die zweiten Neurone der Riechbahn umgeschaltet. Die Axone dieser zweiten Neurone ziehen über den **Tractus olfactorius** beiderseits zu verschiedenen Kernen und Rindengebieten des *limbischen Systems*, die man zusammenfassend als **Riechhirn** bezeichnet. (*Das limbische System ist eine funktionelle Einheit, die aus Strukturen des Großhirns, des Zwischenhirns und des Mittelhirns gebildet wird, und die die Kerngebiete des Hirnstamms und den Balken wie ein Saum (Limbus) umgibt.*)

Zum limbischen System gehören u.a.

- der **Mandelkern** (*Corpus amygdaloideum*),
- der **Hippocampus** (Ammonshorn) und
- Teile des **Hypothalamus**.

Insbesondere Gefühle und emotionale Reaktionen werden von diesem System unter Beteiligung von Großhirnrinde, Thalamus und Hypothalamus gebildet wie Furcht, Angst, Aggression, und auch sexuelle Wünsche.

Daß das limbische System entwicklungsgeschichtlich aus dem Riechhirn hervorgegangen ist, erklärt, warum wir „jemanden nicht riechen können“.

Man kann das limbische System auch als eine Art übergeordnete Zentrale der vegetativen und endokrinen Regulation sehen. Beispiele dafür sind der nervöse Durchfall, der Blutdruckanstieg und die Erhöhung der Herzfrequenz vor Prüfungen.)

## Der Geschmackssinn

Die **Chemorezeptoren** des Geschmackssinns werden durch gelöste Substanzen in der Mundhöhle erregt. Analog dem Geruchssinn ist der Geschmackssinn ein Kontrollsystem für die Nahrung. Er löst die verschiedensten Reflexe aus wie Speichel- und Magensaftsekretion bei wohlschmeckenden Speisen, oder starke Abneigung bis zum Erbrechen bei ekelhaftem Geschmack.

Allerdings ist der Geschmackssinn nur bedingt autonom. Er ist sehr abhängig von dem Geruchssinn, und in der Differenzierung ist er ihm unterlegen. Ohne Geruchssinn schmecken Kartoffelbrei, Apfelmus und gebratene Zwiebeln gleich.

S. 207 U.

## Die Geschmacksrezeptoren

Die Rezeptoren für den Geschmackssinn liegen in den sogenannten **Geschmacksknospen** auf der Zunge. Vereinzelt kommen sie auch am Gaumen, Kehldeckel und in der Pharynxschleimhaut vor.

Es sind knospenähnlich aussehende **Chemorezeptoren**, bestehend aus zylindrischen Sinneszellen, deren Geschmacksstiftchen (*Mikrovilli*) in den Geschmacksporus an der Epitheloberfläche hineinragen.

S. 207 O.

## Die Reizung der Geschmacksrezeptoren

Damit eine Geschmacksempfindung möglich ist, müssen die Substanzen im Speichel gelöst sein und so zu den Poren der Geschmacksknospen gelangen. Dort reagieren sie mit den Sinneszellen im Bereich der Geschmacksstiftchen.

Vier Grundqualitäten können unterschieden werden:

*süß, salzig, bitter und sauer.*

Unter pathologischen Bedingungen kann es auch zu einem *metallischen* Geschmack kommen.



Für die physiologischen Geschmacksqualitäten ist jeweils ein bestimmter Rezeptortyp zuständig.

Diese Rezeptortypen sind im Mund, wie auf der Abbildung gezeigt, verteilt:

- Die **Süß-Rezeptoren** liegen an der Zungenspitze,
- die **Salzig-Rezeptoren** an Zungenspitze und vorderem seitlichen Zungenrand,
- die **Sauer-Rezeptoren** am hinteren seitlichen Zungenrand und
- die **Bitter-Rezeptoren** am Zungengrund.

## Die Geschmacksbahn

Von den Geschmacksknospen der Zunge ziehen die Nervenfasern zur Medulla oblongata, wo sie im **Geschmackskern** (*Nucleus tractus solitarii*) enden. Von dort werden die Geschmacksreize zum Thalamus und weiter zur hinteren Zentralwindung, dem primären sensorischen Rindenfeld im Großhirn, geleitet.

12 A OBEN

## **Das Auge**

Das Auge hat gegenüber allen Sinnesorganen des Menschen eine Vorrangstellung. Ein Drittel der Großhirnrinde gehört zum **visuellen System**, und fast 40% aller Leitungsbahnen zum ZNS gehören zur Sehleitung.

Beim Sehen werden nicht nur Helligkeitsunterschiede und Farben erfaßt, sondern es entsteht über die Wahrnehmung unterschiedlicher Entfernungen und die Lagebeziehung von Objekten durch *beide* Augen auch ein **räumliches Bild** der Außenwelt.

Das Auge ist zeitlich hochauflösend. Es vermag bis zu 15 verschiedene Bilder pro Sekunde zu differenzieren.

Die **Augenhöhle** (*Orbita*) enthält den **Augapfel** (*Bulbus*). Sie ist zu seinem Schutz mit einem Fettpolster ausgekleidet. Sechs Augenmuskeln bewegen den Augapfel.

Die **Lederhaut** (*Sklera*), das „Weiße“ des Auges, ist eine straffe Bindegewebshülle, die dem Augapfel Festigkeit und Form gibt. Sie bedeckt die hinteren Dreiviertel des Augapfels. Im vorderen Teil geht sie in die durchsichtige **Hornhaut** (*Cornea*) über.

Hinter der Hornhaut befindet sich die **Linse** (*Lens cristallina*). Über sie werden die Lichtstrahlen auf die **Netzhaut** (*Retina*) projiziert, von wo aus der **Sehnerv** (*N. opticus*) die Sinnesreize zum Thalamus leitet. Von dort gelangen sie zur Sehrinde im Hinterhauptslappen des Großhirns.

## Der Augapfel

Der Augapfel ist aus drei Schichten aufgebaut: der äußeren, mittleren und inneren Augenhaut.

### Die äußere Augenhaut

Die äußere Augenhaut besteht aus der **Lederhaut** (*Sklera*) und **Hornhaut** (*Cornea*). Die Sklera umgibt, wie erwähnt, den Augapfel als schützende Hülle bis auf den vorderen Bereich. Hinten, im Bereich des Sehnerven, geht die Sklera in die harte Hirnhaut als **Duraschicht** über und umgibt so den Sehnerven.

Der vordere sichtbare Sklerabereich und die Cornea werden von einer Epithelschicht bedeckt und geschützt, der **Bindehaut** (*Conjunktiva*). Die Conjunktiva schlägt um und bedeckt auch die Innenseite der Augenlider. Sie ist reichlich mit sensiblen Nervenendigungen ausgestattet und daher bei eindringenden Fremdkörpern sehr schmerzempfindlich.

## Die mittlere Augenhaut

Die mittlere Augenhaut besteht aus der **Aderhaut** (*Chorioidea*), dem **Ziliarkörper** und der **Regenbogenhaut** (*Iris*).

Die Chorioidea ist eine schwarzbraun pigmentierte Haut, die der Sklera innen anliegt. Mit ihren Blutgefäßen versorgt sie die Netzhaut. Infolge der eingelagerten dunklen Pigmente wirkt die Chorioidea wie die Wand einer Dunkelkammer und verhindert so Reflexionen.

S. 208 O. R.

Im vorderen Augenbereich geht die Chorioidea in den Ziliarkörper über. Er besteht aus Bindegewebsfortsätzen, an denen die Augenlinse aufgehängt ist. In dem Ziliarkörper befindet sich der ringförmige Ziliarmuskel durch dessen Kontraktion sich der Krümmungsradius der Augenlinse bei der **Akkommodation** verändert (*lat. accommodare = anpassen*).

12 A UNTEN

## Das Kammerwasser

Die Bindegewebsfortsätze der Ziliarkörper sind reich an Blutgefäßen. Aus ihnen wird das **Kammerwasser** gebildet. Das Kammerwasser ist eine klare Flüssigkeit, die in ihrer Zusammensetzung weitgehend dem Liquor entspricht. Es füllt die vordere und die hintere Augenkammer um Linse und Hornhaut zu versorgen.

Den Winkel, den Iris und Hornhaut bilden, nennt man **Kammerwinkel**. In diesem Kammerwinkel liegt ringsum ein kleiner Kanal, der sogenannte **Schlemmsche Kanal**. In ihm fließt das Kammerwasser wieder in das venöse System ab. Der Augeninnendruck wird dadurch normalerweise auf etwa 15 mm Hg gehalten.

## Das Glaukom

Bei einem Abflußhindernis im Schlemmschen Kanal kommt es zu einem gefährlichen Anstieg des Augeninnendrucks, dem **Grünen Star** (*Glaukom*). Das Auftreten eines Abflußhindernisses kann altersbedingt sein. Es kann aber auch durch Medikamente wie z.B. Kortison ausgelöst werden. Oder als Folge anderer Erkrankungen wie beispielsweise Diabetes.

Der erhöhte Augeninnendruck kann die Netzhaut und den Sehnerv schädigen und u.U. zerstören. Die Sehleistung verschlechtert sich zusehends, und unbehandelt führt ein Glaukom zur Erblindung.

Neben dem chronischen Glaukom gibt es auch eine akute Verlaufsform. Ein **akuter Glaukomanfall** verursacht eine Herabsetzung des Sehvermögens mit Nebelsehen und Farbensehen. Außerdem kann es zu Kopfschmerzen und Übelkeit kommen.

Die Therapie gehört *immer* in die Hand des Facharztes. Er wird wahrscheinlich **parasympathisch wirksame Augentropfen** verordnen. Zusätzlich kann der neurotherapeutisch arbeitende Therapeut die Therapie mit **Stellatumblockaden** unterstützen.

Auch chirurgische Eingriffe sind heute möglich. Das Glaukom ist bei uns mit 18% die häufigste Ursache für Blindheit.

## Iris und Pupille

Die **Iris** ist der sichtbare farbige Teil des Auges. Die Farbe, meist braun oder blau, richtet sich nach den Pigmenten. Die Iris besteht aus ringförmig und strahlenförmig angeordneten glatten Muskelfasern. In der Mitte hat sie ein Loch, die **Pupille**.

### 12 B OBEN

Die Iris wirkt wie eine Blende beim Fotoapparat. Sie paßt die Pupillenweite den unterschiedlichen Lichtverhältnissen an. Bei Helligkeit, bei Annäherung an ein Objekt und bei starker Müdigkeit bewirkt der Parasympathikus reflektorisch eine Kontraktion der ringförmigen Muskelfasern in der Iris, dem *M. sphinkter pupillae*. Dadurch wird die Pupille verengt und der Lichteinfall reduziert. Man nennt diese Verengung **Miosis**.

Das Gegenteil ist die **Mydriasis**. Bei ihr kontrahieren die radiären Muskelfasern des *M. dilatator pupillae*.

Der **Pupillenreflex** läßt sich leicht durch eine Stablampe nachweisen, die vor dem Auge des Patienten ein- und ausgeschaltet wird. Ein gestörter Pupillenreflex ist ein sicheres Zeichen für eine Sehstörung oder eine, möglicherweise schwere, neurologische Störung. Auch an Alkohol- oder Drogenmißbrauch ist zu denken. Ein erloschener Pupillenreflex ist bei Nichtblinden ein Todeszeichen.

### 12 A OBEN

## Die innere Augenhaut

Zur inneren Augenhaut gehören die **Netzhaut** (*Retina*) mit den bildaufnehmenden Sinnesrezeptoren und das **Pigmentepithel**, das die Netzhaut umkleidet. Wie bei der Chorioidea (Aderhaut) hat auch das Pigmentepithel einen hohen Pigmentgehalt, um die durch die Netzhaut hindurchdringenden Strahlen zu absorbieren. Dadurch werden Lichtreflexionen und Streustrahlen im Auge vermieden. Nur im Bereich des Sehnervenaustritts, der sogenannten **Papille**, ist das Pigmentepithel mit der Netzhaut fest verwachsen. In den übrigen Bereichen wird die Netzhaut durch den Augeninnendruck in Kontakt zum Pigmentepithel gehalten. Die Pigmentepithelschicht dient auch der Ernährung der Netzhaut.

## Netzhautablösung

Durch Verletzungen oder degenerative Prozesse kann sich die Netzhaut von der Pigmentepithelschicht ablösen. Infolge einer solchen **Netzhautablösung** (*Ablatio retinae*) wird die Netzhaut nicht mehr ernährt. Zwischen Netzhaut und Pigmentepithelschicht dringt Flüssigkeit ein. Ein unbedingtes Alarmsignal ist es immer, wenn der Patient „Blitze sieht“. Er schildert verschleiertes Sehen, und es kommt zu Gesichtsfeldausfällen.

Da die Ablatio retinae glücklicherweise langsam voranschreitet, ist eine Therapie mittels Laser möglich. Die Netzhaut wird dabei mit der Pigmentepithelschicht verschweißt.

### 12 D UNTEN

## Netzhautgefäße

Über die **zentrale Netzhautarterie** (*Arteria centralis retinae*) wird die Netzhaut mit den Sinneszellen versorgt. Sie ist ein Ast der Arteria carotis interna. In der Mitte des Sehnerven tritt sie mit ihm gemeinsam in das Auge ein.

Die venöse Ableitung erfolgt über die **zentrale Netzhautvene** (*Vena centralis retinae*).

Die Augengefäße können bei der Augenhintergrundbetrachtung mittels eines **Augenspiegels** (*Ophthalmoskop*) gesehen werden.

Man kann so Aussagen über Gefäßveränderungen machen, wie sie z.B. beim Diabetes mellitus, bei Arteriosklerose oder bei der Hypertonie auftreten können.

Mit dem Ophthalmoskop können neben den Blutgefäßen auch die Netzhaut selbst und die Austrittsstelle des Sehnerven, die Papille, beurteilt werden. Man kann beispielsweise eine **Stauungspapille**, das heißt eine vorgewölbte Papille aufgrund einer intrakraniellen Druckerhöhung, erkennen. Umgekehrt kommt es bei länger bestehendem erhöhten Augeninnendruck zu einer schüsselförmigen Eindellung der Papille.

### S. 210 L.

## Histologie und Physiologie der Netzhaut

Die Netzhaut ist aus drei Schichten aufgebaut: **Photorezeptoren, bipolare Ganglienzellen** und **große Ganglienzellen**.

Außen liegen die Photorezeptoren, das heißt, daß die einfallenden Lichtstrahlen erst die beiden anderen Schichten durchdringen müssen. Die Photorezeptoren bilden das 1. Neuron der Sehbahn. Die Ganglienzellen der inneren Schichten verschalten die von den Photorezeptoren kommenden Rezeptorpotentiale, um die Sehleistung, insbesondere die Kontrastbildung, zu verbessern und gleichzeitig die Informationsmenge zu reduzieren. Sie bilden das 2. und 3. Neuron der Sehbahn.

Die Axone der großen Ganglienzellen vereinigen sich im Bereich der Papille zum Sehnerven. Im Papillenbereich, also im Austrittsbereich des Sehnerven, gibt es keine Photorezeptoren. Man nennt ihn deshalb den **blinden Fleck**.

### Zapfen und Stäbchen

Bei den Photorezeptoren gibt es zwei Arten: für das **Farbsehen** die **Zapfen** und für das **Dämmerungssehen** die **Stäbchen**.

Jedes Auge hat etwa 3 Millionen Zapfen und 180 Millionen Stäbchen. Im Bereich der optischen Achse im Zentrum der Netzhaut befinden sich vor allem Zapfen. Man bezeichnet dieses Areal als „**gelber Fleck**“ (*Macula lutea*). Er enthält eine Vertiefung, die **Fovea centralis**, in der sich der Ort des schärfsten Sehens befindet.

Die einfallenden Lichtstrahlen werden dort wegen der hohen Dichte der Zapfen am genauesten abgebildet. Die Zapfen vermitteln also neben dem Farbsehen auch genaue Abbildungen. Allerdings benötigen sie für ihre Aktivität eine gewisse Helligkeit. Deswegen kann man in der Dämmerung keine Farben erkennen.

Die Stäbchen hingegen sind in der Lage, verschiedene Grautöne, schemenhafte Abbildungen und Bewegungseindrücke wahrzunehmen. In der Fovea centralis gibt es, wie gesagt, keine Stäbchen. Dafür nimmt ihre Konzentration außerhalb der Fovea centralis zu. Die logische Folge ist, daß man in der Dunkelheit besser Gegenstände erkennt, wenn man sie nicht genau fixiert, sondern etwas an ihnen vorbeischaute, damit die Lichtstrahlen nicht in die Fovea centralis fallen.

## Die Linse

Die Linse trägt mit ihrer **Brechkraft** (s. KAPITEL „OPTIK“) dazu bei, daß die einfallenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut zu einem scharfen Bild vereinigt werden.

Sie ist ein gefäßloser, transparenter elastischer Körper aus Eiweißfasern, der von einer Bindegewebskapsel umgeben ist. Die Linsenoberfläche ist beiderseits **konvex** (*bikonvex*) gewölbt. Der Ziliarkörper hält die Linse in ihrer Position hinter der Pupille.

## Katarakt

Eine Trübung der Linse bezeichnet man als „**Grauer Star**“ oder **Katarakt**. Ursache kann eine angeborene Fehlbildung, Strahlenschädigung, Augenverletzung oder ein Diabetes mellitus sein. Am häufigsten ist aber der sogenannte **Altersstar**, bei dem es infolge Ablagerungen an der Linse zu einer Linsentrübung kommt, die das Sehvermögen zunehmend beeinträchtigt. Im sehr fortgeschrittenen Stadium kann es dazu kommen, daß der Patient nur noch Helligkeitsunterschiede wahrnimmt.

Therapie der Wahl ist eine **Staroperation**, bei der die Linse durch eine Kunststofflinse ersetzt wird.

## Arcus senilis

Der **Arcus senilis** oder **Greisenbogen** ist eine ringförmige, weißliche Trübung der Hornhautperipherie. Man nennt ihn auch **Arcus lipoides corneae**, was schon eher auf die Ursachen hinweist, nämlich Lipid- und Kalkeinlagerungen. Beim Auftreten im jugendlichen Alter meist in Zusammenhang mit einer Hyperlipoproteinämie, im höheren Alter häufig unabhängig von erhöhten Serumlipiden, also mehr Kalkablagerungen.

## Der Glaskörper

Der Innenraum des Augapfels hinter der Linse wird vom **Glaskörper** (*Corpus vitreum*) ausgefüllt. Er besteht aus einer durchsichtigen, gallertigen Masse, die mit ihrem Quelungsdruck gemeinsam mit dem Druck des Kammerwassers den notwendigen engen Kontakt zwischen Netzhaut und Pigmentepithel bewirkt.

## Die Sehfunktion

Damit ein Bild wahrgenommen werden kann, müssen einfallende Lichtstrahlen so gebündelt werden, daß sie in der Netzhautenebene scharf abgebildet werden. Dies bewirkt der **optische Apparat** des Auges.

Zum Verständnis ein Ausflug in

## Die Optik

- Wenn ein Lichtstrahl aus einem bestimmten Medium, z.B. Luft, Wasser oder Glas in ein anderes eintritt, so wird er an der Trennungsfläche zwischen den beiden Medien *gebrochen* wenn er schräg auftritt.

Wenn der Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Medium übertritt, erfolgt die Brechung **zum Lot**.

Dagegen wird er **vom Lot** gebrochen wenn er aus einem dichteren in ein dünneres Medium fällt.

Bei senkrechtem Einfall von Lichtstrahlen erfolgt an der Trennungsfläche keine Brechung.

- Feste durchsichtige Körper sind optisch dichter als Flüssigkeiten, diese wiederum sind dichter als Luft.
- Allen bekannt ist das **Brennglasexperiment**, wobei man eine Lupe so hält, daß die Sonnenstrahlen mit ihr so gebündelt werden, daß man sie auf einem parallel zur Lupe gehaltenen Blatt als Punkt abbilden kann.

Die von der Sonne einfallenden Strahlen werden dabei so gebrochen, daß sie sich hinter der Lupe in einem Punkt vereinigen. Diesen Punkt bezeichnet man als **Brennpunkt**. Seinen Abstand vom Lupenmittelpunkt bezeichnet man als **Brennweite**.

Die Brennweite gibt Auskunft über die **Brechkraft** einer Linse. Die Maßeinheit für die Brechkraft ist die **Dioptrie** (gr. *dioptron* = *Mittel zum Durchsehen*), abgekürzt „dpt“. Die Brechkraft einer Linse, deren Brennweite 1m beträgt ist 1 dpt. Beträgt die Brennweite einer Linse z.B.  $\frac{1}{2}$  m, dann hat sie die doppelte Brechkraft, also 2 dpt.;  $\frac{1}{8}$  m hat 8 dpt.

Die Brechkraft ist also der Kehrwert der Brennweite einer Linse.

- Man kann drei Arten von Linsen unterscheiden: **Konvexlinsen** (*Sammellinsen*), **Konkavlinen** (*Zerstreuungslinsen*) und **Zylindergläser**, die entsprechend ihrer Form zwei optische Achsen besitzen, nämlich einmal die Längsachse ohne Brechung und die Querachse als Sammellinse.

Sammellinsen besitzen eine positive, Zerstreuungslinsen eine negative Brechkraft.

## Die Brechkraft des Auges

Das Auge ist aus mehreren optisch brechenden Medien zusammengesetzt: Tränenflüssigkeit, Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper. Durch diese Medien entsteht auf der Netzhaut ein verkleinertes, spiegelbildliches und umgekehrtes Bild der Umweltobjekte. Die Umkehrung wird bereits kurz nach der Geburt vom Gehirn erkannt und umgesetzt.

Die größte Brechkraft am Auge hat die Hornhaut mit ca. 40 dpt. Die Linse hat je nach Krümmungsgrad 15 - 30 dpt. Die Brechkraft von Kammerwasser und Glaskörper kann vernachlässigt werden. Es ergibt sich daher eine Gesamtbrechkraft für das Auge von etwa 60 dpt.

## Visusprüfung

Die **Sehschärfe** (*Visus*) ist das Auflösungsvermögen des Auges. Man versteht unter Auflösungsvermögen die Fähigkeit, zwei Punkte in einer bestimmten Entfernung noch getrennt wahrzunehmen. Die unterste Grenze dieser Unterscheidungsfähigkeit ist dann gegeben, wenn die beiden benachbarten Punkte gerade noch so weit von einander entfernt sind, daß sie einen **Sehwinkel** von 1 Winkelminute besitzen. Unter Sehwinkel versteht man den Winkel, unter dem zwei Randstrahlen eines Gegenstandes in das Auge fallen.

Wenn zwei Punkte in einem Sehwinkel von mehr als 1 Winkelminute auf die Netzhaut treffen, werden zwei Sehzellen erregt, zwischen denen sich eine unerregte Sehzelle befindet. Nur so können die zwei Punkte wahrgenommen werden. Wenn hingegen zwei benachbarte Sehzellen erregt werden, entsteht der Eindruck eines Strichs.

Nach diesem Prinzip sind die Visustafeln konstruiert.

## Akkommodation

Je näher ein fixierter Gegenstand liegt, um so stärker müssen die in das Auge einfallenden Lichtstrahlen gebündelt werden, um sich auf der Netzhaut zu einem scharfen Bild zu vereinigen.

Die Vergrößerung der Brechkraft bewerkstelligt die Linse. Sie kann, wie schon erwähnt, durch den Ziliarmuskel ihren Krümmungsradius und damit ihre Brechkraft ändern. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Akkommodation** (*lat. Accommodare = anpassen*). Sie beruht auf der Umwandlungsfähigkeit der elastischen Linse von der **Kugelform** (hohe Brechkraft, Naheinstellung) zur **Ellipsenform** (geringe Brechkraft, Ferneinstellung). Dem passiven Streben der jugendlichen Linse zur Kugelform steht die Einwirkung des radiären Aufhängeapparats des *entspannten* Ziliarmuskels entgegen, die infolge beständiger Zugwirkung eine Abflachung der Linse bewirkt.

Diese kann durch *aktive Kontraktion* des Ziliarmuskels bei einer parasymphathischen Innervation und der daraus resultierenden Erschlaffung der Aufhängefasern aufgehoben und damit eine Scharfeinstellung im Nahbereich ermöglicht werden.

Das **Akkommodationsvermögen** beträgt z.B. im Alter von 10 Jahren 15 Dioptrien, von 30 Jahren 7,5 Dioptrien, von 60 Jahren 0 Dioptrien (s. **ALTERSWEITSICHTIGKEIT**) infolge zunehmender Sklerosierung der Linse und Nachlassen ihrer Akkommodationskraft im Alter.

## Der Pupillenreflex

Nicht nur bei vermehrtem Lichteinfall, sondern auch bei jeder Nahakkommodation verengt sich die Pupille (Miosis). Dadurch fällt nicht nur weniger Licht ins Auge, es wird auch der Rand der Linse abgeblendet. Die sogenannten *Randstrahlen* entfallen. Das ist wichtig, da sonst die einfallenden Lichtstrahlen in einem sehr kleinen Netzhautbereich scharf abgebildet würden, so daß bei räumlich gestaffelten Strukturen ein verschwommenes Bild entstehen würde.

Das gleiche macht der Fotograf: bei Nahaufnahmen stellt er die Blende seines Apparates enger, um die Tiefenschärfe im Bild zu verbessern.

## Die Konvergenzreaktion

Beim Blick in die Ferne verlaufen die Sehachsen beider Augen parallel zueinander. Wenn näher liegende Objekte fixiert werden, kommt es zur **Konvergenzreaktion** (*lat. convergere = sich zusammenneigen*).

Die Reaktion der Augen bei Naheinstellung besteht aus drei Komponenten einer synergistischen Koppelung des Konvergenzzentrums:

1. dosierte motorische **Einwärtsbewegung beider Augen** bei Fixation eines Objekts im Nahsehraum,
2. **nahpunktbezogene Akkommodation** und
3. über Konvergenzzentrum und Sphinkter gesteuerte **Verengung beider Pupillen**.

**12 C LINKS**

## Fehlsichtigkeiten

### Altersweitsichtigkeit

Die Eigenelastizität der Linse nimmt mit zunehmendem Alter ab. Es kommt zur **Alterssichtigkeit** (*Presbyopie*). Das Nahsehen wird durch Elastizitätsverlust infolge einer Sklerosierung der Linse und nachlassender Fähigkeit zur Akkommodation erschwert. Der Nahpunkt rückt mit zunehmendem Alter immer mehr in die Ferne.

Die Therapie besteht im Tragen einer Lesebrille (Sammelläser).

**12 C MITTE**

### Kurzsichtigkeit

Die mit Abstand häufigste Fehlsichtigkeit (*Refraktionsanomalie*) ist die **Kurzsichtigkeit** oder **Myopie** (gr. *Myops* = *kurzsichtig*). Bei ihr werden parallel einfallende Strahlen vor der Netzhaut vereinigt. Ursache kann eine zu starke Brechkraft von Hornhaut oder Linse sein, bzw. eine überdurchschnittliche Länge des Augapfels.

Die Therapie besteht im Tragen von Zerstreuungslinsen (Konkavgläsern).

**12 C RECHTS**

### Weitsichtigkeit

Bei einem zu kurzen Augapfel oder bei zu starker Brechkraft der Linse kommt es zur **Weitsichtigkeit** oder **Hypermetropie**. Hierbei vereinigen sich die Lichtstrahlen erst hinter der Netzhaut. In dem Fall muß die Korrektur durch eine Sammellinse erfolgen.

### Astigmatismus

Wenn die Hornhaut nicht gleichmäßig gewölbt ist, werden die einfallenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut nicht zu einem scharfen Bild vereinigt. Diese meist angeborene Fehlbildung nennt man **Astigmatismus** (gr. *Stigma* = *Stich, Punkt*; *A-* = *Wortteil mit der Bedeutung un-, -los, -leer*; von gr. *a* = *privativum*), also eine „**nicht-punktförmige-Abbildung**“.

Die Korrektur erfolgt hierbei mit zylindrisch geschliffenen Gläsern oder Kontaktlinsen. In ausgeprägten Fällen ist eine Hornhauttransplantation indiziert.

### Blindheit



Im engeren Sinne **blind** ist, wer keinerlei Sehvermögen mehr hat. Patienten mit hochgradiger Sehschwächung, die sich in unvertrauter Umgebung nicht zurechtfinden, werden Blinden gleichgestellt.

Angeborene Blindheit kann die Folge einer Rötelnembryopathie sein. Erworben sein kann eine Blindheit durch Diabetes mellitus.

## Die Stimulation der Photorezeptoren

Damit Sehempfindungen entstehen, müssen die Lichtstrahlen, die auf die Netzhaut treffen, in Nervenimpulse umgesetzt werden.

Als erster Schritt ändert sich beim Lichtaufprall durch den Zerfall von lichtempfindlichen Substanzen, den sogenannten **Photopigmenten**, deren räumliche Struktur. Als Folge ändert sich das Membranpotential der Photorezeptoren, und in den davorliegenden Zellschichten entsteht ein Aktionspotential.

### 12 D OBEN

Das sichtbare Licht liegt in einem Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm (*nm = Abk. für Nanometer; 1 nm = 10<sup>-9</sup> Meter*). Dargestellt sind die jeweiligen Empfindlichkeitsmaxima der Zapfen für gelbrot, grün und blauviolett.

## Die Erregung der Stäbchen

Als Rezeptoren für das Dämmerungssehen enthalten die Stäbchen das Photopigment **Rhodopsin**, auch als **Sehpurpur** bezeichnet. Es setzt sich aus dem Eiweiß **Opsin** und dem Vitamin A-Abkömmling **Retinal** zusammen.

Das Rhodopsin ist so instabil, daß es schon bei geringster Lichteinwirkung in seine Bestandteile zerfällt. Durch diesen Zerfall entstehen in den Stäbchen Generatorpotentiale. In der Dämmerung wird das Rhodopsin rasch wieder aufgebaut, so daß die Stäbchen wieder empfangsbereit sind.. Bei anhaltender Helligkeit hält der Rhodopsinaufbau mit dem Zerfall jedoch nicht Schritt, weswegen die Stäbchen bei Tageslicht praktisch nicht erregbar sind.

## Die Erregung der Zapfen

Die Zapfen als Rezeptoren für das Farbsehen erhalten in ihren Photopigmenten ebenfalls **Retinal**, aber statt des Opsins **drei unterschiedliche Eiweißanteile**, die jeweils für bestimmte Wellenlängenbereiche des Lichts besonders empfindlich sind.

Das breite Spektrum wahrnehmbarer Farben ergibt sich aus der sogenannten **additiven Farbmischung** dieser drei Rezeptortypen.

Im Gegensatz zu den Stäbchen werden sie nur bei hellem Licht ausreichend gereizt.

### 12 C UNTEN

## Die Dunkeladaptation

Das Auge besitzt, wie alle Sinnesorgane, die Fähigkeit der **Anpassung** oder **Adaption** (lat. *Adaptare = anpassen*). Das Hell-Dunkel-Adaptationsvermögen des Auges ist besonders stark ausgeprägt. Allerdings benötigt es für die Anpassung an verschiedene Lichtintensitäten eine verhältnismäßig lange Zeit.

Wenn man abends aus einem erleuchteten Raum ins Freie tritt, so wird die Umgebung erst allmählich in ihren Konturen erkennbar. Zunächst adaptieren die Zapfen, die etwa 8 Minuten benötigen, bis sie Lichtempfindlichkeit um den Faktor 500 gesteigert haben.

Die Stäbchen für das Schwarz-Weiß-Sehen brauchen bis zu ihrer vollen Adaptation bis zu 30 Minuten. Dadurch wird allerdings die Lichtempfindlichkeit nochmals um den Faktor 2.000 gesteigert.

Wenn die Adaptationsfähigkeit der Stäbchen ausfällt, kommt es zur **Nachtblindheit**. Das Dämmerungssehen ist stark behindert oder unmöglich. Die häufigste Ursache ist ein Vitamin-A-Mangel mit der Folge, daß nicht mehr ausreichend das Sehpigment gebildet werden kann.

## Die Helladaptation

Im Gegensatz zur Dunkeladaptation verläuft die Helladaptation viel schneller. Eine mögliche Blendung läßt nach 15 Sekunden nach, und innerhalb einer Minute haben sich die Netzhautrezeptoren der neuen Umgebungshelligkeit angepaßt.

## Farbenblindheit

Wenn einer oder mehrere der drei Zapfentypen bzw. ihre Photopigmente fehlen, ist das Farbsehen eingeschränkt. Es handelt sich meist um eine angeborene Störung. Am häufigsten ist die **Rot-Grün-Blindheit**, die vor allem bei Männern vorkommt.

Fast 10% der Männer leiden unter einer Rot-Grün-Schwäche. Nur jeder 10.000 Erwachsene ist völlig farbenblind.

## Die Sehbahn

Die Aktionspotentiale der Nervenzellschichten der Netzhaut gelangen mit dem **Sehnerven** (*N. opticus*) zur **Sehnervenkreuzung** (*Chiasma opticum*) unterhalb des Zwischenhirns.

Im Bereich des Chiasma opticum tauschen rechter und linker *N. opticus* je eine Hälfte ihrer Fasern aus, wobei die Fasern aus den beiden inneren (*nasalen*) Netzhauthälften jeweils zur Gegenseite kreuzen. Die gekreuzten Fasern bilden zusammen mit den ungekreuzten Fasern aus den äußeren (*temporalen*) Netzhauthälften die **rechte** bzw. **linke Sehbahn** (*Tractus opticus*).

Durch die Kreuzung werden rechte und linke Gesichtsfeldhälften getrennt.

Der größte Teil der Sehbahnfasern zieht zum Thalamus, wo die Erregungen auf weitere Neurone umgeschaltet werden. Ihre Axone erreichen dann die **primäre Sehrinde**. Der übrige Teil der Sehbahnfasern wird im Mittelhirn auf Reflexe wie z.B. den Pupillenreflex und die Akkomodationsreflexe umgeschaltet.

**12 B UNTEN**

## Die äußeren Augenmuskeln

Die Augenbulbi werden in den Augenhöhlen von je sechs quergestreiften Muskeln bewegt, die durch verschiedene Hirnnerven innerviert werden. Mittels dieser Muskeln können die Augen bewußt bewegt werden. Unbewußt reflektorisch koordinieren die Augen-

muskeln auch das Zusammenspiel beider Augäpfel bei der Ausrichtung für Nähe und Ferne mittels der sogenannten **Konvergenzreaktion**.

## Schielen

Beim **Schielen** (*Strabismus*) ist die Koordination der äußeren Augenmuskeln gestört. Die häufigste Form ist das **Einwärtsschielen**, **Strabismus convergens** (**Auswärtsschielen** = **Strabismus divergens**). Häufig übernimmt ein Auge die Führung, während das andere Auge in Schielstellung steht.

Therapeutisch werden Übungsbehandlungen durch wechselweises Abdecken der Augen versucht. Bei hartnäckigen Fällen muß mit einer Schieloperation ein Augenmuskel verkürzt werden.

S. 214 U.

## Die Schutzeinrichtungen des Auges

Zu den Schutzeinrichtungen des Auges zählt man Augenbrauen, Augenlider, Wimpern, Bindehaut und Tränenrüsen.

Die **Augenbrauen** schützen vor intensiver Sonnenstrahlung und Stirnschweiß.

Die **Augenlider** (*Pelpebrae*) begrenzen als Ober- und Unterlid die Lidspalte. Außer dem Schutz des Auges gehört die Benetzung des Auges mit Tränenflüssigkeit zu ihren Aufgaben. In ihnen befindet sich der **M. orbicularis oculi**.

Die **Tränenrüsen** (*Glandulae lacrimales*) produzieren die wäßrige Tränenflüssigkeit. Sie enthält Salze, Schleim und ein bakterizid wirkendes Enzym, das **Lysozym**. Im medialen Augenwinkel fließt die Tränenflüssigkeit in die **oberen** und **unteren Tränenkanälchen** (*Canaliculi lacrimales*), die in den **Tränensack** (*Saccus lacimalis*) münden. Von dort fließt die Tränenflüssigkeit über **den Tränen-Nasen-Kanal** (*Ductus nasolacimalis*) in die Nasenhöhle.

12 E L. O.

## ***Das Hör- und Gleichgewichtsorgan***

Das **Hörorgan** gehört zu den feinsten und verletzlichsten Strukturen im Körper des Menschen. Deshalb liegt das Innere des Ohres zusammen mit dem ebenfalls aus feinsten Strukturen bestehenden **Gleichgewichtsorgan** gut geschützt in der Felsenbeinpyramide des Schläfenbeins.

Die Informationen aus beiden Organen werden über einen gemeinsamen Nervenstrang, den VIII. Hirnnerven **Nervus vestibulocochlearis** (*früher: N. statoacusticus*), zum ZNS geleitet. Der N. vestibulocochlearis verläuft durch einen schmalen Knochenkanal zusammen mit den ohrversorgenden Blutgefäßen ins Schädelinnere.

S. 215 L. O.

## Das äußere Ohr

Zum äußeren Ohr gehören die **Ohrmuschel** und der **äußere Gehörgang**. Die knorpelige Ohrmuschel wirkt als schallaufnehmender Trichter. Sie leitet den Schall in den äußeren Gehörgang, wo er zum Trommelfell gelangt.

Der äußere Gehörgang enthält Haare, die vor eindringenden Fremdkörpern schützen, und Ohrenschmalz, das sogenannten **Cerumen**.

**S. 215 L. U.**

Das **Trommelfell** (*Membrana tympani*) stellt die Grenze zwischen äußerem Ohr und Innenohr dar. Es ist eine dünne Membran aus fibrösem Bindegewebe (*fibrös: bindegewebig, aus faserigem Bindegewebe bestehend*). Bei der **Ohrenspiegelung** (*Otoskopie*) kann es direkt eingesehen werden.

**Das Mittelohr**

Das Mittelohr liegt in einer kleinen, luftgefüllten Knochenhöhle im Felsenbein, die man als **Paukenhöhle** (*Cavum tympani*) bezeichnet. Sie erstreckt sich vom Trommelfell bis zur knöchernen Wand des Innenohres. In der Wand befinden sich zwei Öffnungen, sogenannte Fenster, die mit Membranen verschlossen sind: das ovale Fenster, **Fenestra vestibuli** und das runde Fenster, **Fenestra cochleae**.

**Die Ohrtrompete**

Über die **Ohrtrompete** (*Tuba auditiva eustachii* oder *Eustachische Röhre*) besteht eine Verbindung zwischen dem Mittelohr und dem oberen Rachenraum. Die Ohrtrompete bewirkt einen Luftdruckausgleich beiderseits des Trommelfells, damit eine gute Beweglichkeit des Trommelfells für die Schalleitung gewährleistet ist.

Da sich beim Gähnen oder Schlucken die Ohrtrompete öffnet, kann dadurch ein bewußter Druckausgleich erreicht werden.

**12 E RECHTS****Die Gehörknöchelchen**

In der Paukenhöhle befinden sich die drei **Gehörknöchelchen Hammer** (*Malleus*), **Amboß** (*Incus*) und **Steigbügel** (*Stapes*).

Der Hammergriff ist fest mit der Innenwand des Trommelfells verwachsen. Das andere Ende des Hammers ist gelenkig mit dem Amboß verbunden. Etwa in der Mitte ist der Hammer beweglich mit der Wand der Paukenhöhle verbunden.

Der Amboß seinerseits artikuliert mit dem Steigbügel, der mit der sogenannten Steigbügelplatte in das ovale Fenster eingelassen ist.

Dieses System stellt zum einen sicher, daß die Schallwellen zum ovalen Fenster gelangen, andererseits kann über die Spannung des **M. tensor tympani** und des **M. stapedius**, die sich zwischen den Gehörknöchelchen bzw. zwischen ihnen und der Paukenhöhlenwand befinden, die Schallintensität reguliert werden, die zum Innenohr gelangt.

**S. 216 O. L.**

Eine akute **Mittelohrentzündung** (*Otitis media acuta*) wird meist durch Infekte des Nasenrachenraums verursacht, die über die Ohrtrompete ascendieren.

Klinisch zeigen sich Fieber, Ohrenschmerzen und Schwerhörigkeit. Die Sekrete, die infolge der Entzündung entstehen, bewirken einen Druckanstieg. Die Ohrtrompete kann den Druck nicht mehr ausgleichen, da sie aufgrund der Entzündung angeschwollen ist. Der Druck kann letztlich zur Zerreißung des Trommelfells führen, zur sogenannten **Trommelfellperforation**. Diese Perforation schließt sich spontan innerhalb weniger Wochen.

Die Behandlung der Otitis media acuta ist **antibiotikapflichtig!** Unbehandelt oder in schweren Fällen kann sich die Otitis media acuta bis auf die Hirnhäute ausbreiten (*Menigitis*), oder sie kann in ein chronisches Stadium übergehen.

**12 F UNTEN**

**S. 216 R. O.**

## Das Innenohr

Das Innenohr mit den Sinnesrezeptoren für das Gehör und das Gleichgewichtsorgan liegt in dem Hohlraumsystem des **knöchernen Labyrinths**. Man unterteilt es in die drei Abschnitte Vorhof, Bogengänge und Schnecke.

Im Vorhof und in den Bogengängen liegen die Sinnesrezeptoren des Gleichgewichtsorgans. In der Schnecke befindet sich das Corti-Organ mit den Sinnesrezeptoren für das Gehör.

**12 E L. U.**

**S. 216 R. U.**

## Die Schnecke

Die **Schnecke** (*Cochlea*) ist in zweieinhalb Windungen spiralgewunden. Sie hat eine knöcherne Schale. Innen ist sie mit der liquorähnlichen **Perilymphe** gefüllt.

Der sogenannte Schneckengang wird durch eine Zwischenwand, bestehend aus dem **Ductus cochlearis** (*häutige Schnecke*) und der wendeltreppenartig von der **Schneckenachse** (*Modiolus*) vorspringenden **Lamina spiralis ossea**, in zwei Etagen geteilt: die obere **Scala vestibuli** beginnt am ovalen Fenster und verläuft bis zur Schneckenspitze. Dort geht sie in die **Scala tympani** (*Paukentreppe*) über, die über die Schneckenspirale nach unten zum runden Fenster zieht.

**S. 217 O.R.**

Die häutige Schnecke, **Ductus cochlearis** liegt, wie bereits erwähnt, zwischen den beiden Scalae. Sie besteht aus einem membranösen, im Querschnitt etwa dreieckigen Schlauch, der mit **Endolymphe** gefüllt ist. Die Endolymphe entspricht etwa der Intrazellulärlflüssigkeit. Nach oben wird die häutige Schnecke mit der **Reissner-Membran** begrenzt, nach unten, zur Scala tympani, von der **Basilarmembran**.

Von dem ovalen Fenster, also von unten, nach oben zur Schneckenspitze hin, nimmt die Basilarmembran in ihrer Breite zu. Auf der Basilarmembran liegt das **Corti-Organ**. Es ist aus Stützzellen und aus Sinneszellen, sogenannten **Haarzellen** aufgebaut. Die Haarzellen tragen feine Härchen, die in die Endolymphe des häutigen Schneckengangs ragen. Auf den Härchen liegt eine gallertige Membran, die **Membrana tectoria**. An der Basis werden die Haarzellen von Fasern des VII. Hirnnerven, des N. vestibulocochlearis umfaßt.

**S. 217 UNTEN**

## Der Schall

Durch Schwingung von Objekten werden in der Luft **Schallwellen** erzeugt und **Luftmoleküle in Schwingung** versetzt. Die so entstehenden Luftschwingungen breiten sich wellenartig aus.

Die **Tonhöhe** wird durch die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit, der sogenannten **Frequenz**, bestimmt. Die **Lautstärke** hingegen ist abhängig von der Größe der Schwingung, der sogenannten **Amplitude**.

Die Maßeinheit der Frequenz ist **Hertz** (Hz). Hertz gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an. Der Mensch kann Schallwellen in einem Frequenzbereich von 20 Hz bis 20.000 Hz wahrnehmen. Am besten ist die Wahrnehmung zwischen 1.000 und 4.000 Hz.

Die **subjektive Lautstärke** eines Tons hängt von seiner Schallintensität ab. Sie wird in der Einheit **Dezibel** (dB) angegeben. Die Dezibel-Skala ist als logarithmische Skala definiert. Es wurde festgelegt, daß der leiseste noch hörbare Ton mit einer Frequenz von 1.000 Hz die Stärke 0 dB hat. Durch den Logarithmus entspricht eine Erhöhung des Schallpegels um 3 dB einer Verdopplung, eine Erhöhung von 6 dB einer Vervielfachung u.s.w.

Normale Umgangssprache hat 45 dB, ein Staubsauger 75 dB und ein Preßluftbohrer 90 dB. Dauerschallbelastungen von über 90 dB führen zur **Lärmschwerhörigkeit**.

Die obere Hörschwelle und Schmerzgrenze liegt bei 120 dB (dem 1.012-fachen).

Mittels der **Audiometrie** kann die Hörfunktion gemessen werden. Mit ihr können individuelle **Hörschwellen** bestimmt werden.

## Die Physiologie des Hörens

Nachdem die Schallwellen von der Ohrmuschel aufgenommen und über den äußeren Gehörgang zum Trommelfell gelangt sind, wird dies entsprechend der Intensität und Frequenz der Schallwellen in Schwingung versetzt.

Die Trommelfellschwingungen setzen sich über den festverwachsenen Hammergriff auf die Gehörknöchelchenkette fort. Über Amboß und Steigbügel erreichen sie das ovale Fenster.

Über die verschiedenen Hebel werden die Schallwellen vom Trommelfell bis zum ovalen Fenster um das 20-fache verstärkt.

Die Schallwellen werden außerdem über den Schädelknochen unter Umgehung des Mittelohrs direkt auf das Innenohr übertragen.

Die Steigbügelschwingungen am ovalen Fenster versetzen die Perilymphe der Scala vestibuli in Schwingungen. Die Schwingungen durchlaufen wellenartig die gesamte Scala vestibuli bis zur Schneckenspitze, und von dort laufen sie zurück bis zum runden Fenster, wo sie verebben.

### S. 218 O. R.

Die Schwingungswellen, auch **Wanderwellen** genannt, versetzen die häutige Schnecke in Schwingung. Die Schwingungen der Basilarmembran der häutigen Schnecke führen zu Scherbewegungen zwischen den Haarzellen und der gallertigen Membrana tectoria. Dadurch werden die Härchen der Sinneszellen verbogen und somit mechanisch gereizt. Dieser Reiz läßt in den Haarzellen die Generatorpotentiale entstehen. Es handelt sich also um Mechanorezeptoren.

**S. 218 O. L.**

Wie bereits erwähnt, ist die Basilarmembran zu Beginn am ovalen Fenster schmal, und nach oben zu verbreitert sie sich, obwohl die Schneckenwindung insgesamt sich verjüngt.

Dadurch geraten zwar einerseits die breiteren Abschnitte leichter in Schwingung, andererseits nimmt aber die Dämpfung durch die Endolympe zur Schneckenspitze hin allmählich zu.

Aufgrund des Aufbaus der häutigen Schnecke gibt es für jede Schwingungsfrequenz auf der Basilarmembran einen bestimmten Abschnitt, wo sie am stärksten schwingt.

Man kann das mit einem Konzertflügel vergleichen, der in einem Raum steht, in dem mit einer Geige Töne verschiedener Höhe erzeugt werden. Je nach Tonhöhe schwingen die Saiten des Flügels mit.

Die Generatorpotentiale der Haarzellen lösen Aktionspotentiale aus, die an die Nervenfasern übermittelt werden. Diese Nervenfasern bilden den cochlearen Anteil des Nervus vestibulocochlearis. Sie verlaufen zu Kerngebieten in der Medulla oblongata und kreuzen dort zur Gegenseite. Von dort ziehen sie teils zum Mittelhirn und teils zum Thalamus von wo die Impulse zum primären Hörzentrum im Großhirnschlafenlappen geleitet werden.

Das **Richtungshören** resultiert aus der Tatsache, daß die Impulse von beiden Ohren im Gehirn zeitgleich verarbeitet werden. Da nun aber die Impulse des Ohrs, welches einer Schallquelle abgewandt ist, etwas später eintreffen, kann das Gehirn die Schallquelle im Raum orten.

## Pathologie

### Otosklerose

Die **Otosklerose** ist eine Erkrankung des knöchernen Labyrinths. Dabei verknöchern aus bisher nicht bekannter Ursache Bereiche des ovalen Fensters, so daß die Steigbügelplatte dort fixiert wird und ihre Beweglichkeit verliert. Es kommt dadurch zur **Schalleitungs-Schwerhörigkeit**, u.U. mit **Tinnitus** (*Ohrgeräuschen*).

Die Krankheit tritt vor allem bei Frauen im mittleren Lebensalter auf. In bestimmten Fällen kann operativ der Steigbügel entfernt und durch ein Kunststoff- oder Knorpelimplantat ersetzt werden.

### Akustisches Trauma

Ein **akustisches Trauma** kann **akut** durch plötzliche laute Geräusche wie z.B. einem Explosionsknall, oder **chronisch** durch Dauerbeschallung von >90 dB (Walkman) auftreten.

Es kommt dabei zur mechanischen Schädigung und Degeneration der Haarzellen. Dies führt zu einer **Schallempfindungs-Schwerhörigkeit**, die besonders die hohen Tonfrequenzen betrifft.

### Altersschwerhörigkeit

Die **Altersschwerhörigkeit** (*Presbyakusis*) betrifft zunächst nur die hohen Töne. Dadurch ist besonders das Hörvermögen für die Sprache gestört.

Mittels eines Hörgerätes kann die Hörfähigkeit verbessert werden. Moderne Hörgeräte sind winzige elektronische Geräte, die an der Ohrmuschel, im äußeren Gehörgang oder am Bügel einer Brille befestigt werden.

S. 216 R. O.

12 F UNTEN

## Das Gleichgewichtsorgan

Der **Gleichgewichtssinn**, auch Lage- und Drehsinn genannt, dient zusammen mit den Augen und der Tiefensensibilität der Orientierung im Raum und der Aufrechterhaltung von Kopf- und Körperhaltung in Ruhe und Bewegung.

Zum **Gleichgewichtsorgan** oder **Vestibularapparat** gehören der **Vorhof** (*Vestibulum*) und die drei **Bogengänge** (*Canalis semicircularis ant., post., lat.*). Sie liegen zusammen mit dem Hörorgan im knöchernen Labyrinth des Felsenbeins.

Der Vorhof ist der zentrale Teil des knöchernen Labyrinths. Er führt als Vorraum nach hinten zu den drei Bogengängen und nach vorn zur Schnecke des Hörorgans. Er ist, genau wie das übrige Labyrinth, mit Perilymphe gefüllt, in der mit Endolymphe gefüllte Strukturen liegen.

### Utriculus und Sacculus

Im Vorhof befinden sich zwei membranöse Strukturen: das große Vorhofsäckchen **Utriculus** und das kleine Vorhofsäckchen **Sacculus** (S. LILA STRUKTUREN AUF DER FOLIE). Sie sind durch zwei feine Kanälchen miteinander verbunden.

12 G OBEN

Der Utriculus und der Sacculus enthalten in ihrer Wand jeweils ein Sinnesfeld, die **Makula**. Sie liegt im Utriculus in horizontaler Ebene und im Sacculus vertikal. Ähnlich wie beim Corti-Organ des Gehörs sind diese Sinnesfelder aus Stütz- und Sinneszellen aufgebaut. Die Sinneszellen sind auch hier **Haarzellen**, und analog dem Hörorgan tragen auch sie eine **gallertige Membran**. In diese Membran sind allerdings noch zusätzlich sogenannte **Statolithen** eingelagert, kleine Kristalle aus Calciumcarbonat, weswegen man auch von einer **Statolithenmembran** spricht.

Bei ruhiger, aufrechter Kopfhaltung *drückt* die Statolithenmembran in der horizontalen Makula des Utriculus auf die Sinneshärchen, während die Statolithenmembran an der vertikalen Makula des Sacculus an den Sinneshärchen *zieht*. Durch diese Reizkonstellation wird das Gefühl für eine „normale Kopfposition“ vermittelt.

Bei Bewegungen des Kopfes folgen die Statolithenmembranen der Schwerkraft und üben anderen Druck bzw. Zug aus. Bei einer Fahrstuhlfahrt nach oben z.B. werden die Haarzellen in der horizontalen Makula stärker *belastet*, bei Fahrt nach unten *entlastet*.

**Schwerkraft** und **Linearbeschleunigung** sind die adäquaten Reize für die Sinneszellen der Makulaorgane.

### Die Bogengänge

Die drei Bogengänge (*Canalis semicircularis ant., post., lat.*) stehen entsprechend der drei Hauptebenen des Raums etwa rechtwinklig zueinander. Sie beginnen und enden alle im Vorhofbereich, so daß sie zusammen mit ihm einen Ring bilden.

12 G UNTEN

In den knöchernen Bogengängen verlaufen die membranösen, mit Endolymphe gefüllten **häutigen Bogengänge**. Jeder Bogengang ist am Ende zu einer sogenannten **Ampulle** erweitert. Dort befinden sich jeweils auf einer vorragenden Leiste, einer sogenannten **Crista**, die Sinneszellen des Bogengangssystems.



Es sind ebenfalls Haarzellen, die von Stützzellen umgeben sind. Ihre Härchen ragen in eine gallertige, kuppelförmige Masse, die **Cupula**.

Kopfbewegungen führen zu einer identischen Bewegung der jeweiligen Cupula. Da aber die in den Bogengängen befindliche Endolymphe sich, so wie jede Flüssigkeit, träge verhält, folgt sie den Kopfbeschleunigungen nur mit zeitlicher Verzögerung, und die Sinneshärchen mit ihrer gallertigen Kuppel werden dadurch abgebogen.

Die dabei entstehenden Nervenimpulse werden dem ZNS über den *vestibulären* Anteil des N. vestibulocochlearis übermittelt, und dort führen sie zur bewußten Empfindung von Drehbewegungen. Reflektorisch steuern sie die erforderlichen Stellreflexe.

Da das Gleichgewichtsorgan auch mit vegetativen Zentren verknüpft ist, kann es bei wiederholten starken Reizungen zu vegetativen Reaktionen wie Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Schweißausbruch und Kopfschmerzen kommen.

Da dies häufig bei Flug-, Schiffs-, Bahn- und Autoreisen auftritt, spricht man von der **Reisekrankheit** oder **Kinetose**. Medikamte gegen den Brechreiz, sogenannte *Antiemetika* können die Symptome lindern. Empfehlenswert sind Medikamente in Kaugummiform wie Superpep<sup>®</sup> bzw. Superpep forte<sup>®</sup>.