

PSYCHOPHYSISCHE EXPERIMENTE ZUM FARBENSEHEN

BIOLOGISCHER HINTERGRUND

In den bisherigen Kurstagen haben Sie sich überwiegend mit der Bildung und Weiterleitung neuronaler Signale beschäftigt, sowie Methoden zur Messung dieser Signale kennen gelernt. Für viele Fragestellungen ist es jedoch nicht möglich, direkte Messungen an Neuronen oder im Gehirn vorzunehmen, um so die neurobiologischen Grundlagen bestimmter Phänomene untersuchen zu können. In diesen Fällen kommen biophysikalische Methoden zur Anwendung. Die Psychophysik beschreibt und untersucht die Beziehungen zwischen physikalischen und chemischen Reizen der Umwelt und subjektiven Vorgängen beim Menschen, wobei sie Wahrnehmungen und Emotionen einschließt. Sie umfasst also gleichermaßen Gebiete der Physik, der Biologie (Neuro- und Sinnesphysiologie) und der Psychologie.

In psychophysischen Experimenten zum Farbsehen kann man untersuchen, wie die Farbwahrnehmung von den physikalisch beschreibbaren Reizen abhängt. Beim Studium der Sehwahrnehmung werden die Lichtreize dabei von den Versuchspersonen bezüglich ihrer Gleichheit (Identitätsurteil), bezüglich des Grades ihrer Verschiedenheit (Ähnlichkeitsurteil) oder bezüglich ihrer Qualität beurteilt. Untersucht man das Farbsehen, dann besteht die Beurteilung der Qualität des Lichtreizes darin festzustellen, um welche Art von Farben es sich handelt.

Dieser Praktikumstag soll Ihnen eine Einführung in die Psychophysik des Farbsehens und die in diesem Zusammenhang zu beobachtenden Phänomene geben. Sie sollen lernen, die Phänomene der Farbsehens neurophysiologisch erklären zu können.

PHYSIOLOGIE DES FARBENSEHENS

Farbempfindungen entstehen im Gehirn dadurch, dass emittiertes oder reflektiertes Licht auf die Retina im Auge fällt und von Photorezeptoren absorbiert wird. Über eine Signalkaskade wird die Information über den Lichtreiz transduziert, d.h. der physikalische Reiz wird in ein Rezeptorpotential übersetzt (Reiztransduktion), und in dem nachgeschalteten neuronalen Netzwerk der Retina weiterverarbeitet.

Die menschliche Farbwahrnehmung ist trichromatisch, da drei spektrale Rezeptortypen beteiligt sind. Diese werden als Blaurezeptor (oder S-Rezeptor, für kurzwelliges blaues Licht), Grünrezeptor (oder M-Rezeptor, für mittelwelliges grünes Licht) und Rotrezeptor (oder L-Rezeptor, für langwelliges rotes Licht) bezeichnet. Die unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeitsbereiche der Rezeptoren (Abb. 1) sind Voraussetzung für ein Farbsehsystem, jedoch nicht allein ausreichend. Erst die entsprechende neuronale Verschaltung ermöglicht die Farbwahrnehmung, d.h. physikalisch gesehen existieren Farben nicht. Der einzelne Photorezeptor stellt nur einen farbenblinden Lichtquantenzähler dar. So kann der S-Rezeptor – der also überwiegend im kurzwelligen

Teil des Spektrums empfindlich ist – nicht unterscheiden, ob und wie viel der absorbierten Energie von Lichtquanten mit 420 nm oder 480 nm Wellenlänge stammen.

Die Signale der Photorezeptoren werden in den nachgeschalteten Gegenfarbneuronen dann so ausgewertet, dass diese Zweideutigkeit verschwindet und die spektralen (also wellenlängenabhängigen) Eigenschaften des Lichts unabhängig von der Intensität des Lichtreizes analysiert werden.

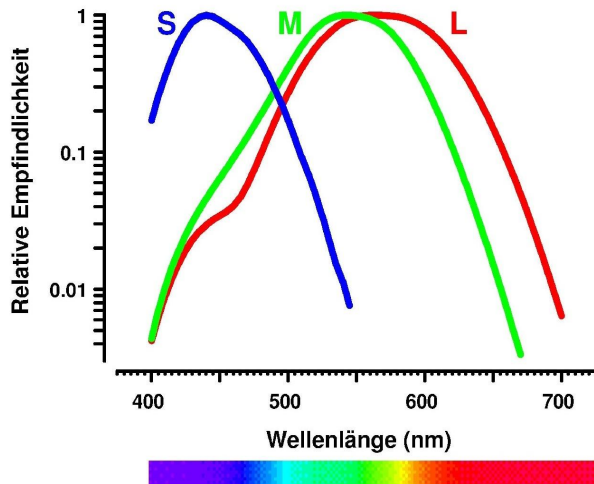


Abb. 1: Die spektralen Empfindlichkeitskurven der menschlichen, am Farbsehen beteiligten Photorezeptoren (Zapfen): S-, M- und L-Rezeptor. Die Bezeichnung leitet sich aus der Lage der Empfindlichkeitsmaxima ab (short (S), middle (M) und long (L) wavelength receptor). Oft werden sie auch nach der menschlichen Farbe des Spektrallichtes aus dem Wellenlängenbereich, in den die Maxima fallen, benannt: Blau-, Grün- und Rotrezeptor.

Grundlegendes Merkmal der auswertenden visuellen Neurone ist die Subtraktion von Rezeptorsignalen, z.B. das M- und L-Rezeptorsignal wird positiv verschaltet und das S-Rezeptorsignal negativ (Abb.2). Bei unbunten (achromatischen) Farben, wie Schwarz, Weiß, Grau, erfolgt die Verarbeitung über Neurone, die die Rezeptorsignale einfach summieren, und daher nicht unterscheiden können, wie viel Erregung von welchem Rezeptor stammt. Sie sollen informieren, wie intensiv ein Lichtstimulus ist. Die neuronale Verschaltung der Photorezeptoren führt also dazu, dass es chromatische Neurone (spektral antagonistisch verschaltete) und achromatische Neurone gibt. Letztere erhalten in der Fovea centralis (Bereich des schärfsten Sehens) von allen 3 spektralen Rezeptortypen (S, M, L, siehe Abb. 1) gleichartigen Eingang, außerhalb der Fovea erhalten diese Neurone Eingang von den Stäbchen.

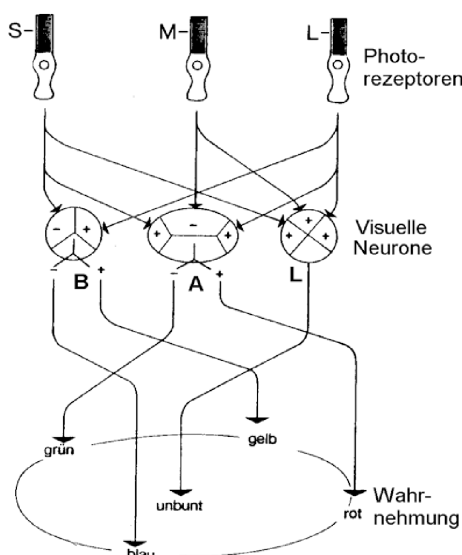


Abb. 2: Neurophysiologisches Modell der neuronalen Verschaltung im menschlichen Farbsehsystem.

MODELLE ZUM FARBENSEHEN

Untersucht man das Farbensehen, dann besteht die Beurteilung der Qualität des Lichtreizes darin, festzustellen, um welche Art von Farben es sich handelt, also ob sie als reine Farben (Urfarben) oder als gemischte Farben wahrgenommen werden.

Als die 6 **Urfarben** gelten beim Menschen nach Ewald Hering Blau, Gelb, Grün, Rot, Schwarz und Weiß. Alle anderen Farbempfindungen entstehen aus der Mischung von Urfarben. Dabei können Rot und Grün bzw. Blau und Gelb nie gleichzeitig auftreten, sie scheinen sich gegenseitig auszuschließen. Deshalb bezeichnet man diese Paare als **Gegenfarbenpaare**. Dies gilt nicht für das verbleibende Paar der (achromatischen) Urfarben Schwarz und Weiß: Im Grau können sie gemeinsam auftreten. Gemischte Farben entstehen z.B. aus Gelb und Rot (Orange) oder aus Rot und Blau (Purpur).

Dieser Vorstellung stand im 19. Jahrhundert die von Thomas Young begründete **trichromatische Theorie des Farbsehens** gegenüber, die auf den Erkenntnissen von Newtons Farbmischexperimenten mit monochromatischen Lichtern basierte und von James Maxwell und Hermann von Helmholtz weiter vertieft wurde. Im Mittelpunkt dieser Theorie steht die Beobachtung, dass sich jede Farbe aus drei in einem spezifischen Intensitätsverhältnis gemischten so genannten Primärlichtern (Rot, Grün, Blau) herstellen lässt. Eine weitere Beobachtung war, dass sich die gleiche Farbe durch verschiedene Lichtmischungen erzeugen lässt (**metamere Farben**) und dass sich eine große Zahl von Farbpaaren zu Unbunt mischen lässt (Komplementärfarbenpaare). Diese Farbmischungsregeln wurden mathematisch beschrieben und bildeten die Grundlage für die Entwicklung von Farbräumen und Farbsehmodellen. Aufgrund dieser Betrachtungsweise gelangt man zu 8 Grundfarben: Rot, Grün, Blau, Gelb (Mischung aus Rot und Grün), Magenta (Blau und Rot), Cyan (Grün und Blau) sowie Schwarz und Weiß.

Das klingt alles ganz schön verwirrend und ist es auch, denn tatsächlich sind die **4 Urfarben** (Blau, Gelb, Rot, Grün, nach der Gegenfarbentheorie von Hering) und die **6 Grundfarben** (Blau, Gelb, Rot, Grün, Magenta, Cyan, nach der Young-Helmholtz'schen trichromatischen Theorie) nicht dasselbe, da sich die Bezeichnungen für qualitative Wahrnehmungsphänomene (Farben) auf zwei verschiedene Theorien des Farbsehens beziehen. Tatsächlich stellte sich heraus, dass beide Theorien zutreffend sind, die trichromatische Theorie (nach Young) auf der Ebene der Rezeptoren und die Gegenfarbentheorie (nach Hering) auf der Ebene der neuronalen Verschaltung.

FARBÄRÄUME

In verschiedenen Lebensbereichen ist es wichtig, Farben nicht nur mit Worten beschreiben zu können, sondern objektiv mit numerischen Werten. Dazu werden Farbräume bzw. Farbdigramme genutzt. Sie ermöglichen es, Farbunterscheidungen quantitativ zu erfassen und auszuwerten.

Der Rezeptorfarbraum

Da die drei spektralen Photorezeptortypen unabhängig voneinander arbeiten, kann man drei Eingangsparameter für das Farbsehsystem definieren. Daraus kann ein dreidimensionales Koordinatensystem, ein Farbraum, konstruiert werden (Abb. 4), in dem jeder Farbe ein Farbort mit drei Koordinaten (P_s , P_m , P_l) zugewiesen werden kann. Der Farbort befindet sich am Ende des Farbvektors (F), der aus der Nullkoordinate des Koordinatensystems hervorgeht. Die Länge des Vektors entspricht der Intensität des Lichtstimulus (in der Wahrnehmung: der Helligkeit des Stimulus). Dieser dreidimensionale Farbraum ist bestimmt, wenn man nicht an der Intensität des Lichtes interessiert ist, denn diese drückt sich nur in der Länge des Vektors F aus. Die

Farbe wird durch den Raumwinkel des Vektors F beschrieben. Man kann also den dreidimensionalen Raum auf einen zweidimensionalen reduzieren. Dazu muss man die drei Achsen normieren (z.B. für weißes Licht: $P_S = P_M = P_L = 1$) und festlegen, dass man als "Farbort" f einer Farbe den Durchstoßpunkt des Vektors in der Farbebene bezeichnet. Diese Farbebene, die zwischen den Normierungspunkten aufgespannt wird, ist ein Dreieck (Farbdreieck). Da heute die spektralen Eigenschaften der menschlichen Photorezeptoren bekannt sind, kann man sich auf die Farbebene im "RGB-Raum" beziehen, in dem für die Achsen P_L , P_M und P_S jeweils die nicht-linearen Transduktionseigenschaften der langwelligen Rezeptoren (P_L ; R), der mittelwelligen (P_M ; G) bzw. der kurzwelligen Rezeptoren (P_S ; B) angenommen werden.

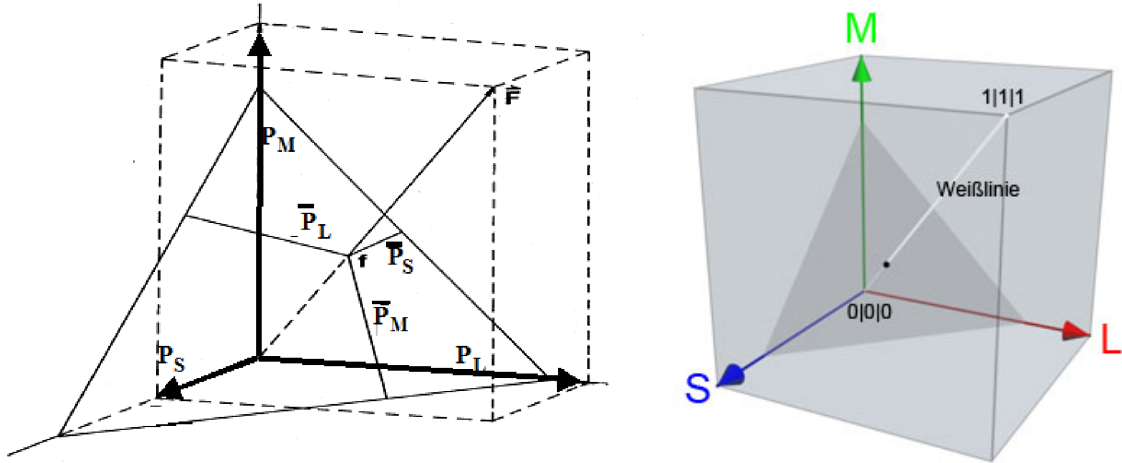


Abb. 4: Der (Rezeptor-)Farbraum mit Farbdreieck

In einem solchen Farbdreieck gelten nun einige einfache Regeln:

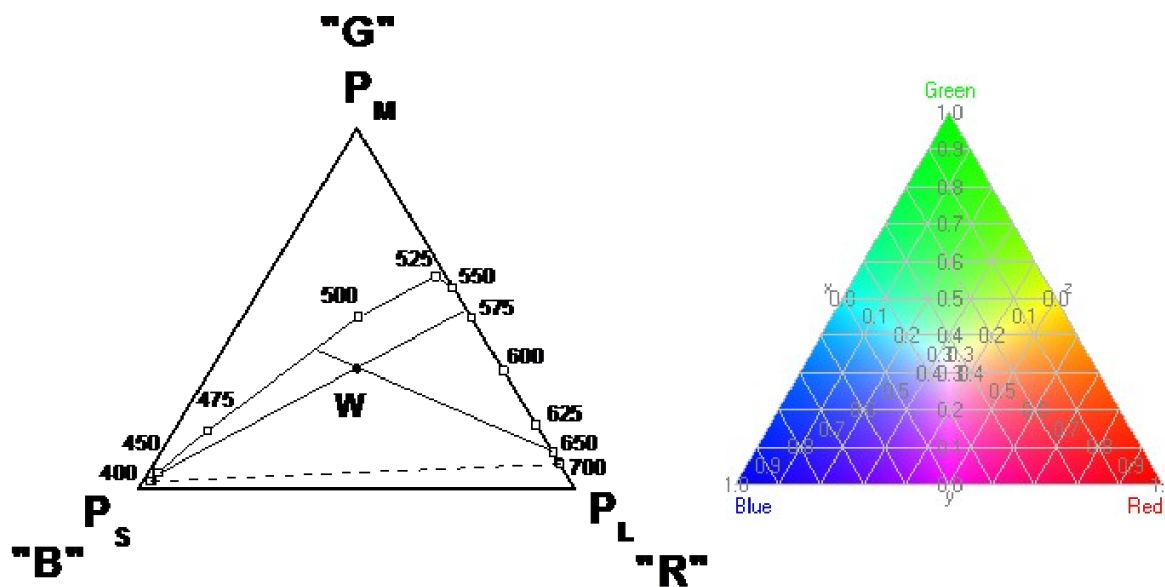


Abb. 5: Farbdreieck mit Spektralfarbenzug. W – Weißpunkt.

Monochromatische Lichter haben ihre Farborte auf dem Spektralfarbenzug (Abb. 5). Der Spektralfarbenzug ist durch eine Mischungsgerade, die Purpurgerade geschlossen (gestrichelte Linie in Abb. 5). Auf dieser

Geraden liegen alle Mischungen der beiden monochromatischen Lichter an den Enden (blau und rot) des für den Menschen sichtbaren Wellenlängenbereichs. Der Spektralfarbenzug ist konvex gekrümmt. (Warum ist das so?) Legt man durch den Weißpunkt W Geraden, so schneiden diese den Spektralfarbenzug an jeweils zwei Punkten (beispielhaft sind 2 Geraden eingezeichnet). Die Schnittpunkte sind die Farborte der monochromatischen Komplementärlichter, also der Lichter, die im richtigen Verhältnis gemischt Weißlicht ergeben (additive Farbmischung).

2 Überlegen Sie: Warum liegen die Farborte von spektral breitbandigen Lichtern stets innerhalb des Spektralfarbenzuges? Warum lässt sich aus solchen breitbandigen Lichtern nicht jede Farbe mischen (welche nicht?)?

Eine weitere Eigenschaft unserer Farbwahrnehmung lässt sich mit dem Farbdreieck qualitativ gut beschreiben: Betrachtet man Farbstimuli, deren Farborte auf einer Mischungsgeraden liegen und sich vom Weißpunkt immer mehr dem Spektralfarbenzug nähern, dann erscheinen uns diese zunehmend gesättigt (reiner in der Farbe bei gleichartiger Farbe). Nimmt man diese Eigenschaft unserer Farbwahrnehmung zu den anderen beiden bereits dargestellten hinzu, so lassen sich für jede Farbe drei qualitative Urteile abgeben: ihre Farbart (= Ort im Farbdreieck), ihre Helligkeit/Intensität (= Länge des Vektors im RGB-Raum), ihre Sättigung (= Entfernung vom Weißpunkt).

Der RGB-Farbraum und das Farbdreieck eignen sich gut, um die Gleichheit von zwei Farbstimuli zu bestimmen: Ihre Farborte müssen dann genau übereinander liegen. Weniger gut geeignet sind diese Darstellungsweisen, um Farbunterschiede zu quantifizieren. Das liegt daran, dass an der Farbwahrnehmung eine Reihe nicht-linearer Prozesse beteiligt sind, die deswegen nur annäherungsweise mit der linearen Geometrie des RGB-Farbraums beschreibbar sind. Außerdem beschreiben der RGB-Farbraum und das Farbdreieck nicht die von Hering gefundenen Phänomene der Gegenfarben. Das ist auch nicht verwunderlich, weil diese Wahrnehmungsphänomene auf die neuronale Verschaltung der Rezeptoreingänge zurückgehen. Es liegt daher nahe, ein Farbsehmodell auf Annahmen solcher neuronalen Verschaltungen aufzubauen. Damit können sich auch Farbunterschiede besser quantifizieren lassen.

Der L^*A^*B - Farbraum

Ein Beispiel für die Einbeziehung der Gegenfarben ist der $L^*a^*b^*$ -Farbraum (Abb. 6), der 1976 von der CIE (Commission Internationale d'Eclairage) eingeführt wurde. a^* und b^* versteht man als Äquivalent für die zwei Gegenfarbmechanismen, die beim Menschen bekannt sind (Rot-Grün und Blau-Gelb). L^* steht für die Helligkeit einer Farbe. Durch diese Weiterentwicklung wurde die mathematische Beschreibung der Farbwahrnehmung besser an die Funktionsweise des menschlichen Sehsystems angepasst. Jede Farbe hat auch hier drei Koordinaten (L^* , a^* , b^*).

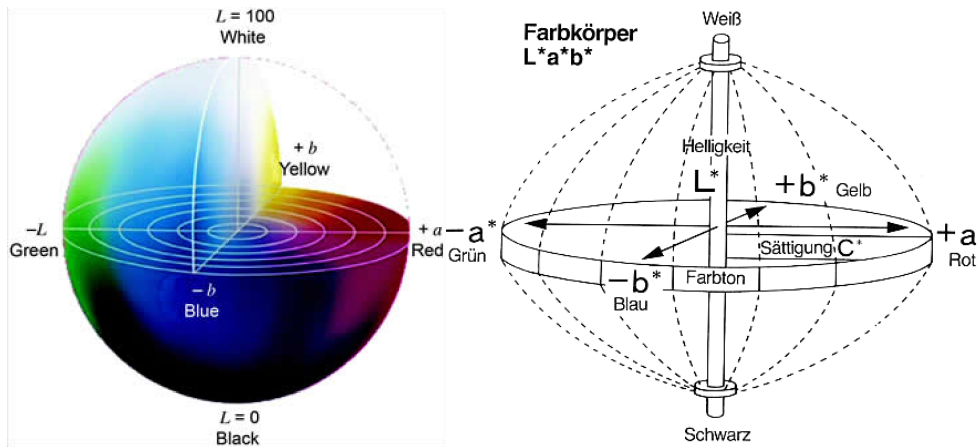


Abb. 6: Der CIE $L^*a^*b^*$ -Farbkörper.

ADDITIVE UND SUBTRAKTIVE FARBMISCHUNG

Die Überlagerung von Lichtstimuli bezeichnet man als additive Farbmischung, d.h. ein gleichzeitiges Zusammenwirken von Farbreizen auf der Retina (Abb. 7). Die additiven Grundfarben sind Rot, Grün, Blau. Unser Auge löst die Leuchtpunkte eines Farbmonitors bei normalem Betrachtungsabstand (ca. 30 cm) nicht räumlich auf, sodass es zur additiven Farbmischung kommt. Die Gesetze der additiven Lichtmischung können deshalb auch auf einem Computer mit Farbmonitor gezeigt werden. Verändert man die drei Elektronenströme des Farbmonitors (relative R, G, B-Werte), so verändern sich die Lichtintensitäten I des von den Leuchtstoffen ausgesandten Lichts und damit der wirksame Photonenstrom in den drei Photorezeptoren. Da der ausgesandte Lichtstrom exponentiell mit den R, G, B-Werten zunimmt (Bildröhren-Gamma-Funktion: $I \sim 10^{R, G, B}$), steigt die Erregung in den Photorezeptoren und damit der subjektive Helligkeitseindruck etwa linear mit den R, G, B-Werten an. Warum ist das so? Die R, G, B-Werte sind so normiert, dass die Gesamtleuchtdichte für Weiß $Y_{\max} = R_{\max} + G_{\max} + B_{\max}$ ist und dabei $R_{\max} = G_{\max} = B_{\max}$. Da der Helligkeitseindruck nach dem Fechner'schen Gesetz näherungsweise logarithmisch von der Lichtintensität abhängt, sinkt also bei Halbierung der R, G, B-Werte auch der Helligkeitseindruck der jeweiligen Farbe annäherungsweise auf die Hälfte.

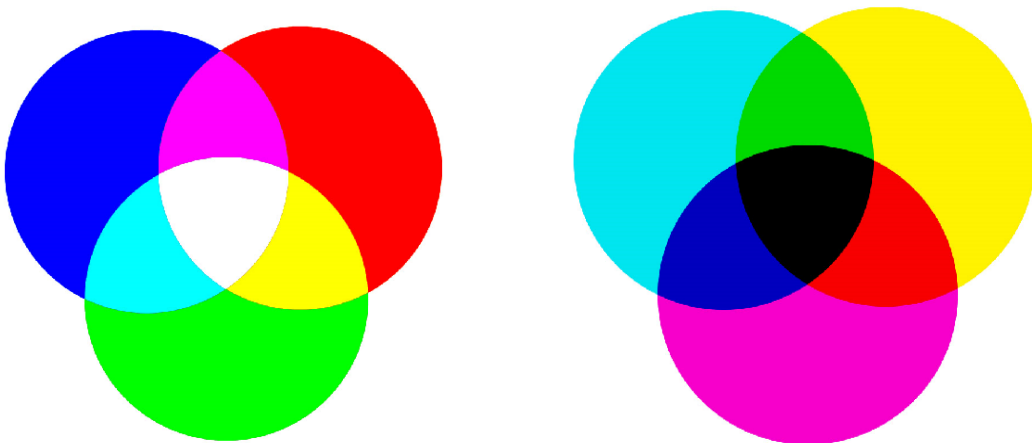


Abb. 7: Additive Farbmischung & Subtraktive Farbmischung

Subtraktive Farbmischung entsteht dann, wenn von der vorhandenen Strahlungsenergie durch Absorption (Farbpigment) ein Teil entnommen wird (Abb. 8). Legt man z.B. zwei Farbpigmentkörnchen von Pigmentfarben übereinander, dann wird nur der Teil des Lichtspektrums reflektiert, der von keinem der beiden Pigmentkörnchen absorbiert wird.

SIMULTANER UND SUKZESSIVER FARBKONTRAST

Die simultane Hemmwirkung benachbarter Sehbereiche ist Ihnen für Schwarz/Weiß-Muster bereits bekannt (Machbänder, Herrman'sche Gittertäuschung, laterale Inhibition). Sie führt zu einer Kontrastüberhöhung. Dem simultanen Farbkontrast liegt ein vergleichbarer Mechanismus zugrunde, der die Verschaltung visueller Neurone im Sehkortex widerspiegelt. Im Unterschied zur Schwarz/Weiß-Kontrastüberhöhung ist die Farbkontrastüberhöhung kein lokaler Effekt in den Randbereichen der Flächen, sondern ein großflächiger Effekt (Abb. 9,10). Der wahrgenommene Farbton verändert sich je nach der Farbe der unmittelbaren/angrenzenden Umgebung.

Der sukzessive Farbkontrast beruht auf der selektiven spektralen Adaptation von Gegenfarbenneuronen der Retina, die durch das Fixieren von Reizlichtern entsteht. Darum kann man z.B. auch Nachbilder bei Augenbewegungen mitbewegen. Der wahrgenommene Farbton verändert sich je nach zuvor gesehener Farbe.

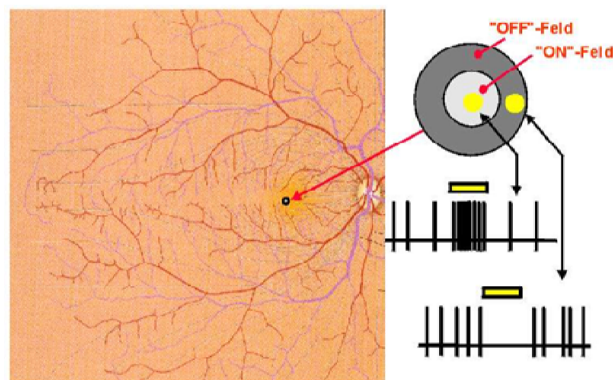


Abb. 9: Rezeptives Feld: Die Erregung jeweils mehrerer, meist unmittelbar benachbarter Rezeptorzellen (rezeptives Feld) wird von den Dendriten nachgeschalteter Neurone über chemische Synapsen abgegriffen, im Soma aufsummiert und über Axone an die folgenden Neurone weitergegeben.

EXPERIMENTELLE AUFGABEN

Fertigen Sie von allen Ergebnissen/Bildern, die Sie erhalten, Screenshots an und speichern Sie diese für Ihr Protokoll ab. Zu jeder Abbildung wird eine Bildunterschrift mit ausführlicher/verständlicher Beschreibung erwartet (siehe "Merkblatt zum Erstellen einer wissenschaftlichen Abbildung")!

1. FRAGEN IM SKRIPT

Im Skript zum Kurstag "Farbsehen" finden Sie blau markierte Fragen, die Sie bitte in ganzen Sätzen kurz und prägnant beantworten!

2. FARBENKREIS

Öffnen Sie den Ordner „**Vertiefungsmodul Neurobiologie**“ und dann die Datei „**farbkreis.bat**“!

Ordnen Sie die Farbstimuli im Kreis an. Erklären Sie, nach welchem Prinzip Ihre Anordnung zustande kam. Vergleichen Sie Ihren Farbkreis mit dem fertigen Beispielkreis.

3. FARBMISCHUNG I

Öffnen Sie den Ordner „**Vertiefungsmodul Neurobiologie**“ und dann die Datei „**rgbmon.bat**“!

Farbmischung mit RGB-Werten (0-100%) des Farbmonitors. Versuchen Sie, die Grundfarben (Rot, Grün, Blau, Gelb, Magenta, Cyan und Schwarz) herzustellen sowie ein mittleres Grau. Welche Art der Farbmischung wenden Sie an? Warum erhalten Sie ein mittleres Grau mit den von Ihnen bestimmten Mischproportionen?

4. FARBINTENSITÄT

additiv

intensität
alles 50%
schwächeres Weiß
8

	r	g	b
rot	100	0	0
Blau	0	0	100
Grün	0	100	0
Gelb	100	100	0
Magenta	100	0	100
Cyan	0	100	100
Schwarz	0	0	0

Öffnen Sie den Ordner „Vertiefungsmodul Neurobiologie“ und dann die Datei „ipxl.bat“. Klicken Sie dann auf **START**, um das Programm IPXL zu starten.

Starten Sie im Programm IPXL Folgendes: "Select > Experiments > Simple colored disk". Schalten Sie die Option "Options > Follow invalid colors" aus. Lassen Sie sich die Koordinaten für Yxy und L*a*b anzeigen ("Systems"). Schauen Sie sich den Yxy und den L*a*b Farbraum an.

a) Wo liegt der Weißpunkt im Yxy und im L*a*b? Geben Sie jeweils dessen Koordinaten an!

b) Stellen Sie die Intensität so ein, dass im Diagramm die graue Fläche ein Dreieck bildet (Sie können die Intensität verändern, indem Sie den Pfeil auf der Leiste verschieben, die von 0,0 bis 100,0 skaliert ist). Was stellt es dar? Was ist der Unterschied zwischen Farborten innerhalb der grauen Fläche und außerhalb der grauen Fläche? Verändert sich der Weißpunkt bei Veränderung der Intensität?

→ Dreieck genau der Farbraum, den wir sehen können, mit Intensität

c) Verändern Sie Farbton, Sättigung, Helligkeit des Farbstimulus für verschiedene Grundfarben.

d) Vermindern Sie die Sättigung des Stimulus bei konstanter Intensität. Was passiert mit der subjektiven Intensität des Stimulus? *→ wird schwächer / dunkler*

e) Stellen Sie verschiedene Intensitäten des Stimulus ein. Beschreiben Sie die systematische Veränderung. *→ Farbe wird heller / leuchtender*

f) Verändern Sie die Intensität des Hintergrundes von dunkel zu hell, indem Sie von den drei Vierecken links unten (über der Schaltfläche "Step") dasjenige für den Hintergrund anklicken. Dieser kann nun verändert werden. Verkleinern Sie den Farbstimulus (unter "View > Geometry"), und wiederholen Sie den Vorgang. Beobachten Sie einen Wechsel in der subjektiven Intensität des Stimulus?

Tipp: Sie können die Werte auch direkt im Koordinatenfeld (unten) verstellen, indem Sie Zahlenwerte eingeben und die Enter-Taste betätigen.

5. FARBENREIHE

Sie arbeiten weiterhin mit dem Programm IPXL. Öffnen Sie Folgende: "Select > Test displays > High intensity stairs: Contrast". Erstellen Sie **je eine Farbenreihe** mit konstanter Sättigung und Helligkeit (Farbton ändern), konstanter Sättigung und Farbton (Helligkeit ändern), oder konstantem Farbton und Helligkeit (Sättigung ändern). Wie sind Sie vorgegangen?

6. FARBMISCHUNG II

Wählen Sie in IPXL "Select > Photometry and Mixture > Matching and spatial mixture" oder "Spatial color mixing". Wählen Sie für das linke Viereck eine neue Farbe aus, und versuchen Sie diese im rechten Viereck (feines Streifenmuster aus zwei Farben) nachzumischen. Kann Ihnen der Farbraum dabei behilflich sein? Wo befindet sich der Farbort der Mischfarbe relativ zu den zwei Einzelfarben? Welche Art von Mischung haben Sie angewandt?

Erklären Sie, was man unter einer metameren Farbe versteht. Erklären Sie die neurophysiologischen Grundlagen der metameren Farben. Mischen Sie nun dieselbe metamere Farbe mit zwei verschiedenen Farbpaaren.

Sie können die Bildansicht vergrößern (unten mittig, Button "Full").

7. SIMULTANER FARBKONTRAST

Wählen Sie in IPXL "Select > Simple contrast effects > Simultaneous color contrast". Schauen Sie sich die inneren Vierecke einzeln an, indem Sie den Button "Step" bedienen. Was beobachten Sie? Wie ist der Simultankontrast neurophysiologisch zu erklären?

Stellen Sie die Farbe der äußeren Felder auf solche Werte ein, die die beiden inneren Felder möglichst verschiedenen aussehen lässt. Unter welchen Umständen gelingt das besonders gut?

8. SUKZESSIVER FARBKONTRAST

Wählen Sie in IPXL "Adaptation effects > Aftereffects and Opponent Colors". Adaptieren Sie an die Farbstimuli, indem Sie 30-60 Sekunden das Kreuz in der Mitte fixieren. Mit dem Button "Step" (unten links) entfernen Sie die Farbfelder. Beobachten Sie die Nachbilder. Wenn Sie ein gutes Nachbild haben, versuchen Sie es auf eine weiße Fläche (Papier, Wand) oder eine bunte Fläche zu legen. Sie können sich dabei entfernen oder annähern. Was passiert? Wie ist der sukzessive Farbkontrast neurophysiologisch zu erklären?

Beobachten Sie Nachbilder anhand der Bilder in "Adaptation effects" > "Induction"; "Desaturation by Adaptation" und "Hypersaturation" (2x "Step").

1. gelb sieht
weniger gelb aus

1. step Hintergrund lila
2. step: mitte gelb geht nach außen
weniger Sättigung

↓
kreis rot
ung. grün

PROTOKOLL

Für diesen Kurstag wird ein Kurzprotokoll oder Forschungsantrag empfohlen. Beantworten Sie die im Skript und in den Aufgaben gestellten Fragen kurz und prägnant. Erstellen Sie aus Ihren jeweils abgespeicherten Screenshots ordentliche wissenschaftliche Abbildungen mit Bildunterschrift (siehe "Merkblatt zum Erstellen einer wissenschaftlichen Abbildung"). Erklären Sie dabei immer die dazugehörigen neurophysiologischen Hintergründe!

LERNZIELE

Nach Abschluss dieses Kurstages sollten Sie

1. das Farbdreieck und den $L^*a^*b^*$ -Farbkörper verstehen und Farben mittels dieser Farbräume beschreiben können.
2. die neurophysiologischen Mechanismen des menschlichen Farbensehens kennen.
3. Wahrnehmungsphänomene, die im Zusammenhang mit dem Farbensehen zu beobachten sind, neurophysiologisch erklären können.

FRAGEN ZUR ÜBERPRÜFUNG IHRES WISSENS

1. Wie ist das Auge eines Säugers aufgebaut?
2. Was sind Stäbchen und Zapfen?
3. Was bedeutet dunkeladaptiert und helladaptiert?
4. Wie sieht der Mensch Farben und welche Theorien gibt es dazu?
5. Welche Versuche müssten Sie durchführen, um bei einem Tier zu zeigen, dass es eine bestimmte Farbe wahrnehmen kann?
6. Was versteht man unter Sehbahn und was unter Sehrinde?

Koordinaten Farbleiter:

Farbton: $Y=15$

	X	Y
1	0,301	0,339
2	0,304	0,375
3	0,309	0,381
4	0,334	0,313
5	0,277	0,313
6	0,258	0,337
7	0,258	0,37

Helligkeit: $x=0,368$; $y=0,533$

	Y
1	80
2	70
3	60
4	50
5	40
6	30
7	20

Sättigung: $Y=7$

	X	Y
1	0,284	0,597
2	0,284	0,554
3	0,289	0,492
4	0,294	0,459
5	0,303	0,406
6	0,303	0,387
7	0,313	0,358

Farbmischungen

$Y=20$

Mischfarbe: $0,3^x$ $0,3^y$

1. A: 0,258 0,511 (grün)
B: 0,325 0,191 (pink)
2. A: 0,523 0,392 (beige)
B: 0,184 0,196 (blau)