

# Inhalt

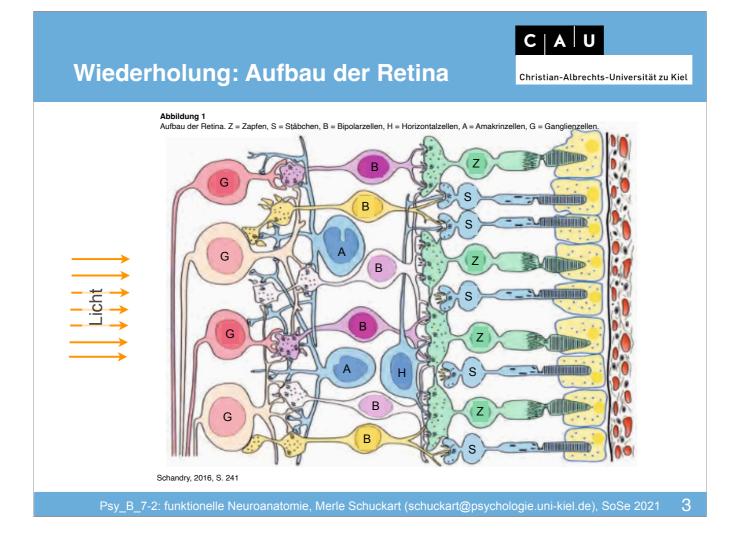


Referat: visuelles System (Schandry, Kapitel 12)

Verarbeitung visueller Reize

- Wiederholung: Rezeptive Felder, Ganglienzellen
- Wie funktioniert Farbsehen?

Gruppenarbeit: Kann eine blinde Person (bewusst) Farben sehen?

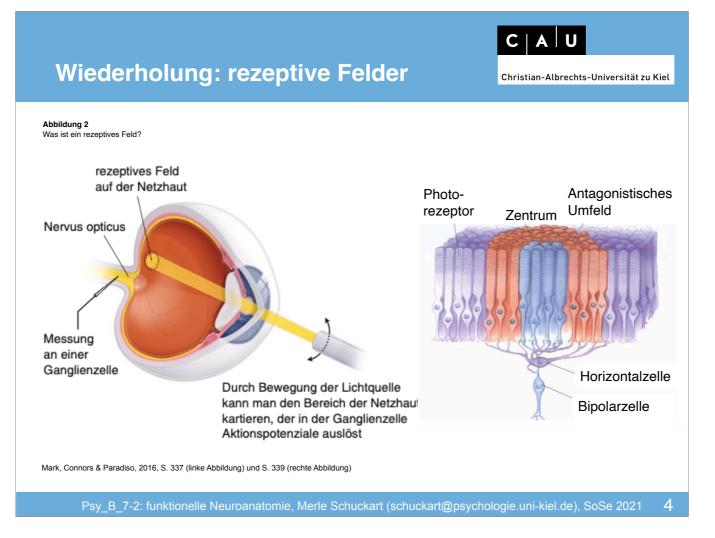


Achtung, nur Ganglienzellen können feuern (und einige Amakrinzellen auch), alle anderen Zellen in der Retina reagieren auf Reize nur mit einer Änderung ihres Membranpotentials.

Der einfachste Weg durch die Retina läuft von einem Zapfen über eine Bipolarzelle zu einer Ganglienzelle. An jeder Verschaltungsstelle zwischen diesen Zellen können Horizontal- und Amakrinzellen Einfluss auf die weitergeleitete Information nehmen.

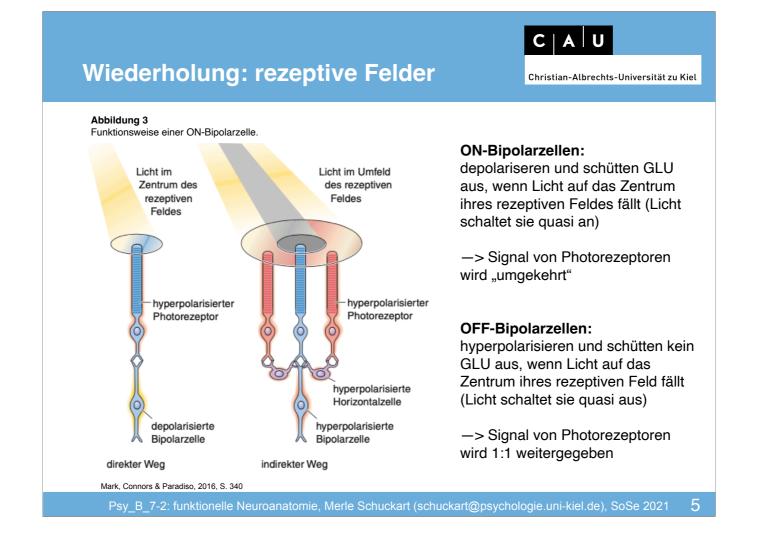
Wenn ein Schatten auf einen Photorezeptor fällt, depotarisiert er und reagiert mit der Ausschüttung von Glutamat (wichtig, er feuert nicht! Sekundäre Sinneszelle). Fällt Licht auf die Zelle in Form von Photonen, hyperpolarisiert die Zelle und es wird kein Glutamat ausgeschüttet. In gewisser Weise ist der "interessante" Stimulus für einen Photorezeptor also ein Schatten / Dunkelheit und nicht etwa ein Lichtreiz, wie man annehmen würde.

In der ersten Schicht der Retina befinden sich die Photorezeptoren, jeder davon hat einen Kontakt mit zwei Arten von Netzhautneuronen: Bipolarzellen der Ganglienzellen, Horizontalzellen dagegen nur indirekt, weil sie die Infos aus dem Photorezeptor zur Seite an eine andere Bipolarzelle weitergeben, die mit einer Ganglienzelle verknüpft ist.



Jede Bipolarzelle erhält direkte synaptische Informationen von einer Gruppe von Photorezeptoren. Die Anzahl der Photorezeptoren dieser Gruppe reicht von einem im Zentrum der Fovea bis zu einigen Tausend in der peripheren Netzhaut.

-> rezeptive Felder erklären



#### Aus dem Baer-Lehrbuch:

Auf der Grundlage ihrer Reaktionen auf das von Photorezeptoren freigesetzte Glutamat können Bipolarzellen und ihre rezeptiven Felder in die beiden Kategorien ON und OFF eingeteilt werden. Die Verschaltung, durch welche die rezeptiven Felder der Bipolarzel- len entstehen, umfasst den direkten Input durch die Photorezeptoren und indirekte über die Horizontalzellen vermittelten Eingänge (Abb. 9.26a).

Betrachten wir zunächst nur die Wechselwirkungen zwischen Zapfen und Bipolarzellen auf dem direkten Signalweg ohne Beteiligung von Horizontalzellen, wie sie in Abb. 9.26b dargestellt sind. Auf einen Zapfen auftreffendes Licht führt zur Hyperpolarisation einiger Bipolarzellen. Man bezeichnet diese als OFF-Bipolarzellen, weil sie durch Licht letztendlich ausgeschaltet werden.

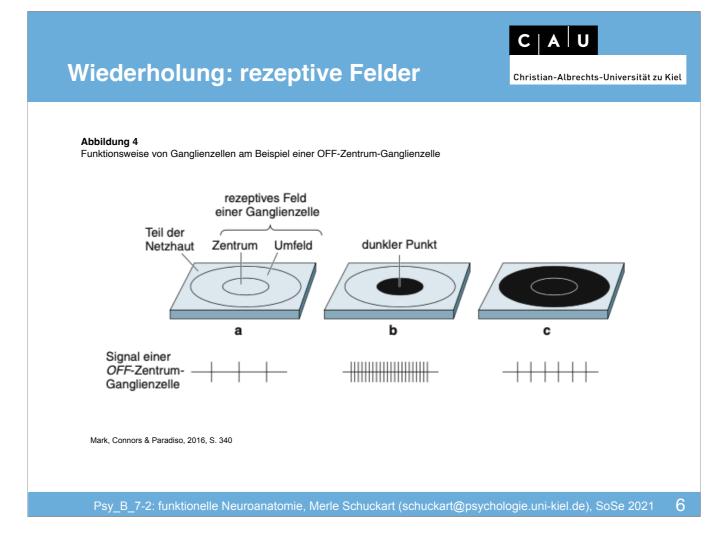
Andere Bipolarzellen werden dagegen depolarisiert, wenn Licht auf einen Zapfen trifft. Diese durch Licht "angeschalteten" Zellen nennt man ON-Bipolarzellen. Offensichtlich wandelt die Synapse zwischen Zapfen und Bipolarzelle das Signal vom Zapfen um: Der Zapfen hyperpolarisiert auf einen Lichtreiz, während die ON-Bipolarzelle depolarisiert.

Wie kommt es, dass verschiedene Bipolarzellen auf den direkten Input durch die Zapfen gegensätzliche Reaktionen zeigen?

Die Ursache hierfür ist, dass das von den Photore- zeptoren freigesetzte Glutamat auf zwei verschiedene Arten von Rezeptoren trifft. OFF-Bipolarzellen besitzen ionotrope Glutamatrezeptoren. Diese glutamatabhängigen Kanäle bewirken beim Einströmen von NaC-lonen ein klassisches depolarisierendes exzitatorisches postsynaptisches Potenzial. Bei einer Hyperpolarisierung des Zapfens wird weniger Neurotransmitter ausgeschüttet, was zu einer stärker hyperpolarisierten Bipolarzelle führt. Im Unterschied dazu besitzen ON-Bipolarzellen G-Protein-gekoppelte (metabotrope) Rezeptoren und reagieren auf Glutamat mit einer Hyperpolarisation.

Was tun die Horizontalzellen, wenn ein Photorezeptor in der Peripherie hyperpolarisiert?

Das gleiche, sie hyperpolarisiert auch. Die Hyperpolarisation der Horizontalzelle hat den Effekt, dass sie der Wirkung von Licht auf benachbarte Photorezeptoren entgegenwirkt.



Die rezeptiven Felder der meisten retinalen Ganglienzellen haben den konzentrischen Aufbau mit der Zentrum-Umfeld-Struktur, wie er bereits für die Bipolarzellen dargestellt wurde. ON-Zentrum- und OFF-Zentrum-Ganglienzellen erhalten Informationen von den zugehörigen Bipolarzelltypen.

Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass Ganglienzellen im Gegensatz zu Bipolarzellen Aktionspotenziale feuern. Sie feuern diese sogar unabhängig davon, ob sie Licht ausgesetzt sind oder nicht. Licht im Zentrum oder Umfeld des rezeptiven Feldes erhöht oder verringert die Feuerungsrate.

Eine ON-Zentrum-Ganglienzelle wird daher, sobald ein kleiner Lichtpunkt auf das Zentrum des rezeptiven Feldes projiziert wird, depolarisiert und reagiert mit einem Feuerwerk von Aktionspotenzialen. Eine OFF-Zentrum-Zelle feuert dagegen weniger Aktionspotenziale, wenn ein kleiner Lichtpunkt auf das Zentrum des rezeptiven Feldes projiziert wird, und mehr Aktionspotenziale bei einem kleinen dunklen Punkt im Zentrum des rezeptiven Feldes. Die Reaktionen beider Zelltypen auf die Stimulation des Zentrums werden jedoch durch die Reaktion auf die Reizung des Umfeldes ausgeglichen (Abb. 9.27).

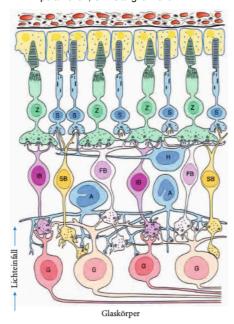
Die interessante Konsequenz daraus ist, dass die meisten Ganglienzellen der Netzhaut nicht besonders stark auf Veränderungen der Lichtstärke reagieren, die sowohl das Zentrum als auch das Umfeld des rezeptiven Feldes betreffen. Sie scheinen hauptsächlich auf Hell-Dunkel-Kontraste, also auf Unterschiede in der Lichtstärke innerhalb ihrer rezeptiven Felder anzusprechen.

### Wiederholung: Ganglienzellen



#### Abbildung 5

Aufbau der Retina. Z = Zapfen, S = Stäbchen, B = Bipolarzellen, G = Ganglienzellen.



Schandry, 2016, S. 241

### Arten von retinalen Ganglienzellen

### Parvozelluläres System (P-System):

- kleine Zellkörper, kleine rezeptive Felder
- · umfasst 90% der retinalen Ganglienzellen
- Input von Rot- & Grün-Zapfen
- · Muster- und Farberkennung

### Magnozelluläres System (M-System):

- · große Zellkörper, große rezeptive Felder
- Input von Stäbchen
- Kontrast- und Bewegungswahrnehmung

### Koniozelluläres System (K-System):

- · kleine Zellkörper, große Dendritenbäume
- · Input von Blau-Zapfen

Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Mehrere Stäbchen oder Zapfen konvergieren auf eine Bipolarzelle, bilden also ihr rezeptives Feld. Mehrere Bipolarzellen wiederum konvergieren auf eine Ganglienzellen verlaufen quasi vor der Retina und sind deshalb nicht myelinisiert, weil die Myelinschicht das Licht zu stark brechen würde. Erst wenn sich ihre Axone zum Sehnerv vereinen, kriegen sie eine Myelinisierung, wo dann auch die Reizweiterleitung beschleunigt ist.

Es gibt 3 Arten von Ganglienzellen, die unterschiedliche Aufgaben haben: Parvozelluläre Ganglienzellen (machen 90% der Ganglienzellen aus), Magnozelluläre Ganglienzellen aus) und Koniozelluläre Ganglienzellen (machen 5% aus). Jede Art von Ganglienzelle hat eine eigene Aufgabe, deshalb unterscheidet man hier zwischen dem parvozellulären, magnozellulören und koniozellulären System.

#### Magnozelluläres System (M-System):

- M-System umfasst magnozelluläre Zellen aus der Retina und dem Corpus geniculatum laterale im Metathalamus
- große Zellkörper mit großen rezeptiven Feldern
- Input von den Stäbchen
- 5% der retinalen Ganglienzellen
- Aufgabe: Kontrast- und Bewegungswahrnehmung

#### Parvozelluläres System (P-System):

- P-System umfasst parvozelluläre Zellen aus der Retina und dem Corpus geniculatum laterale im Metathalamus 80% der retinalen Ganglienzellen
- kleine Neurone mit dünnen Axonen
  - ---> langsame Reizweiterleitung
- kleine rezeptive Felder
- v.a. Input von Rot- & Grün-Zapfen
- Aufgabe: Muster- und Farbwahrnehmung

#### Koniozelluläres System (K-System):

- Input von Blau-Zapfen
- Form uneinheitlich, aber meist kleine Zellkörper mit weit verzweigten Dendritenbäumen, dünne Axone
- Bewegungserkennung, sonst unterschiedliche Aufgaben, innovieren über Zwischenstationen z.B. die Hirnareale, die für die Pupillensteuerung verantwortlich sind

Dann gibt es noch 1-3% der Ganglienzellen, die nur für die Lichtsensitivität zuständig sind

# Wiederholung: Photorezeptoren



### Abbildung 6

Stäbchen und Zapfen.



### · 3 Arten von photosensitiven Zellen:

- photosensitive Ganglienzellen = zirkadianer Rhythmus
- **Stäbchen** = (skotopisches) Hell-Dunkel-Sehen bei Dämmerung, eher am "Rand" der Retina
- Zapfen = (phototopisches, trichromatisches)
   Farbsehen, 3 Unterarten, konzentriert in der Fovea

### · sekundäre Rezeptoren

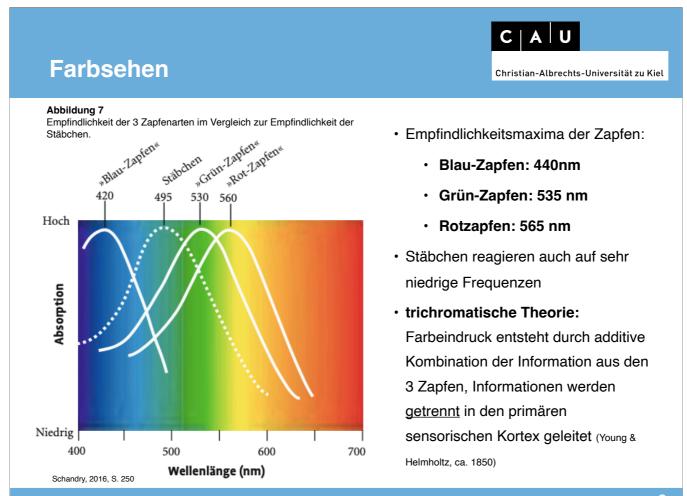
- —> Ausschüttung von Glutamat bei Dunkelheit, Hemmung der Ausschüttung bei Lichteinfall, dadurch Hemmung/Erregung der nachfolgenden Bipolarzellen
- -> kein Aktionspotential in der Rezeptorzelle selbst!

Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Photosensitive Ganglienzellen regeln den zirkadianen Rhythmus

Stäbchen sind lichtempfindlicher als Zapfen, da es aber nur eine Art gibt, können sie nur zwischen Helligkeitsstufen differenzieren —> in Dämmerung relevant

Zapfen = COnes ---> COlour



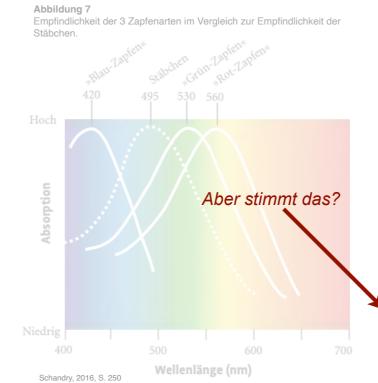
Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Achtung, Blau ist das kurzwellige (energiereiche) und rot das langwellige (energiearme) Licht, kann man sich gut merken, wenn man an Kerzen denkt: Der blaue Teil des Feuers am Docht ist der heißeste Teil der Flamme.

Stäbchen sind lichtempfindlicher als Zapfen, da es aber nur eine Art gibt, können sie nur zwischen Helligkeitsstufen differenzieren

# C A U Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

# Farbsehen



• Empfindlichkeitsmaxima der Zapfen:

· Blau-Zapfen: 440nm

· Grün-Zapfen: 535 nm

· Rotzapfen: 565 nm

 Stäbchen reagieren auch auf sehr niedrige Frequenzen

trichromatische Theorie:
 Farbeindruck entsteht durch additive
 Kombination der Information aus den
 3 Zapfen, Informationen werden
 getrennt in den primären

sensorischen Kortex geleitet (Young &

Helmholtz, ca. 1850)

Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

# Farbsehen - Überprüfung der trichromatischen Theorie

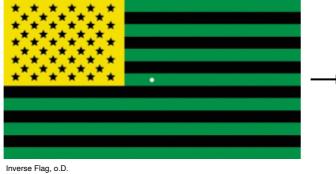


## Experiment:

Bitte schaut für mind. 30s auf den weißen Punkt und danach auf die weiße Fläche rechts. Was seht ihr?

### Abbildung 8

Experiment mit einer einfachen visuellen Illusion.



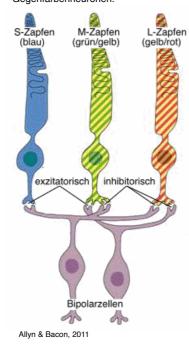
Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Hurra. Ein Nachbild. Wer hätte das gedacht? Ich ganz sicher nicht.

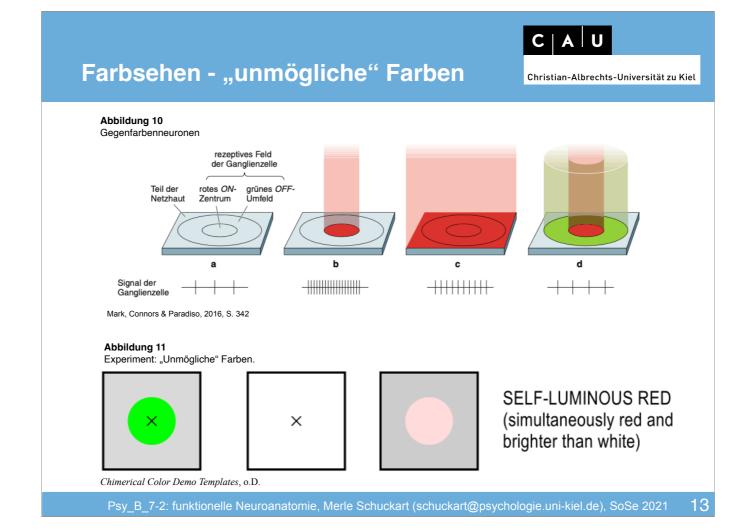
# Farbsehen - Gegenfarbetheorie



Abbildung 9
Gegenfarbenneuronen.



- trichromatische Theorie: Farbeindruck entsteht durch additive Kombination der Information aus den 3 Zapfen, Informationen werden getrennt in den primären sensorischen Kortex geleitet (Young & Helmholtz, ca. 1850)
  - -> Warum sieht man dann Nachbilder in Komplementärfarben?
- Opponenten- bzw. Gegenfarbentheorie (Hering, 1874)
  - · Opponentenpaare: Schwarz-Weiß, Rot-Grün, Blau-Gelb
  - Idee: Inaktivität und Aktivität haben eigene Bedeutung: z.B. Hemmung des Rot-Grün-Gegenneurons bedeutet Grün, Aktivität dagegen Rot



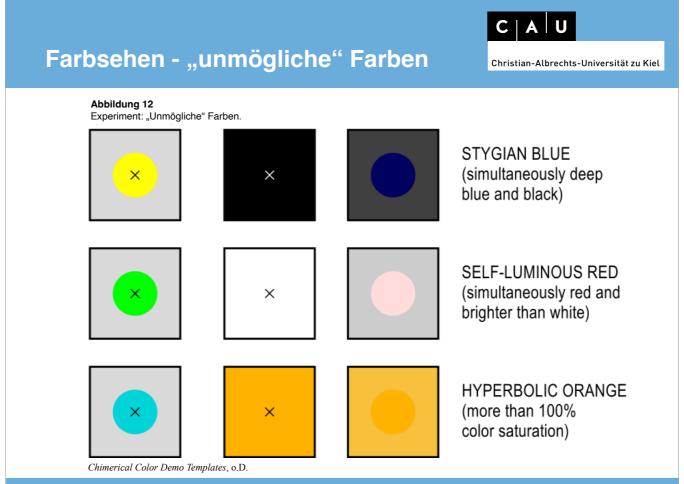
#### Gegenfarbenreaktion in Ganglienzellen.

a Ein auf Gegenfarben ansprechendes rezeptives Feld mit Zentrum-Umfeld-Struktur einer Ganglienzelle vom P-Typ.

b Trifft rotes Licht auf das Zentrum des rezeptiven Feldes, das Input von Rot-Zapfen erhält, also von für langwelliges Licht empfindlichen Zapfen, löst dies eine starke Reaktion aus.

c Wird die rote Beleuchtung so ausgeweitet, dass sie auch das Umfeld mit einbezieht, hemmt dies die Reaktion, weil die Grün-Zapfen, die für den Input im Umfeld sorgen, ebenfalls eine gewisse Empfindlichkeit für langwelliges Licht zeigen.

d Zu einer noch stärkeren Hemmung kommt es, wenn auf das Umfeld des rezeptiven Feldes grünes Licht trifft, das die Grün-Zapfen optimal anregt

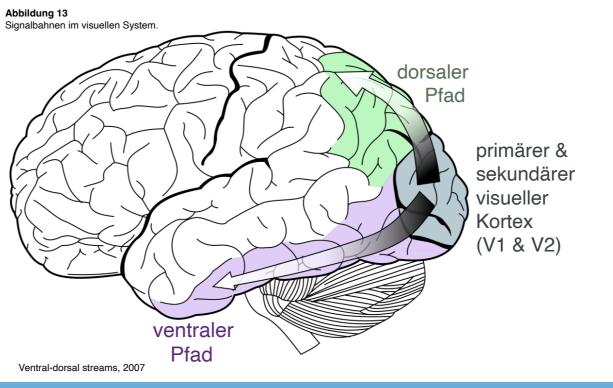


Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Noch mehr Nachbilder in komischen Farben!

# Wiederholung: kortikale Verarbeitung von visuellen Informationen





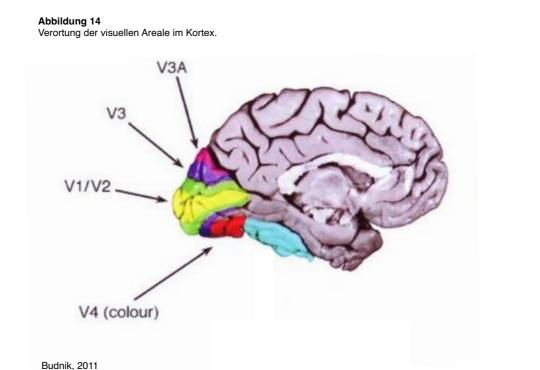
Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Ventraler Pfad = Objekterkennung: Was sehe ich? (Farbe, Größe)

Dorsaler Pfad = WO ist das Objekt? (Lokalisation)

# Wiederholung: kortikale Verarbeitung von visuellen Informationen





Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Farben werden im Ventilen Pfad verarbeitet, in den Arealen V1 - V4. V1 und V2 verarbeiten v.a. die Zusammensetzung des Lichts, also welche Wellenlängen mit welcher Intensität wahrgenommen wurden, in V3 werden Objektfarben verarbeitet und V4 ist für Farbkonstanz und das bewusste Wahrnehmen von Farben verantwortlich. Hat man eine Läsion im Bereich V4, kann man den Unterschied zwischen Licht mit verschiedenen Wellenlängen wahrnehmen, kann die Farben aber nicht benennen. In unserem Fallbeispiel ist das etwas anders, der Patient kann Farben noch benennen, seine Objekterkennung & Farbkonstanz ist aber nicht mehr intakt.

Das türkise Areal ist der fusiforme Gyrus für Gesichtswahrnehmung

# Gruppenarbeit



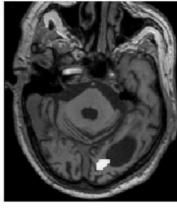
# The neurological basis of conscious color perception in a blind patient

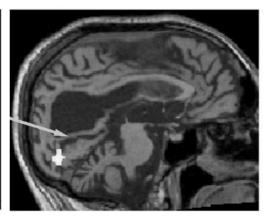
S. Zeki\*<sup>†</sup>, S. Aglioti<sup>‡</sup>, D. McKeefry<sup>§</sup>, and G. Berlucchi<sup>¶</sup>

\*Wellcome Department of Cognitive Neurology, University College, London WC1E 6BT, United Kingdom; \*Dipartimento di Psicologia, Università di Ron "La Sapienza", 1-00185 Rome, Italy; \*Dipartimento di Scienze Neurologiche e della Visione, 37134 Verona, Italy; and \*Biomedical Sciences, University of Ulster, County Derry, Northern Ireland BT52 1SA, United Kingdom

Communicated by James M. Sprague, University of Pennsylvania School of Medicine, Philadelphia, PA, August 31, 1999 (received for review February 2, 1999)

Abbildung 10 MRT von Patient PB.





Zeki, Aglioti, McKeefry & Berlucci, 1999, S. 14126

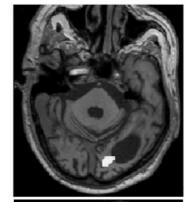
Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

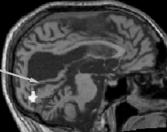
# Gruppenarbeit

- C A U

  Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- MRT: große Schäden im okzipital-temporalen Bereich nach Unterversorgung des Gehirns mit Sauerstoff (Herz- und Atemstillstand)
- PB erholt sich in vielen Bereichen (Sprachverständnis, Hören, Gehen), weist aber Schwierigkeiten auf z.B. im Bereich der Propriozeption, des haptischen Erkennens und insbesondere des Sehens
  - —> Tests der visuellen Funktionen: PB erkennt An- und Abwesenheit von Licht; Pupillenreaktion und Blinzeln intakt; grobe Verfolgungsbewegungen der Augen nur bei Reizen im rechten Gesichtsfeld vorhanden; kann nicht fixieren; Sehschärfe kann nicht getestet werden, es werden keinerlei Zeichen erkannt; PB kann Farben benennen; selten werden Objekte über die Farbe erkannt (z.B. eine Orange); normalerweise werden visuell dargebotene Objekte nicht erkannt; Zeigen oder Greifen nach Objekten ist stark gestört, ab und zu klappt es, wenn das Objekt im rechten Gesichtsfeld ist.
- PB kann keine Formen erkennen
- Paradoxerweise berichtet er von bewussten Farbempfindungen, die auch mit den Objekten der Außenwelt korrelieren

Abbildung 10 MRT von Patient PB.





Zeki et al., 1999, S. 14126

Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

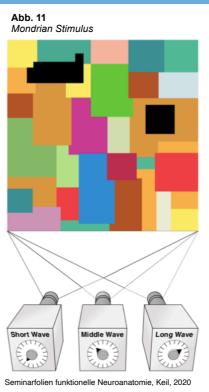
45

## **Gruppenarbeit - Aufgabe 1**



**Aufgabe 1:** (—> Vornamen mit A - L) **Psychophysikalische Untersuchungen und Ergebnisse** 

- a) Welche **psychophysikalischen Untersuchungen** wurden durchgeführt (S. 14125 rechts)?
  - Was ist der "void mode" und was ist der "normal mode" der Farbwahrnehmung?
- b) Ergebnisse: Welche Wahrnehmung berichtete PB ("Psychophysical Results" ab S.14126 rechts)?
  - Ergebnisse: Form vs. Farbe?
  - Ergebnisse: Farbkonstanz? Vergleich zu gesunden Proband\*innen? (s. auch Zusammenfassung der Ergebnisse S. 14128, "PB's Abnormal Color Vision" Zeile 1-11)
- c) Was ist Farbkonstanz (s. Einleitung S. 14124 links Mitte)?
  - Wieso ist Farbkonstanz eine besondere Leistung?
  - Denkt an den Input: Wie nehmen wir "Farben" auf retinaler Ebene wahr?



Psy\_B\_7-2: funktionelle Neuroanatomie, Merle Schuckart (schuckart@psychologie.uni-kiel.de), SoSe 2021

Das Bild ist btw nicht aus dem Paper

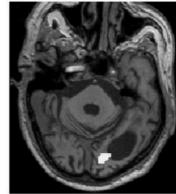
## **Gruppenarbeit - Aufgabe 2**

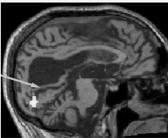


**Aufgabe 2:** (—> Vornamen mit M - Z) **fMRI Untersuchung und Ergebnisse** 

- a) Wie funktioniert **Farbwahrnehmung (grob) auf kortikaler Ebene** (s. Einleitung S. 14124 links unten)?
- b) Welche Stimuli wurden während des fMRI gezeigt?
- c) Welche Bereiche des Gehirns sind bei PB wann aktiviert (S. 14127 rechts und Abbildungen)? Welche Bereiche sind bei der gesunden Kontrollperson aktiv?
- d) Wie sind die Ergebnisse zu interpretieren in Hinblick auf die postulierten Struktur-Funktions-Zusammenhängen aus Aufgabe 2a)?

Abbildung 10 MRT von Patient PB.





čeki et al., 1999, S. 14126

## Nächste Woche



Referat: Das auditorische System

### Vorbereitung auf die nächste Sitzung

### Paper:

Liegeois-Chauvel, C., Peretz, I., Babaï, M., Laguitton, V., & Chauvel, P. (1998). Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. Brain, *121*(10), 1853–1867

### Aufgaben:

### Vornamen mit A-L:

Ergebnisse ab S. 1860 - linke vs. rechte Hemisphäre betroffen und T1 vs. T1S.

-> Welche Befunde zeigten sich in den Tests?

### Vornamen mit M-Z:

Ergebnisse S. 1861 (alles außer pre- & postsurgery comparison) - anteriore vs. posteriore Bereiche bei T1.

-> Welche Befunde zeigten sich in den Tests?

## Literatur



- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2016). Neurowissenschaften (4. Aufl.). Springer Publishing. doi: 10.1007/978-3-662-57263-4
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A. & Hudspeth, A. J. (2012). Principles of Neural Science (5. Aufl.). McGraw-Hill Education Ltd.
- Schandry, R. (2016). Aufbau und Funktion des Nervensystems. In Biologische Psychologie (4. ü. Aufl., S. 109-162). Beltz Verlag.
- Zeki, S., Aglioti, S., McKeefry, D. & Berlucchi, G. (1999). The neurological basis of conscious color perception in a blind patient. Proceedings of the National Academy of Sciences, 96(24), 14124-14129. https:// doi.org/10.1073/pnas.96.24.14124



### **Abbildungen**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

- Allyn & Bacon. (2011). Perception of Color [Illustration]. Abgerufen von https://kaiserscience.wordpress.com/physics/electromagnetism/perception-of-color/
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2016). Neurowissenschaften (4. Aufl.). Springer Publishing. doi: 10.1007/978-3-662-57263-4
- [Illustration]. (2014, 15. Januar). Chimerical Color Demo Templates. Abgerufen von https://en.wikipedia.org/wiki/ Impossible\_color#/media/File:Chimerical-color-demo.svg
- [Illustration]. (o. D.). Inverse Flag. Abgerufen von http://usd-apps.usd.edu/coglab/InverseFlag.html
- [Illustration]. (2007). Ventral-dorsal streams. Abgerufen von https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ventral-dorsal\_streams.svg
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A. & Hudspeth, A. J. (2012). Principles of Neural Science (5. Aufl.). McGraw-Hill Education Ltd.
- Zeki, S., Aglioti, S., McKeefry, D. & Berlucchi, G. (1999). The neurological basis of conscious color perception in a blind patient. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(24), 14124–14129. https://doi.org/ 10.1073/pnas.96.24.14124