

30

Sinne und Wahrnehmung

30.1 Sinneszellerregung löst je nach Leitungsbahn eine Wahrnehmung im Gehirn aus

Sinneszellen (Rezeptorzellen) setzen die **Reize** der Außenwelt und der Innenwelt in elektrische Signale um. Zur besseren Filterung und Verstärkung sind Sinneszellen oft zu **Sinnesorganen** zusammengefasst. Sinneszellen werden nach der aufgenommenen Energieform klassifiziert (Mechano-, Chemo-, Photo-, Thermorezeptoren). Die **Wahrnehmung** entsteht erst im Gehirn und hängt davon ab, auf welcher Leitung das elektrische Signal einläuft. Denn der Aktionspotenzialfrequenz ist der auslösende Reiz nicht anzumerken. Durch diesen Leitungscode kommt es z. B. dazu, dass eine mechanische Reizung wie ein Schlag auf das Auge als Lichtblitz wahrgenommen wird. Im Körper sprechen Enterorezeptoren auf Reize an. Sie dienen meist der unbewussten Regelung der Körperfunktionen. Nur im Gehirn wahrgenommene Reize können gedanklich weiterverarbeitet werden (Kognition).

30.2 Rezeptoren setzen Reize in Potenziale um

Eine Sinneszelle wandelt den Reiz proportional zu seiner Stärke in ein **Rezeptorpotenzial** um. Alle dabei ablaufenden Vorgänge werden als **Signaltransduktion** bezeichnet. Sinneszellen sind meist abgewandelte Nervenzellen. Primäre Sinneszellen nehmen über den Zellkörper meist mit speziellen Strukturen Signale auf, die Transduktion zum ZNS erfolgt über das Axon. Bei Sinnesnervenzellen dienen die Dendriten als Orte der Reizaufnahme und der Zellkörper ist weit weg davon. Sekundäre Sinneszellen sind Rezeptorzellen, die ihre Erregung über Synapsen auf Nervenzellen übertragen. Sie besitzen kein eigenes Axon. Rezeptorproteine in den Membranen der Sinneszellen reagieren auf Reize durch Signaltransduktion. Bei Mechanorezeptoren werden Ionenkanäle mechanisch geöffnet. Bei den Photorezeptoren der Wirbeltiere bewirken lichtempfindliche Moleküle wie die Rhodopsine über eine Signalkaskade das Schließen von Natriumkanälen. Auch die Chemo- und Thermorezeption funktioniert über das Öffnen bzw. Schließen von Ionenkanälen. Durch Adaptation kann sich die Wahrnehmung wiederkehrender Signale abschwächen.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 143 „Mechanorezeptoren sind ungleichmäßig in der Haut verteilt“

30.3 Kameraaugen von Wirbeltieren werfen detaillierte Bilder auf die Netzhaut

Ein waagerechter Schnitt durch das menschliche Auge zeigt seine Ähnlichkeit mit einer Fotokamera. Da das Auge mit Flüssigkeit gefüllt ist, hat der durch die lichtdurchlässige Hornhaut gekrümmte Übergang von Luft zu Wasser schon eine konstante Linsenwirkung. Die pigmentierte Regenbogenhaut bildet die Blende, die durch antagonistische Muskeln mehr geöffnet oder geschlossen werden kann. Die Linse aus kristallinen Proteinen wird durch elastische Fäden (Zonulafasern) mit dem Ringmuskel (Ziliarmuskel) verbunden, was eine Änderung der Brechkraft und die **Akkommodation** ermöglicht. Das Abbild eines Gegenstandes fällt auf die Netzhaut mit den Photorezeptoren. Dabei durchquert die Strahlung den gallertigen Glaskörper. Der Bereich des schärfsten Sehens mit vielen Photorezeptoren liegt in der Bildachse (Gelber Fleck). An der Stelle, an der der Sehnerv das Auge verlässt, gibt es keine Photorezeptoren (Blinder Fleck). Das Sehfeld eines einzelnen Auges hat eine ovale Form und ermöglicht am Rand nur das Schwarz-Weiß-Sehen. Die überlappenden Sehfelder beider Augen ermöglichen das räumliche Sehen.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 144 „Stäbchen dienen dem Hell-Dunkel-Sehen“

30.4 In der Netzhaut werden Signale lichtempfindlicher Zellen empfangen und weiterverarbeitet

Bei der Wirbeltiernetzhaut liegen die Lichtsinneszellen auf der vom Licht abgewandten Seite. Diese lichtempfindlichen Zellen sind mit Nervenzellen verschaltet (Bipolarzellen, Horizontalzellen, Amakrinzellen). Über Ganglienzellen werden die Informationen zusammengefasst. Deren Axone bilden den Sehnerv.

Die Wirbeltiernetzhaut besitzt zwei Rezeptortypen. Die Zapfen sind für Licht von kurzer (Blau-Zapfen), mittlerer (Grün-Zapfen) oder langer Wellenlänge (Rot-Zapfen) besonders empfindlich, allerdings insgesamt weniger lichtempfindlich als die Stäbchen. Während die Stäbchen ein hochempfindliches Dämmerungssehen ermöglichen, liefern die Zapfen bei guter Beleuchtung durch die Farbauflösung detailreiche Bilder.

Die Photorezeptoren enthalten große Mengen von Rhodopsinmolekülen, die in Membranstapeln eingebaut sind. Dort findet die Phototransduktion statt: Durch die Energie eines Lichtreizes ändert sich die Konformation

30

Sinne und Wahrnehmung

des Retinals, das mit dem Protein Opsin das Rhodopsin bildet. Jedes so aktivierte Rhodopsin kann bis zu 1000 G-Proteine (Transducine) aktivieren. Diese wiederum aktivieren in einer Verstärkerkaskade die Bildung sekundärer Botenstoffe. Dabei lösen sich cGMP-Moleküle von Natriumkanälen, was zu deren Schließen und damit zur Hyperpolarisation der Sinneszelle führt. Wirbeltierphotorezeptoren schütten im Dunkeln den Botenstoff Glutamat an den Synapsen aus, mit zunehmender Belichtung infolge der Hyperpolarisation allerdings immer weniger (Dunkelstrom).

30.5 Neuronale Verschaltungen in der Netzhaut führen zu verbesserter Bildauswertung

Die Verrechnung von Informationen einzelner Photorezeptoren der Netzhaut findet in einer kreisförmigen Umgebung statt (rezeptives Feld). Dort wird die Erregung benachbarter Rezeptoren addiert und mit derjenigen einer größeren kreisförmigen Umgebung mit umgekehrtem Vorzeichen verrechnet. Dabei spielen die mit mehreren Photorezeptoren verschalteten Horizontal- und Amakrinzellen eine Rolle. Ebenfalls damit verschaltet sind die Bipolarzellen und weiter die Ganglienzellen, die auf eine Beleuchtung des zentralen Feldes (Zentrum-an-Umgebung-aus-Zelle) oder des umgebenden Feldes (Zentrum-aus-Umgebung-an-Zelle) am stärksten erregt werden. Das führt zu der **Kontrastverstärkung**, die die Konturen von Gegenständen besonders gut hervortreten lässt. Im Zentrum des schärfsten Sehens kommt auf einen Photorezeptor eine Ganglienzelle, an der Peripherie der Netzhaut wird die Empfindlichkeit durch Zusammenfassung mehrerer Stäbchen durch eine Ganglienzelle erhöht.

In der Peripherie gibt es nur Stäbchen, also nur unbuntes Sehen. In Richtung Zentrum folgen dann Blau-Zapfen, noch weiter innen zentral Rot- und Grün-Zapfen.

Auch das Farbsehen erfordert eine Verrechnung auf der Ebene der Netzhaut, denn jeder Zapfen kann nur mehr oder weniger Glutamat ausschütten, soll aber über zwei Eigenschaften — Lichtstärke und Lichtwellenlänge — Auskunft geben. Das gelingt über die Verrechnung rezeptiver Felder.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 145 „Sinnesäusungen helfen Wahrnehmungen zu verstehen“

30.6 Nachbarschaftsbeziehungen von Sinneszellen finden sich bei der Informationsverarbeitung im Gehirn wieder

Bei den Verarbeitungsschritten in der Sehrinde bleiben Nachbarschaftsbeziehungen von Informationen erhalten und werden auch in benachbarten Bereichen im Gehirn weiter verarbeitet. So werden Farbinformationen zunächst getrennt von anderen Sehinformationen verarbeitet. Spätere Verarbeitungsschritte finden nebeneinander in spezialisierten Bereichen der Sehrinde (visueller Cortex) statt. Da sich die Sehnerven beider Augen unvollständig kreuzen, wird das linke Gesichtsfeld beider Augen in der rechten Gehirnhälfte verarbeitet, das rechte Gesichtsfeld in der linken.

Auch bei Körperempfindungen bleiben Nachbarschaftsbeziehungen bei der Verarbeitung im Gehirn erhalten. Bereiche mit besonders dichtem Besatz von Sinneszellen werden durch einen größeren Bereich im Gehirn (somatosensorischer Cortex) repräsentiert.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 146 „Veränderte Körperlage führt zu anderen Reaktionen“

30.7 Die Sinne erfassen nur einen Ausschnitt der verfügbaren Information

Viele Tiergruppen besitzen andere oder mehr oder weniger Zapfentypen als der Mensch. Es gibt auch Sinne, die nur bei bestimmten Tierarten vorkommen. Facettenaugen von Insekten können Reizqualitäten wie polarisiertes Licht empfangen. Zugvögel und Kompassstermiten nehmen das Magnetfeld der Erde wahr. Auch quantitativ unterscheiden sich Sinnesleistungen erheblich, so kann das Grubenorgan bei Schlangen als Infrarotsensor minimale Temperaturerhöhungen registrieren.