

Photorezeptoren und neuronale Verarbeitung – Experimente von Hubel und Wiesel

von Dr. Marcel Humar und Noë Trenz



© Guido Mieth/Stone

In dieser Unterrichtseinheit tauchen Sie mit Ihren Schülerinnen und Schülern in die Welt des Sehens auf neuronaler Ebene ein. Als Grundlage dienen die von den Nobelpreisträgern David Hubel und Torsten Wiesel durchgeführten Experimente zum Verständnis der Funktion der Photorezeptoren in der Retina sowie der Neuronen im visuellen Cortex unseres Gehirns. Ihre Schülerinnen und Schüler erarbeiten an diesem anschaulichen Beispiel das Prinzip des rezeptiven Felds bzw. der On-/Off-Zellen und erklären den Begriff des präferierten Stimulus bei der Ausrichtung eines Lichtreizes mithilfe von räumlicher Summation und Inhibition.

Photorezeptoren und neuronale Verarbeitung – Experimente von Hubel und Wiesel

Klasse 10

von Dr. Marcel Humar und Noë Trenz

Fachwissenschaftliche Einführung	1
Methodisch-didaktische Hinweise	2
M 1a: Das Sehsystem: Photorezeptoren und visueller Cortex	4
M 1b: Das Sehsystem: Photorezeptoren und visueller Cortex	6
M 2: Das rezeptive Feld – On- und Off-Zentrum-Zellen	9
M 3: Der präferierte Stimulus	11
M 4: Vom präferierten Stimulus zur Wahrnehmung	13
M 5: Räumliche Summation und Inhibition	14
Lösungen	17
Literatur	22

M 1a Das Sehsystem – ein Infotext zu Photorezeptoren und visuellem Cortex

Die Entstehung einer reichhaltigen, optischen Wahrnehmung, so wie sie beim Lesen dieses Satzes entsteht, besteht aus vielen komplexen neurobiologischen Teilschritten, die einen optischen Reiz zu einer optischen Wahrnehmung werden lassen. Wollte man jeden einzelnen Schritt mitverfolgen, würde man bereits nach kürzester Strecke den Überblick verlieren. Daher soll es für das Erste genügen, einen genaueren Blick auf das Sinnesorgan Auge und die Verarbeitungszentren der Sehbahn im Gehirn zu werfen.

Die Aufgabe von Sinnesorganen ist es, spezifische Reize aufzunehmen und in Signale umzuwandeln, die dann wiederum von einem speziellen Gehirnareal verarbeitet werden. Beim Sehsinn ist dies der visuelle Cortex (Sehrinde), der im hinteren Teil des Gehirns verortet ist. Der spezifische Reiz, der hier verarbeitet wird, ist der Lichtreiz in Form von



Grafik: Sylvana Timmer

Lichtwellen. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, treffen diese zunächst auf das Auge und werden von dort durch die Linse in bestimmter Weise auf die Retina (Netzhaut) gebrochen. Dort sitzen die Lichtsinneszellen, die sogenannten Photorezeptoren (Zapfen und Stäbchen). Das Sehsystem ist enorm komplex aufgebaut. Drei Verarbeitungsstationen lassen sich ausmachen: Zunächst wird Licht (Photonen, also kleine Lichtteilchen mit großer Energie) von den **Photorezeptoren absorbiert** und verändern dort das Membranpotenzial der Zelle, die Zelle wird also „erregt“. Diese Potenzialänderung wird im Anschluss auf eine komplexe Neuronenschicht übertragen, die man als **Schaltzellen** bezeichnet. Dazu gehören drei Zelltypen: die Amakrinzellen, die Horizontalzellen und die Bipolarzellen. Die Bipolarzellen empfangen die Signale der Photorezeptorzellen. Dabei sind die Photorezeptorzellen über die Horizontalzellen mit den Bipolarzellen verbunden. Die Amakrinzellen schließlich ver-

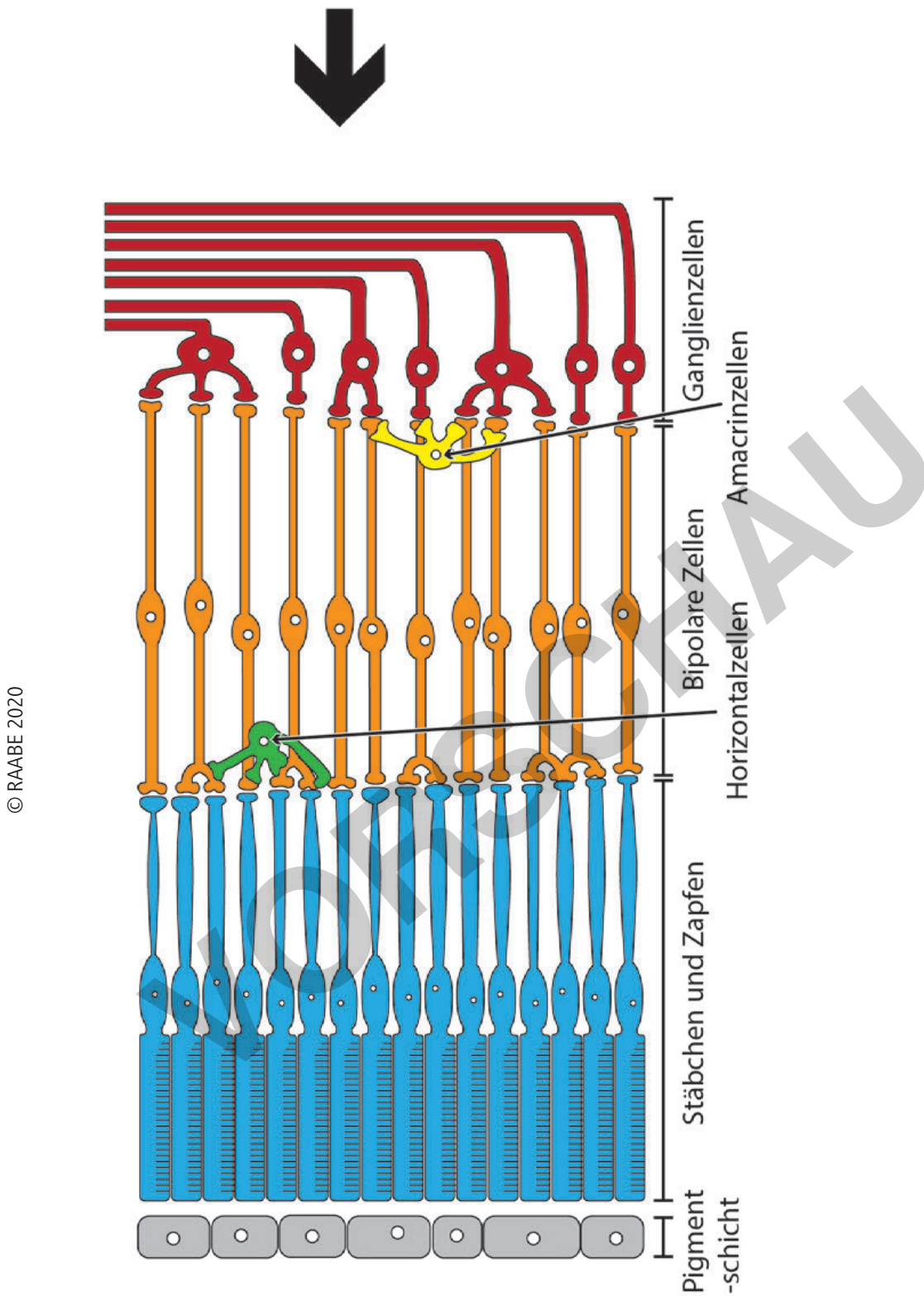


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Retina

Grafik: Sylvana Timmer

M 2 Das rezeptive Feld – On- und Off-Zentrum-Zellen



wikimedia commons/polini/CC BY-SA 2.0

Betrachtet man die hier dargestellten grauen Flächen genauer, fällt auf, dass es zwischen den Flächen zweier Graubereiche so scheint, als würde jede Fläche von einer hellen Linie und einer dunklen Linie gegen die andere Fläche abgegrenzt werden. Diese sogenannten Mach'schen Bänder existieren aber

nicht als diskrete Grenzen in der Realität. Wir nehmen sie lediglich als solche wahr. Es handelt sich bei diesen klaren Grenzen also um eine optische Täuschung. Wie aber kommt es zu dieser Täuschung?

Um diese Fragen beantworten zu können, ist es wichtig, die zugrunde liegenden Verrechnungsprozesse der sogenannten **rezeptiven Felder** zu verstehen. Die rezeptiven Felder wurden von Stephen Kuffler bereits in den 1950er-Jahren (an der Retina des Frosches) nachgewiesen. Rezeptive Felder bezeichnen einen Bereich von Photorezeptoren auf der Retina, der mit einer ganz bestimmten Ganglienzelle (Nervenzelle) verschaltet ist. Fällt ein Reiz auf diesen Bereich der Retina wird die Ganglienzelle entsprechend der Verschaltung aller beteiligten Nervenzellen des rezeptiven Feldes entweder gehemmt oder erregt. Rezeptive Felder haben zumeist verschiedene Bereiche und können insgesamt verschiedene Formen aufweisen. Das hat zur Folge, dass ein Reiz die nachgeschaltete Ganglienzelle nur erregen kann, wenn er in den entsprechenden Abschnitt des rezeptiven Felds fällt und die entsprechende Form aufweist. Kuffler entdeckte in den 1950er-Jahren die sogenannten **On- und Off-Zentrum-Zellen**.

Betrachten wir nun einmal die **On-Zentrum-Zelle** genauer. Die On-Zentrum-Zelle ist ein kreisförmiges rezeptives Feld mit einem hemmenden äußeren Ring (Peripherie) und einem erregenden inneren Kreis (Zentrum). Das bedeutet, Lichtflecke, die in den inneren Kreis der On-Zentrum-Zelle fallen, führen zu einer Erregung der nachgeschalteten