

Wahrnehmungspsychologie

E. Bruce Goldstein

**Zusammenfassung von
Katharina Link, Kirsten Litzel, Lene Rittmeyer, Johanna
Thum, Katze Teichert, Lio Schmitt, Benne Herwig**

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in die Wahrnehmung	S. 3
2. Sehen	S. 5
3. Corpus geniculatum laterale und primärer visueller Cortex	S. 12
4. -fehlt-	-----
5. Farbwahrnehmung	S. 16
6. Objektwahrnehmung	S. 31
7. Wahrnehmung räumlicher Tiefe und der Objektgröße	S. 40
8. Visuelle Bewegungswahrnehmung	S. 46
9. Wahrnehmung und aktive Motorik	S. 53
10. Schall, Hörsystem und auditive Wahrnehmung	S. 57
11. Auditive Lokalisation und Wahrnehmung von Hörobjekten und Hörumwelten	S. 61
12. Auditive Sprachwahrnehmung	S. 64
13. Lageorientierung und vestibuläres System	S. 70
14. Somatosensorik, haptische Wahrnehmung und Schmerz-wahrnehmung	S. 74
15. Geruchs- und Geschmackswahrnehmung	S. 77

1. Einführung in die Untersuchungen der Wahrnehmung

1.1 Wahrnehmung geschieht nicht einfach

- Vorstellung besser nicht als Reihe diskreter Einzelschritte, sondern als aktiven kontinuierlichen Prozess

-3 Fragen:

Wie repräsentiert die Aktivität des Nervensystems Eigenschaften von Objekten in der Umwelt? → physiologische Grundlagen

Wie setzen wir die Information aus der Umwelt in Wahrnehmung um? → Reizinformationen

Wie beeinflussen Erfahrungen und Vorwissen die Wahrnehmung? → kognitive Einflüsse

1.2 Untersuchungsansätze

1.2.1 Der physiologische Untersuchungsansatz

→ Welche physiologischen Mechanismen spielen bei der Wahrnehmung eine Rolle?

Forschung konzentriert sich auf Beziehung zw. den als Nervenimpulsen bezeichneten elektrischen Signalen und speziellen Wahrnehmungen

a) historischer Hintergrund:

Aristoteles (350 v. C.): Herz als Sitz des Geistes

Galen (150 n. C.): Gehirn als Sitz des Geistes; „Säftelehre“ (4 Säfte im Gehirn für Gesundheit, Gedanken usw. entscheidend)

Descartes (1620): menschlicher Körper wie Maschine

Müller (1842): Theorie der spezifischen Sinnesenergien (jeweilige Wahrnehmung anhängig von jeweils speziellen stimulierten Nerven)

b) Aufzeichnung elektrischer Signale von Neuronen

in Stichpunkten: Ionen (=elektrisch geladene Moleküle), Ruhepotential (-70mV in der Zelle), Nervenimpulse (Natrium fließt in Zelle, Kalium aus Zelle), Permeabilität, Natrium-Kalium-Pumpe

c) grundlegende Eigenschaften von Nervenimpulsen

in Stichpunkten: Nervenimpuls = fortgesetzte Reaktion, Alles-oder-Nichts-Gesetz, Refraktärphase, Spontanaktivität, Synapsen

d) chemische und elektrische Vorgänge an der Synapse

in Stichpunkten: präsynaptisches Neuron mit Neurotransmitter in Vesikeln → synaptischer Spalt → postsynaptisches Neuron → postsynaptisch bewirkte Reaktion kann erregend oder hemmend sein; zeitliche oder räumliche Summation

e) Gehirn und Wahrnehmung

- 100 Milliarden Neurone

- Forschung befasst sich mit Lokalisation von Funktion und sensorischer Codierung

- Lokalisation von Funktionen:

jede Sinnesmodalität besitzt bestimmtes Zielgebiet im cerebralen Cortex

primäre sensorische Areale für Sehen (Okzipitall.) Hören (Temporall.) Hautsinne (Parietall.)

zusätzliche Verknüpfung zu weiteren Areale

- Sensorische Codierung

2 Konzepte: Neuronenensemble-Theorie (Aktivitätsmuster einer Gruppe von Neuronen) vs. Einzelneuronen-Theorie (Aktivität spezieller Neurone)

- Leib-Seele-Problem:

Wie lässt sich ein physikalisches Erlebnis in die Reichhaltigkeit des Erlebens übersetzen?

1.2.2 Der psychophysische Untersuchungsansatz

→ Wie hängen Reize und ihre Wahrnehmung zusammen?

a) Historischer Hintergrund

- Gustav Theodor Fechner:

Entwickelte Methoden zur Messung der Absolutschwelle (von „kein Reiz“ zu „Reiz wahrgenommen“), wobei sich kein sprunghafter sondern ein gradueller Übergang zeigte, den er auf nie völlig konstante Faktoren bei der Untersuchung zurückführte; außerdem beschäftigte er sich mit Unterschiedsschwellen

-3 Methoden zur Schwellenmessung (erfunden von Fechner)

Grenzmethode

Herstellungsmethode

Konstanzmethode

-Erst Heinrich Weber (1846) entdeckte Unterschiedsschwelle (=eben merklicher Reizunterschied)

- Fechner formulierte Zusammenhang: $\Delta S = K * S$ (Webersche Gesetz)

$$K = \Delta S / S \text{ (Weberscher Quotient)}$$

b) Die Messung überschwelliger Reizintensitäten

- S.S. Stevens (1975) stellte über Methode der direkten Größenschätzung sein heute noch gültiges Potenzgesetz auf

-Methode der direkten Größenschätzung: Proband bekam Reiz mit der Info dieser sei Reizstärke 10; von diesem Anhaltspunkt aus, sollte er die weiteren Reize ihrer empfundenen Stärke nach bezeichnen; es zeigte sich für unterschiedliche Sinne/Reize entweder Verdichtung der Antwortdimension (z.B. wurde Licht mit doppelter Intensität nicht doppelt so hell empfunden) oder Spreizung der Antwortdimension (z.B. für Schmerz) oder auch konstante Antwortdimension (z.B. Länge einschätzen);

- trägt man log der Größenschätzung gegen log der Reizstärke auf, entstehen so 3 Geraden → Potenzfunktionen:

$$P = K * S^{\text{hoch } n},$$

wobei sich n für die Sinne wie zuvor beschrieben unterscheidet; die Beziehung heißt Stevensches Potenzgesetz (Power Law)

1.2.3 Der kognitionswissenschaftliche Untersuchungsansatz

→ Wie wird Wahrnehmung durch Bedeutung eines Reizes und Erwartungen des Probanden beeinflusst?

a) Beispiel: Maus-Mann-Experiment: Wenn man erst Maus gesehen hat, wird gleiches aber abstrahiertes Bild wieder als Maus gesehen, hat man zuerst Mann gesehen, interpretiert man abstrahiertes Bild als eben diesen Mann

b) Top-Down-Prozesse: = kognitive Einflüsse auf die Wahrnehmung; tritt auf wenn perzeptuelle Verarbeitung auf Infos höherer Ebenen beruht

c) Bottom-Up-Verarbeitung: Reizmerkmale werden analysiert und verarbeitet ohne Einfluss von Wissen

2. Sehen

Allgemein

Zum visuellen System gehören folgende Einheiten (kommen alle auch in den anderen sensorischen Systemen vor):

1. **Sinnesorgan** → nimmt Umweltreize auf
2. **Rezeptoren** → transformiert Reizinformationen in neuronale Signale
3. **Neurone** → leiten Signale ins Gehirn weiter
4. **zentrale Neurone im Gehirn** → verarbeiten Signale weiter

→ **Trägerprozess** des Sehens ist das **Licht**, das sichtbare Licht umfasst die **Wellenlängen von 400 – 700 nm**

Struktur des visuellen Systems

Das visuelle System hat **4** Hauptkomponenten

1. **Auge**
2. **Corpus geniculatum laterale (CGL)**
3. **primärer visueller Kortex** (= striärer Kortex im Okzipitallappen, Areal V1)
4. **exstriärer visueller Kortex** (besteht aus Arealen im temporalen, parietalen, frontalen Kortex)

Sehvorgang

- ❖ beim Hinblicken auf einen Ort der Umgebung fällt Licht ins Auge
- ❖ das einfallende Licht passiert die **Hornhaut, Pupille, Linse** → Hornhaut und Linse fokussieren das Licht und lenken es auf die Retina
- ❖ **Retina** ist ein komplexes Netzwerk aus 5 Arten von Neuronen (**Photorezeptoren** = Stäbchen und Zapfen, die auf Licht mit elektrischen Signalen reagieren, diese werden dann durch das Neuronennetzwerk bestehend aus **Bipolarzellen, Horizontalzellen, Amakrinzellen, Ganglienzellen** weitergeleitet)
- ❖ die elektrischen Signale erreichen die Ganglienzellen und verlassen das Auge durch den **Sehnerv**
- ❖ die meisten dieser Impulse erreichen das **CGL**, von dort gelangen sie über die Sehbahn zum **primären visuellen** und von dort weiter zum **exstriären Kortex**

Auge

- ❖ Auge bündelt Licht und erzeugt ein Bild auf der Netzhaut
- ❖ es bricht das Licht mit den beiden **Brechungselementen Hornhaut und Linse** → beide arbeiten so zusammen, dass ein scharfes Bild auf die Netzhaut projiziert wird
- ❖ Auge kann zusätzlich die **Brechkraft** der Linse durch **Akkommodation** (= Ziliarmuskeln spannen sich an → Krümmung der Linse wird stärker, da diese dicker wird → Brennpunkt verschiebt sich nach vorne, und anders herum) verändern → Akkommodation geschieht automatisch
- ❖ aber: Akkommodation hat auch Grenzen: Entfernung, bei der die Linse nicht mehr akkomodieren kann, heißt Nahpunkt
- ❖ mit zunehmendem Alter wächst der Abstand des **Nahpunktes = Presbyopie**

Photorezeptoren

- ❖ Hauptaufgabe: **Transduktion** des auftretenden Lichtmusters in **elektrische Signale** → dies geschieht mit Hilfe der Sehpigmente (befinden sich in den Membranscheiben im Außensegment)
- ❖ Sehpigment besteht aus dem Protein **Opsin** und dem lichtempfindlichen **Retinal**
- ❖ wenn Retinal Licht absorbiert, verändert es seine Form (= Isomerisation)

- ❖ **Isomerisation eines einzigen Sehpigmentmoleküls reicht um einen Rezeptor zu stimulieren, für die Wahrnehmung eines Lichtreizes reicht die Stimulation von 7 Rezeptoren**
- ❖ Formänderung verwandelt das Sehpigment in einen Katalysator → Auslösen einer Enzym-Kaskade
- ❖ diese ruft schließlich ein elektrisches Signal in den Photorezeptoren hervor

Unterschied Zapfen/ Stäbchen

- ❖ Stäbchen sind lang und stabförmig
 - ❖ Zapfen sind kürzer und kegelförmig
 - ❖ Stäbchen sind verantwortlich für das Sehen bei niedriger Beleuchtung
 - ❖ Zapfen kontrollieren das Sehen bei großer Beleuchtung
 - ❖ Netzhaut enthält 5 Mio. Zapfen und 120 Mio. Stäbchen
 - ❖ unterschiedliche **Verteilung**: in der Fovea sind nur Zapfen, der Rest der Zapfen befindet sich in der Netzhautperipherie, in der sich auch alle Stäbchen befinden
 - ❖ unterscheiden sich in ihrer spektralen Hellempfindlichkeit
 - ❖ Funktionsunterschied
- Photorezeptoren stehen vom Licht abgewandt → haben dadurch Kontakt zur **Pigmentepithelschicht**, die für die Funktion der Rezeptoren wichtige Nährstoffe und Enzyme enthält → kein Problem, da Licht den Rest der Netzhaut ohne Probleme passieren kann, da durchsichtig
 - ABER: rückwärts gerichtete Rezeptoren sind Schwierigkeit für die Ganglienzellen, da Rezeptoren den Augenhintergrund auskleiden, blockieren sie den direkten Weg der Ganglienzellen aus dem Auge heraus, daher
→ kleiner rezeptloser Bereich durch den die 1 Mio. Ganglienzellnervenfasern das Auge als Sehnerv verlassen (= **blinder Fleck** → bemerkt man gewöhnlich nicht aufgrund des Sehens mit zwei Augen, außerdem können wir an der Stelle des blinden Flecks nicht scharf sehen → schwierig zu entdecken, außerdem scheint das Gehirn die Stelle, wo das Bild verschwindet „auszufüllen“)

Funktionsunterschied der Zapfen/ Stäbchen Duplizitätstheorie des Sehens

- Beispiel dafür wie unsere Wahrnehmung von den Eigenschaften der beiden Rezeptoren abhängt, ist die **Dunkeladaptation**: wenn es plötzlich dunkel wird, sieht man anfangs nur schwer etwas, später erhöht sich die Empfindlichkeit und man kann besser sehen
- Um also eine Dunkeladaptation herstellen zu können, muss man zunächst eine Helladaptation hervorrufen → dann schaltet man Licht aus → Dunkeladaptationskurve (= abfallend, d.h. Schwellenerniedrigung bzw. gesteigerte Empfindlichkeit) → Empfindlichkeit des dunkeladaptierten Auges ist etwa 100.000 mal höher als die Empfindlichkeit des helladaptierten Auges
- Fallende Kurve zeigt, dass **Empfindlichkeit** in **2 Phasen** steigt: im schnellen Anfangsstadium adaptieren die Zapfen (3-4 min), dann erreicht die Kurve ein Plateau, nach 7-10 min nimmt die Empfindlichkeit wieder zu → im zweiten, dem langsameren Stadium adaptieren die Stäbchen (20-30 min, diese adaptieren zwar auch schon während der Zapfenphase, allerdings nimmt man das nicht wahr).
- **Kohlrausch-Knick**: 7 min nach Beginn der Dunkeladaptation, Punkt an dem Stäbchen empfindlicher geworden sind als Zapfen
- die unterschiedlichen Adaptationsgeschwindigkeiten lassen sich durch unterschiedliche Eigenschaften der Sehpigmente der Photorezeptoren erklären

Regeneration des Sehpigments

- ❖ Trennung des Retinals vom Opsin → Veränderung der Farbe des Retinals von ursprünglich rot zu orange, dann zu gelb und schließlich zu transparent (= **Bleichung**)
- ❖ bevor das gebleichte Molekül wieder Licht in elektrische Aktivität umwandeln kann, müssen sich Opsin und Retinal wieder vereinigen → **Pigmentregeneration**

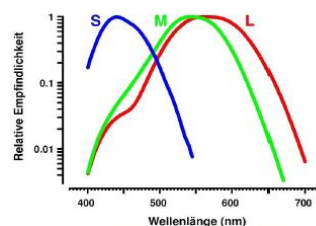
- ❖ Pigmentregeneration erfolgt mit Hilfe von Enzymen, die das Pigmentepithel bereitstellt
- ❖ Zapfepigment benötigt 6 min zur Regeneration, Stäbchenpigment über 30 min
- ❖ → Zapfenadaptation entspricht der Geschwindigkeit der Zapfepigmentregeneration, bei den Stäbchen genauso
- ❖ Regeneration des Sehfärbstoffes → Erhöhung der Empfindlichkeit

Spektrale Hellempfindlichkeit

- ❖ Farbwahrnehmung des Lichtes ändert sich mit seiner Wellenlänge
- ❖ kurzwelliges Licht erscheint blau, mittelwelliges Licht erscheint grün oder gelb und langwelliges Licht erscheint orange oder rot
- ❖ Ermittlung der Kurve spektraler Hellempfindlichkeit:
 - ❖ Messen der relativen Schwelle für das Sehen von Licht unterschiedlicher Wellenlängen (420nm, 440nm usw.)
 - ❖ Erhalten einer Kurve, die zeigt, dass man bei mittleren Wellenlängen weniger Licht benötigt, um es zu sehen
 - ❖ wenn man den reziproken Wert der oben genannten Kurve nimmt (reziproker Wert = $1/\text{Schwelle}$) ergibt sich daraus die **Kurve spektraler Hellempfindlichkeit**
- ❖ vergleicht man die Kurve der spektralen Hellempfindlichkeit für das Zapfensehen (gemessen in der Fovea) mit der für das Stäbchensehen (Peripherie), erkennt man, dass die Stäbchen für kurzwelliges Licht empfindlicher sind als die Zapfen (Stäbchen sind am empfindlichsten für Licht mit einer Wellenlänge von 500nm und die Zapfen für Licht mit 560nm → daher sehen wir während der Dunkeladaptation zunehmend mit den Stäbchen
- ❖ wenn also während der Dunkeladaptation das Sehen von den Zapfen zu den Stäbchen übergeht, steigt unsere Empfindlichkeit für kurze Wellenlängen stärker als die für längere Wellenlängen → d.h. die Helligkeit von blauen Gegenständen nimmt, verglichen mit roten Gegenständen, während der Dunkeladaptation zu
 - dieser Übergang von der Zapfen- zur Stäbchenempfindlichkeit heißt **Purkinje-Phänomen** (d.h. die Helligkeit der blauen Blume nimmt, verglichen mit der roten, während der Dunkeladaptation zu)

Pigmentabsorptionsspektren

- ❖ der Unterschied zwischen den spektralen Empfindlichkeitskurven der Stäbchen und Zapfen lässt sich mit Unterschieden in den Absorptionsspektren ihrer Sehpigmente erklären
- ❖ ein **Absorptionsspektrum** ist die Darstellung der Lichtmenge, die ein Sehpigment absorbiert
- ❖ 99% des Sehpigments konzentriert sich in den Stäbchen, nur 1% in den Zapfen
- ❖ es gibt **3 verschiedene Absorptionsspektren** der drei menschlichen **Zapfepigmente**
 1. das kurzwellige Zapfepigment absorbiert am besten Licht von 419nm
 2. das mittelwellige Zapfepigment von 513nm
 3. das langwellige Zapfepigment von 558nm
- ❖ → die spektrale Hellempfindlichkeitskurve der Zapfen geht auf die **gemeinsame** Aktivität aller drei Zapfepigmente zurück



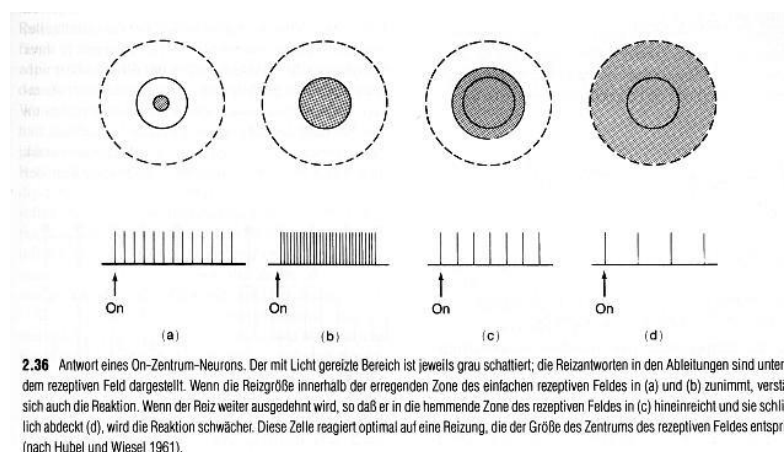
Neuronale Verarbeitung durch Konvergenz, Hemmung und Erregung

- ❖ die in den Rezeptoren erzeugten elektrischen Signale werden von einem Netzwerk aus Nervenfasern oder von **neuronalen Schaltkreisen** (siehe Goldstein S.62) verarbeitet

- ❖ **Konvergenz:** entsteht wenn Synapsen von zwei oder mehreren anderen Neuronen auf ein einziges Neuron münden
- ❖ **Hemmung** in der Netzhaut wird meist durch die **Horizontal- und Amakrinzellen** übertragen
- ❖ → Netzwerke können durch die Kombination von Konvergenz, Erregung und Hemmung die Information so verarbeiten, dass sie selektiv auf bestimmte Reizmerkmale empfindlich sind z.B. auf Linie mit bestimmter Richtung

Rezeptive Felder

- ❖ als rezeptives Feld eines Neurons im visuellen System wird jener Teilbereich der Retina bezeichnet, dessen Reizung dasselbe Neuron erregt
- ❖ retinale Ganglienzellen haben rezeptive Felder mit einem Zentrum und einem Umfeld
- ❖ **es gibt 2 Arten rezeptiver Feldern der Netzhautganglienzellen:**
 1. **On-Zentrum-Neurone** d.h. diese haben ein exzitatorisches Zentrum und ein inhibitorisches Umfeld
 2. **Off-Zentrum-Neurone** d.h. diese haben ein inhibitorisches Zentrum und ein exzitatorisches Umfeld
- **Zentrum-Umfeld-Antagonismus**
- ❖ Demonstrationsversuch: lässt man einen Lichtpunkt auf das Zentrum eines On-Zentrum-Neurons fallen, so feuert die Zelle etwas häufiger
 - vergrößert man den Lichtpunkt, so dass er das gesamte Zentrum des rezeptiven Feldes ausfüllt, feuert die Zelle noch etwas häufiger
 - wenn man das Leuchtfeld weiter vergrößert, so dass es auch die hemmende Zone zu überdecken beginnt, wirkt die Reizung des inhibitorischen Umfeldes der exzitatorischen Reaktion des Zentrums entgegen und bewirkt eine Herabsetzung der Entladungsrate des Neurons
 - → Neuron reagiert maximal auf einen Lichtpunkt, welcher der Größe des Zentrums des rezeptiven Feldes entspricht



Neuronale Verschaltung und räumliche Summation

- ❖ alle **Ganglienzellen** (1 Mio.) bilden gemeinsam den **Sehnerv**, da es nur so wenige Ganglienzellen gibt, erhält jede im Durchschnitt Signale von 126 Rezeptoren
- ❖ da es 120 Mio. Stäbchen und 5 Mio. Zapfen gibt, bedeutet dies außerdem, dass **Stäbchen viel stärker konvergieren als Zapfen** → Unterschied wird noch vergrößert durch die Tatsache, dass viele Zapfen der Fovea sogar „Exklusivleitungen“ zu Ganglienzellen haben
- ❖ **Stäbchen** haben eine **größere Empfindlichkeit** zum einen aufgrund der **Sehpigmente**, zum anderen aufgrund des **höheren Konvergenzgrades** d.h. der größeren räumlichen

Summation → die Antworten vieler Stäbchen summieren sich in derselben Ganglienzelle wodurch das einzelne Stäbchen weniger erregt werden muss

- **Stäbchen** haben noch weitere Eigenschaften, die zu ihrer hohen Empfindlichkeit beitragen:
 - sie sind **größer** als die Zapfen → Stäbchenrezeptor absorbiert mehr Licht
 - Stäbchen erzeugen **generell stärkere elektrische Reizantworten** als Zapfen

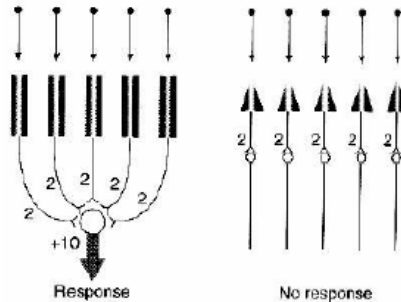


Abbildung: links Stäbchen, rechts Zapfen

- ❖ die größere räumliche Summation der **Stäbchen** führt zu **größeren, rezeptiven Feldern** in der Netzhautperipherie, demgegenüber sind die **rezeptiven Felder der Zapfen in der Fovea kleiner**

Neuronale Verschaltung und Erkennen von Details

- ❖ **Sehschärfe** ist verantwortlich für das **Erkennen von Details**
- ❖ lässt sich mit verschiedenen **Methoden** bestimmen:
 - Wie weit müssen zwei Punkte auseinanderliegen, damit sie als auseinanderliegend wahrgenommen werden?
 - Snellen Buchstaben (unterschiedlich große Buchstaben → man soll sie erkennen)
 - Landolt-Ringe (an welcher Stelle befindet sich die Öffnung?)
- ❖ **Stäbchen sind zwar lichtempfindlicher, jedoch können wir mit den Stäbchen viel schlechter Details erkennen** z.B. sehen wir mit der Peripherie nicht so scharf wie mit der Fovea und wenn wir bei der Dunkeladaptation mit den Stäbchen sehen, lässt die Sehschärfe nach
- ❖ **Konvergenz der Stäbchen vermindert ihre Fähigkeit zur räumlichen Auflösung**
 - Demonstrationsversuch mit zwei getrennten Lichtpunkten:
 - Punkt dicht beieinander → da mehrere Stäbchen auf eine Ganglienzelle konvergieren, feuert nur eine einzige Stäbchenganglienzelle → auch bei den Zapfen feuern zwei nebeneinanderliegende Zapfenganglienzellen, was auch auf einen einzigen großen Lichtpunkt hindeuten kann
 - zieht man die Punkte weiter auseinander → feuert immer noch nur eine einzige Stäbchenganglienzelle → beim Output der Zapfen kann man zwei Punkt erkennen, da zwischen den beiden feuern den Zapfenganglienzellen eine liegt, die nicht reagiert

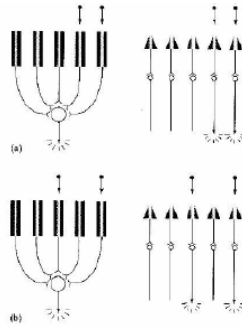


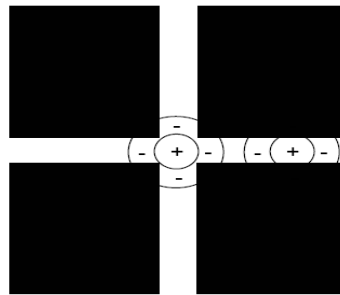
Abbildung: oben: bei zwei Punkten, die dicht beieinander liegen, unten: bei zwei weiter auseinander liegenden Punkten

Laterale Inhibition

- Klassisches Experiment: Untersuchung der lateralen Inhibition am Pfeilschwanzkrebs → Lichtreizung der benachbarten Rezeptoren hemmt die Entladung des Rezeptors A, der untersucht wurde → laterale Hemmung → dient der **Kontrastverschärfung**

laterale Hemmung und das Hermann-Gitter/Mach'sche Bänder

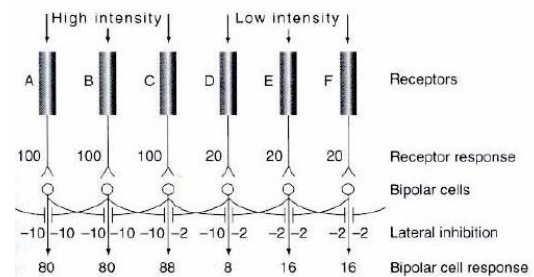
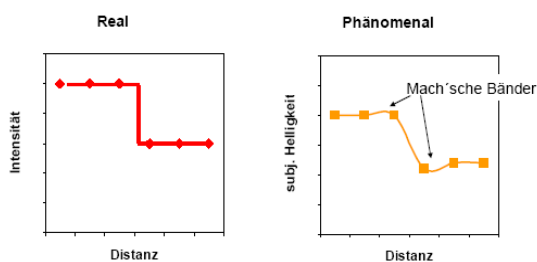
Hermann-Gitter:



Erklärung: an Kreuzungspunkten mehr laterale Hemmung als anderswo, daher dunkler (Goldstein S.71)

Mach'sche Bänder

an Stellen wechselnder Helligkeit wird das Intensitätsgefälle verstärkt, man sieht Mach'sche Bänder → (funktioniert auch mit Hilfe eines Schattenwurfverfahrens Goldstein S.72)



links: Kurve der physikalischen Intensitätsverteilung des Lichtes,

rechts: Kurve des Wahrnehmungseffekts (oberer gelber Punkt = helles Mach'sches Band, unterer = dunkles Mach'sches Band), diese Ausbuchtungen sind bei der physikalischen Kurve nicht zu finden

Erklärung durch laterale Hemmung:

6 Rezeptoren, die einander hemmen. Wenn man den anfänglichen Output jedes Rezeptors und den Betrag der lateralen Inhibition kennt, die nach dem Output einwirken, kann man die endgültige Antwort der Rezeptoren berechnen. → Hemmung benachbarter Zellen geschieht proportional zur eigenen Rezeptorerregung → Neuronen auf der hellen Seite bei C feuern stärker, auf der dunklen bei D schwächer

→ **Erzeugung von Mach'schen Bändern**

laterale Hemmung und Simultankontrast (S.74): man nimmt die beiden Quadrate auf verschiedenen Hintergründen als verschieden wahr, obwohl sie physikalisch identisch sind → mögliche Erklärung auch hier die laterale Inhibition, jedoch reicht diese Erklärung hier nicht aus, da sonst die laterale Inhibition an den Rändern des Quadrates am stärksten sein müsste und nach innen abnehmen müsste, das ist aber nicht der Fall

White'sche Illsion (und auch das Benary-Kreuz): kann man nicht durch laterale Hemmung erklären, da sonst gegenteiliger Effekt auftreten müsste (A müsste heller erscheinen als B → denn Zellen, die durch die Streifen des Rechtecks A gereizt werden, empfangen infolge des dunklen Rechtecks ein geringeres Ausmaß an lateraler Inhibition → aber Flächen mit der größten lateralen Inhibition erscheinen am hellsten)

- Erklärung: das visuelle System verfährt bei der Auswertung nach dem Prinzip der Berücksichtigung der Zugehörigkeit → A gehört zu dem weißen Hintergrund und erscheint daher dunkler, B gehört zu den dunklen Streifen und erscheint daher heller

d.h. es bedarf bei all diesen Phänomenen weiterer Erklärungen als der lateralen Hemmung

3. Corpus geniculatum laterale und primärer visueller Cortex

Corpus Geniculatum laterale

- der erste Ort, in dem die meisten Fasern der retinalen Ganglienzellen über Synapsen verschaltet werden
- Fasern der nasalen und der temporalen Retinahälften führen zum Chiasma opticum
 - ab hier werden die Fasern von den temporalen Retinahälften ungekreuzt in die beiden Corpora Geniculata weitergeleitet
 - die Fasern der nasalen Retinahälften werden gekreuzt weitergeführt
- Retina bis zum Chiasma Opticum = **Sehnerv**
- Chiasma Opticum bis zum Corpus Geniculatum = **Sehbahn**
- Corpus Geniculatum laterale bis zum primären visuellen Kortex = **Sehstrahlung**
- CGL ist eine wichtige Verarbeitungsstation, welche den Informationsfluss zwischen Retina und Kortex regelt (empfängt auch steuernde Signale vom Kortex)
- CGL ist **paarig** angelegt, kommt sowohl in der linken als auch in der rechten Seite des Gehirns vor (liegt im Thalamus) → jedes der beiden ist in **6 Schichten** gegliedert
- die Fasern der kontralateralen nasalen Retinahälften enden in den Schichten 1, 4 und 6 jedes Geniculatums, die Fasern der ipsilateralen temporalen Retinahälften enden in den Schichten 2, 3 und 5
- die Schichten 1 und 2 sind die **magnozellulären** Schichten (sie schicken Informationen über Bewegung an den Kortex), die Schichten 3 bis 6 die **parvozellulären** Schichten (sie schicken Informationen über Farbe, Textur, Form und Tiefen an den Kortex)
- neuronale Karte im CGL ist **retinotop** d.h. jeder Ort im CGL entspricht einem Ort auf der Netzhaut → benachbarte Orte im CGL entsprechen benachbarte Orte auf der Netzhaut

Area Striata (primärer visueller Kortex):

- Fasern aus dem CGL treten in die Schicht IVc der Area striata ein
- ähnlich wie im CGL projizieren die neuronalen Systeme vom gleichen Netzhautabschnitt in den gleichen Sehrindenabschnitt
- man kann 3 Haupttypen von Neuronen der Area striata durch die Registrierung der Antworten einzelner Neurone unterscheiden:
 - *einfache Zellen des Kortex*
 - haben rezeptive Felder, die eine erregende und eine hemmende Zone haben, wobei die Zonen jedoch nebeneinander (statt konzentrisch) angeordnet sind
 - Zellen reagieren optimal auf senkrechte Lichtstreifen, weniger auf schräge, gar nicht auf horizontale Streifen
 - man spricht von Orientierungs-Tuningkurven
 - man fand außerdem einfache Zellen, die am besten auf waagrechte oder diagonale Streifen reagieren
 - *komplexe Zellen des Kortex*
 - reagieren am stärksten auf in eine bestimmte Richtung ausgerichtete Lichtstreifen, die sich bewegen
 - *endinhibierte Zellen des Kortex*
 - feuern auf sich bewegende Linien einer bestimmten Länge, auf Ecken oder Winkel am stärksten
- Kortexneuronen nennt man manchmal auch Merkmalsdetektoren, da diese Neurone selektiv auf bestimmte Reizmerkmale antworten → je weiter man sich von der Netzhaut wegbewegt, desto mehr spezifische Reize sind nötig, damit die Neuronen feuern (Ganglienzellen der Netzhaut reagieren auf praktisch jeden Reiz, die endinhibierten Zellen nur auf Streifen mit einer bestimmten Länge und Bewegungsrichtung)

Psychophysische Evidenz für Orientierungsdetektoren

Technik der selektiven Adaptation: Methode der Psychophysik, mit der Zusammenhänge zwischen neuronaler Aktivität und Wahrnehmung demonstriert werden können

- man geht davon aus, dass eine verlängerte Reizdarbietung bestimmter Mustermerkmale, wie z.B. der Streifenorientierung (Streifenrichtung), die Aktivität der betroffenen Neurone mindert (sie adaptieren) und dass diese physiologische Veränderung sich in Sensitivitätsänderungen niederschlägt, die nachfolgend psychophysisch gemessen werden können ist

Merkmale solcher Streifenmuster: Eigenschaften eines Streifenmusters sind definiert durch

1. **Wellenform:** kennzeichnet die Intensitätsverteilung des Streifenmusters
 - a. *Rechteckwellenstreifenmuster:* sieht aus wie eine Folge von Rechtecken → Intensität der Streifen wechselt abrupt zwischen hoch (weiße Streifen) und niedrig (schwarze Streifen)
 - b. *Sinuswellenstreifenmuster:* Intensitätsverteilung folgt einer Sinuswelle → Intensitäten gehen eher allmählich von hell zu dunkel über und umgekehrt
 - c. *Sägezahnwellenstreifenmuster, Dreieckswellenstreifenmuster usw.:* sie sind alle nach der Form ihrer Intensitätsverteilung benannt
2. **Kontrast:** Kontrast eines Streifenmusters ist gleich seiner Amplitude A, geteilt durch den Mittelwert seiner Intensität M (Unterschiedsgefälle hell dunkel)
 - a. *Rechteckwellenstreifenmuster mit hohem Kontrast* = Wechsel von weißen und schwarzen Streifen
 - b. *Rechteckwellenstreifenmuster mit niedrigem Kontrast* = Wechsel von dunkelgrauen zu hellgrauen Streifen
 - c. → beide Muster haben zwar die gleiche Intensität, jedoch unterscheiden sie sich in ihrer Amplitude
3. **Orientierung:** Orientierung eines Streifenmusters ist gleich sein Winkel relativ zur Senkrechten
 - a. *Streifenmuster können senkrecht orientiert sein oder mit unterschiedlichen Winkeln schräg stehen*
4. **Phase:** Phase eines Streifenmusters ist gleich seiner Position relativ zu einem ortsfesten Referenzpunkt
5. **Ortsfrequenz (spatial frequency):** Anzahl von **Perioden** (= ein „weißer“ und ein „schwarzer“ Streifen) pro Streckeneinheit im Muster d.h. wie oft wechseln sich verschiedene Helligkeitsunterschiede ab? → liefert ein Maß für die örtliche Auflösung, die Detailtiefe in optischen Abbildungen
 - a. Ortsfrequenz wird üblicherweise in **Perioden pro Grad des Seh winkels** (Perioden/°Sehwinkel) angegeben (die Größe, die ein Reiz auf der Netzhaut hat, wird durch den Sehwinkelgrad ausgedrückt)

Sehwinkel: eines Gegenstandes ist der Winkel zwischen zwei Linien, die vom Auge des Beobachters ausgehen, die eine führt zum oberen Rand des Gegenstandes, die andere zu dessen oberem Rand → Sehwinkel ist kleiner wenn ein Gegenstand weiter entfernt ist, in diesem Fall ist auch das Netzhautbild kleiner d.h. kleinere Sehwinkel sind mit kleineren Netzhautbildern verbunden

Ortsfrequenzbestimmung eines Streifenmusters: man muss herausfinden, wie viele seiner Perioden in einem Seh Winkel von einem Grad Platz haben, dazu benutzen wir ein Rechteckstreifenmuster und die folgende Daumenregel: wenn man seinen Daumen etwa eine Armlänge von sich weg hält, beträgt dessen Seh Winkel etwa 2 Grad → damit die Ortsfrequenz eine Periode pro Grad Seh Winkel beträgt, muss der Daumen 2 Perioden verdecken

Ortsfrequenz ändert sich allerdings mit der Entfernung d.h. die Ortsfrequenz eines Objektes wird geringer wenn es näher kommt (dann beträgt die Ortsfrequenz z.B. 0,5 Perioden/°Sehwinkel) oder größer wenn man weiter weg geht (z.B. 2 Perioden/°Sehwinkel), da man jeweils weniger oder mehr Perioden verdeckt.

Bei der Weiterverarbeitung gibt es Rezeptoren, die nur bestimmte Ortsfrequenzen verarbeiten, ein Beleg hierfür sind die

Bilder von Groucho Marx: auf das Bild wurden Filter gelegt, die jeweils entweder nur hohe oder nur niedrige Ortsfrequenzen zulassen:

(b) zeigt die Anteile der niedrigen Ortsfrequenzen: hier werden die größeren Formmerkmale betont

(c) zeigt die Anteile der hohen Ortsfrequenzen: hier werden die feineren Strukturen wie die Augen oder die Brille stärker herausgehoben

→ Analyse eines Bildes in seine Ortsfrequenzen liefert Informationen über die Feinheit der räumlichen Auflösung im Bild

selektive Adaptation an die Streifenorientierung

- Messung der Kontrastsensitivität für Streifenmuster für verschiedene Orientierungen der Streifen
 - besitzt Person eine hohe Kontrastsensitivität, so kann sie bereits sehr kleine Helligkeitsunterschiede für die Wahrnehmung der Streifen nutzen
- Adaptation des Beobachters an ein Streifenmuster mit hohem Kontrast (Adaptationsphase)
- erneute Messung der Kontrastsensitivität bei den verschiedenen Orientierungen der Muster, wie vor der Adaptationsphase

→ Menschen sind sensitiver für horizontale oder vertikale als für schräge Streifenrichtungen → verantwortlich dafür sind die orientierungssensitiven Neurone des striären Kortex

Psychophysik von Ortsfrequenzkanälen

- das visuelle System ist für Sinuswellenstreifenmuster mit Ortsfrequenzen zwischen 2 und 4 Perioden/°Sehwinkel am empfindlichsten (Beobachter können diese Streifen selbst dann noch sehen wenn der Kontrast zwischen den Streifen sehr gering ist)
- Empfindlichkeit nimmt bei höheren und niedrigeren Frequenzen ab (Kontrast muss also sehr viel höher sein, damit ein Beobachter diese Frequenzen wahrnimmt, bis schließlich sehr niedrige oder sehr hohe Frequenzen gar nicht gesehen werden, auch wenn der Kontrast sehr groß ist)
 - unsere Fähigkeit ein Streifenmuster wahrzunehmen, hängt von dessen Ortsfrequenz ab
 - Erklärung: es gibt Ortsfrequenzkanäle, von denen jeder auf einen engen Bereich von Ortsfrequenzen anspricht

Organisation des primären visuellen Kortex

- Kortex ist nach den retinalen Orten in Säulen organisiert → alle Neuronen einer solchen Säule, die senkrecht zur Oberfläche des Kortex steht, haben rezeptive Felder, die etwa an der selben Stelle der Netzhaut liegen → **retinotope** Karte der Netzhaut
- es entspricht derselbe Abstand im Kortex einer kleinen Entfernung auf der Netzhaut in der Nähe der Fovea und einem größeren Abstand in der retinalen Peripherie
- **Vergrößerungsfaktor:** Repräsentation der Fovea im Kortex ist, verglichen mit der der Peripherie, vergrößert (obwohl die Fovea nur 0,01% der gesamten Netzhaut einnimmt, beansprucht sie 8% der Neuronen in der Area striata → eine Ganglienzelle nahe der Fovea beansprucht 3-6x mehr Kortexgewebe als eine Ganglienzelle der Netzhautperipherie)
 - **Sehschärfe:** auch aufgrund des großen Bereichs, der für die Fovea im primären Kortex reserviert ist
- **Orientierungssäulen:** durch elektrophysiologische Studien wurde festgestellt, dass der Kortex in Orientierungssäulen eingeteilt ist, d.h. dass eine Säule z.B. besser auf horizontale Linien, eine andere besser auf Linien in 45°-Richtung anspricht. Dies konnte auch in 2-Desoxyglucose-Studien bestätigt werden.
 - benachbarte Säulen haben zwar ähnliche, aber leicht unterschiedliche Orientierungen
- **Augendominanzsäulen:** Neuronen sind auch nach dem Auge organisiert, auf das sie optimale reagieren → 80% der Neurone reagieren auf die Reizung sowohl des linken als auch des rechten Auges, die meisten Zellen sprechen jedoch **besser** auf ein Auge als auf das andere

an→ Zellen mit derselben okularen Dominanz sind im Kortex zu Augendominanzsäulen organisiert

- **Hypersäulen:** ein 1-Millimeter-Block aus dem Kortex kann als Verarbeitungsmodul für einen bestimmten Netzhautabschnitt dienen (= Hypersäule) → Kortex besteht aus Tausenden solcher Hypersäulen, die jeweils einen kleinen Netzhautbereich „bedienen“

ZUSAMMENFASSUNG: der visuelle Kortex ist nach 3 Eigenschaften des Reizes in Säulen organisiert:

1. nach seinem Ort auf der Netzhaut: Kortexneuronen, die denselben Ort auf der Netzhaut versorgen, sind in Positionssäulen angeordnet
2. nach seiner Orientierung auf der Netzhaut: Kortexneuronen, die auf dieselbe Orientierung reagieren, sind in Orientierungssäulen angeordnet
3. nach seiner Darbietung an das linke oder rechte Auge: Kortexneuronen, die jeweils optimal auf das linke oder rechte Auge ansprechen, sind alternierend in Augendominanzsäulen angeordnet

sensorische Deprivation:

- Plastizität der Wahrnehmung: unter Plastizität wird verstanden, dass die Sinnessysteme und deren Auswertung durch die sensorischen Erfahrungen geformt werden → Hebb-Modell (Hebb nahm an, dass wiederholte Erfahrung jeweils die gleichen Gruppen von Neuronen stimuliert und dadurch deren synaptische Verbindung stärkt)
- Katzen wachsen in einer Umgebung mit vertikalen oder horizontalen Streifen auf (wurden nach der Geburt 2 Wochen im Dunkeln gehalten→ danach pro Tag 5 Stunden in Streifenumwelt, den Rest des Tages im Dunkeln)→ hatten zusätzlich Halskrausen an
- Katzen wurden 5 Wochen später untersucht→ waren für Streifenrichtungen, die sie nicht gesehen hatten, blind→ es wurden keine Neurone gefunden, die für die Richtung selektiv empfindlich waren, welche die Katzen nicht gesehen hatten
 - Neurone, die sich unter normalen Bedingungen entwickelt hätten, bauten sich unter den restriktiven Umweltbedingungen nicht auf
 - beim Menschen z.B. Personen mit einem regulären Astigmatismus→ sehen Linien nur in einer Richtung scharf→ Neurone antworten schlechter auf die Richtungen, die durch den Astigmatismus schlechter abgebildet werden

5. Farbwahrnehmung

Inhalt

- 5.1. Drei wesentliche Grundsätze der Farbwahrnehmung
 - 5.1.1. Funktionen der Farbwahrnehmung
 - 5.1.2. Zusammenhang der physikalischen Eigenschaften des Lichts und der Farbe
 - 5.1.3. Beschreibung des Farbempfindens
- 5.2. Psychophysik der Farbwahrnehmung
 - 5.2.1. Dreifarbentheorie/ Trichromatische Theorie
 - 5.2.2. Gegenfarbentheorie
- 5.3. Neurophysiologie der Farbwahrnehmung
- 5.4. Gehirnareale für die Verarbeitung von Farben
- 5.5. Farbenfehlsichtigkeit
 - 5.5.1. rezeptorbasierte Farbenfehlsichtigkeit
 - 5.5.2. cortikale Farbenblindheit
- 5.6. Farbkonstanz
- 5.7. Helligkeitskonstanz
- 5.8. Farbsehen als Adaptation an die Umwelt
- 5.9. Zusammenspiel von Farbsehen und anderen Sinnen

Zusammenfassung

5.1. Drei wesentliche Grundsätze der Farbwahrnehmung

5.1.1. Funktionen der Farbwahrnehmung

- Farben dienen der Kontrastförderung:
 - Abgrenzung von Gegenständen, bzw. eines Gegenstandes vor einem andersfarbigen Hintergrund wird durch Farbe deutlich erleichtert (z.B. rote Früchte am grünen Busch zu entdecken → evolutionär bedingt)
- Farben fördern Objektunterscheidung:
 - Ein völlig farbenblinder Mensch hätte möglicherweise Probleme zu erkennen dass es sich bei einem Gegenstand um ein und dasselbe Objekt handelt, wenn es
 - teilweise verdeckt ist
 - teilweise im Schatten liegt
 - unregelmäßig beleuchtet ist
 - Helligkeitskonturen werden dabei mit den Konturen eines Gegenstandes verwechselt. Der Farbenblinde sieht statt einem ungleich beleuchteten Objekt ein helles und ein dunkles Objekt
 - Der Normalsichtige lässt sich nicht täuschen da eine Veränderung der Oberflächenhelligkeit die Farbwahrnehmung kaum beeinflusst (→ s.a. Farbkonstanz)
- Farben haben Signalwirkung:
 - Signalwirkung von Farbe kann angeboren sein (Rotkehlchenweibchen reagiert auf rote Brust des Männchens) oder auch erlernt (rote Ampel).

5.1.2. Zusammenhang der physikalischen Eigenschaften des Lichts und der Farbe

- Isaac Newton entdeckte 1704 dass sich weißes Licht mithilfe eines Prismas in ein Farbenspektrum von violett bis rot aufspalten lässt.



- Mit einer Linse lassen sich die Spektralfarben wieder zu weißem Licht bündeln

Spektralfarben unterscheiden sich dabei in ihren Wellenlängen

- Es ergibt sich für den Menschen folgendes Spektrum (sichtbar: ca. 400 – 700 nm):
 - o 400 – 450 nm: violett
 - o 450 – 500 nm: blau
 - o 500 – 570 nm: grün
 - o 570 – 590 nm: gelb
 - o 590 – 620 nm: orange
 - o 620 – 700 nm: rot

Man unterscheidet 3 Arten von Farbe

- Körperfarben (alle Festkörper)
- Durchsichtfarben (z.B. farbige Flüssigkeiten)
- selbstleuchtende Farben (farbiges Licht)

Meistens jedoch sehen wir nicht direkt in farbiges Licht, sondern das unbunte Licht wird von Gegenständen reflektiert (Reflektanz), oder von Flüssigkeiten/ Kunststoffen/ Glas durchgelassen (Transmission), die uns dann farbig erscheinen.

Körperfarben:

- Das Lichtmuster, was von einem Gegenstand ans Auge dringt hängt ab von
 - o der Reflektanz des Gegenstandes
 - o der Spektralverteilung der Beleuchtungsquelle

Reflektanz

- Reflektanz ist der Anteil des einfallenden Lichtes den ein Gegenstand reflektiert.

Selektive spektrale Reflektanz

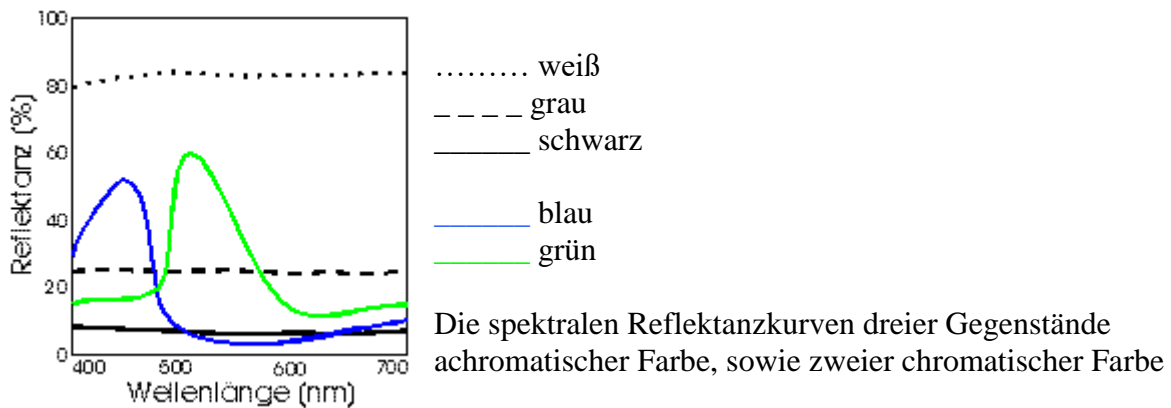
- Selektive spektrale Reflektanz bedeutet, dass ein Gegenstand bestimmte Wellenlängen stärker, andere schwächere reflektiert
- Dies tritt auf bei allen Gegenständen die uns „farbig“ erscheinen

Spektrale Reflektanzkurve

- Für jedes Objekt lässt sich der Grad der Reflektanz in Abhängigkeit der Wellenlänge darstellen (gemessen anhand eines Weiß-Standards)
 - o Ein „grünes“ Objekt hat also eine erhöhte selektive spektrale Reflektanz für mittlere Wellenlängen
 - o Ein weiße, graue und schwarze Objekte hat eine gleichmäßige Reflektanz über das ganze Spektrum
- Farben mit einer selektiven spektralen Reflektanz heißen *chromatische Farben* (z.B. rot)



- Farben mit gleichmäßiger Reflektanz über das Spektrum heißen *achromatische Farben* (z.B. grau)



Bei achromatischen Farben bestimmt also der reflektierte Bereich des Spektrums die Farbe des Gegenstandes.

Durchsichtsfarben:

Spektrale Transmissionkurve

- Bei „farbigen“ Flüssigkeiten gilt im Prinzip das gleiche nur dass sie nicht Farben selektiv reflektieren sondern selektiv durchlassen. Wird nur kurzwelliges Licht durchgelassen erscheint die Flüssigkeit blau.

Selbstleuchtende Farben

Der Farbreiz kommt bei selbstleuchtenden Farben dadurch zustande, dass das Licht von einer Strahlungsquelle direkt oder durch einen Filter in das Auge gelangt.

Farbcharakteristik und Textur:

Die obige Betrachtung der Reflektanz ist für natürliche Objekte noch unzureichend. Sie ist nur geeignet für folgende Flächen (alle drei Eigenschaften müssen erfüllt sein):

- flach/eben/glatt (sprich: plan)
- strukturlos
- nicht-glänzend

Natürliche Objekte sind gekennzeichnet durch ihre

- Form
- Sicht aus der sie gesehen werden
- Beleuchtungsart
- Beleuchtungsrichtung
- Reflexionseigenschaften

Die Reflexionseigenschaften sind wiederum bedingt durch

- lokale Formmerkmale der Gegenstände
- Materialeigenschaften der Gegenstände

Die *Reflexion* reicht von *spiegelnd* bis *diffus*

Desweiteren muss man das *Niveau der Auflösung* betrachten

- Alle oben genannten Merkmale (Form, Sicht, Beleuchtung, Reflexion) sind abhängig vom Auflösungsgrad
- Bsp.: Aus der Nähe betrachtet sehen wir die porige, hügelige Struktur und leicht glänzende Oberfläche einer Zitrone, aus größerer Entfernung aber nicht. Es bleibt die charakteristische ovale Form.

Für jedes Material lassen sich die Verhältnisse des auftreffenden und dem in verschiedene Richtungen reflektierten Lichtes messen. Es ergeben folgende Kurven

- bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktion (BRDF)
 - o für gröbere Auflösung
- bidirektionale Texturfunktion (BTF)
 - o für feinere Auflösung

Textur eines Gegenstandes ist die charakteristische

- Körnung
- Feinzeichnung
- Musterung

Ursprünglich glaubte man die Textur folgte streng der Form eines Gegenstandes. Man sah die Textur also als Oberflächenmusterung der geometrischen Form. Jedoch enthalten die bidirektionalen Texturfunktionen Farb- und Helligkeitsverläufe, die in der Wahrnehmung als „geometrische“ Formmerkmale der Oberflächen erscheinen. Textur und Form sind also in der Wahrnehmung nicht klar getrennt.

5.1.3. Beschreibung des Farbempfindens

Wenn wir im Alltag das Wort „Farbe“ verwenden meinen wir eigentlich „Farbton einer chromatischen Farbe“

- Bsp.: rot und rosa sind eigentlich nicht zwei Farben, sondern unterschiedliche Farbtöne einer Farbe

Im folgenden verwende ich „Farbe“ wenn ich Farbton/ chromatische Farbe meine.

Wie viele Farben wir sehen können hängt von drei Faktoren ab

- Wellenlänge
 - o ca. 200 Stufen unterscheidbar
- Intensität (= Helligkeit)
 - o ca. 500 Stufen unterscheidbar
- Sättigung (= weiß-Anteil)
 - o ca. 20 Stufen unterscheidbar

Multiplikativ ergeben sich also ca. $200 \cdot 500 \cdot 20 = 2$ Mio verschiedene, unterscheidbare Farben.

Die vier Grundfarben

Jede beliebige Farbe lässt sich mit den Ausdrücken

- rot
- gelb
- grün
- blau

oder einer Kombination daraus beschreiben. Das ist aber nicht immer möglich wenn man einen dieser Ausdrücke weglassen soll. Man bezeichnet diese Farben daher als Grundfarben. Andere Farben wie „Orange“, „Violett“ etc. sind dafür nicht nötig.

Alle Farben lassen sich im Farbkreis darstellen mit rot auf zwölf Uhr, gelb auf drei Uhr, grün auf sechs Uhr und blau auf neun Uhr. Neben den Spektralfarben finden sich hier Mischttöne aus rot und violett (Purpurtöne), die nicht in den Spektralfarben erhalten sind, für den Menschen aber trotzdem sichtbar. Alle Farben im Farbkreis bestehen also aus unterschiedlich starken Anteilen der vier Grundfarben.

Auch der sprachwissenschaftliche Ansatz zeigt, dass die vier Grundfarben kulturübergreifend als wichtigste Farben gesehen werden. Neben schwarz und weiß (Alle Kulturen haben dafür Ausdrücke) bilden sich Farbwörter im Sprachgebrauch in folgender Reihenfolge heraus

Rot → Grün / Gelb → Grün / Gelb (das übriggebliebene) → Blau

Erst später folgen: Braun → Purpur / Rosa / Orange / Grau

Aufgrund dieser interkulturellen Gemeinsamkeiten geht man davon aus, dass es für die Grundfarben auch neurophysiologische Grundlagen gibt, lange bevor man diese nachweisen konnte.

5.2. Psychophysik der Farbwahrnehmung

5.2.1. Dreifarbentheorie/ Trichromatische Theorie

Den Start zur Entwicklung der Dreifarbentheorie bildeten quantitative Befunde aus Farbmischexperimenten. Im wesentlichen wurde die Theorie von zwei Forschern entwickelt:

- Thomas Young (1802, postulierte Theorie)
- Hermann von Helmholtz (1852, arbeitete sie weiter aus)

Sie wird daher auch als Young-Helmholtz'sche-Dreifarbentheorie bezeichnet.

Die vorgenommenen Experimente waren zunächst reine Psychophysik-Experimente. Eine neurophysiologische Grundlage wurde nur angenommen und erst später bewiesen.

In Farbabgleich-Experimenten wurden Vpn gebeten aus 3 Licht-Farben in einem Vergleichsfeld eine vierte Farbe zu mischen, die im Testfeld gleichzeitig präsentiert wurde:

- gelingt allen Normalsichten Vpn, solange sich keine der drei Wellenlängen durch Mischen der beiden anderen herstellen lässt
- gelingt nur für (wenige) bestimmte Farben, wenn einem zum Mischen nur 2 Wellenlängen zur Verfügung stehen.

→ Aus dieser Erkenntnis heraus wurde postuliert dass die Farbwahrnehmung auf drei Rezeptorsystemen mit jeweils unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit beruht.

Licht einer bestimmten Wellenlänge führt also zu einem spezifischen Erregungsmuster in den drei Systemen, und dadurch zur Wahrnehmung einer Farbe.

Dass ein Rezeptor zur Farbwahrnehmung nicht ausreichen kann ist ohnehin offensichtlich. (s. hierzu „Neurophysiologie der Farbwahrnehmung“)

5.2.2. Gegenfarbentheorie

Die Dreifarbentheorie erklärt eine Reihe von Phänomenen bei der Farbwahrnehmung, aber nicht alle. Andere Phänomene lassen sich anhand *phänomenologischer Beobachtungen* aufklären. Das heißt, wir bieten einer Vpn Farben dar, und fragen, was sie wahrnimmt.

Anhand von drei Versuchen wies Ewald Hering nach, dass je zwei der vier Grundfarben ein Gegensatzpaar bilden

- Rot und Grün
- Blau und Gelb

Die drei systematischen phänomenologischen Beobachtungen waren

- Nachbilder in der Gegenfarbe (Sukzessivkontrast)
- Nachbilder und Simultankontrast
- Farben in der Vorstellung erzeugen

Demonstrationsversuch: Nachbilder in der Gegenfarbe

- Schaut man 30 s oder länger auf ein farbiges Papier (z.B. blau) und im Anschluss auf ein weißes Papier so sieht man ein Nachbild in der Gegenfarbe (im Bsp: gelb).

Demonstrationsversuch: Nachbilder und Simultankontrast

- Schaut man 30 s (oder länger) auf eine farbige Fläche (z.B. ein grünes Quadrat) mit einem weißen „Loch“ in der Mitte und im Anschluss auf ein weißes Papier, so sieht man dort wo die farbige Fläche sich befand ein Nachbild in der Gegenfarbe (hier: rot, s.oben)
- Dort wo das weiße „Loch“ war allerdings, sieht man ein Nachbild in der Farbe der ursprünglichen farbigen Fläche (hier: grün)

Demonstrationsversuch: Farben in der Vorstellung

- Es gelingt sich ein gelbliches rot vorzustellen, nicht aber (oder nur sehr schlecht) sich ein grünliches rot vorzustellen
- Die Gegenfarben lassen sich in der Vorstellung nicht zusammenbringen

Quantitative Methoden brachten die gleichen Ergebnisse

- Vpn wurde Licht einer Wellenlänge präsentiert und sie sollten sagen zu wie viel Prozent dieses Licht aus blau, grün, gelb oder rot besteht (sollte sich zu 100% aufaddieren)
- Die Kurven von gelb und blau, sowie von rot und grün überschneiden sich so gut wie nicht (x-Achse=Wellenlänge; y-Achse=Prozentanteil)

Farbenblindheit bestätigt Theorie

- Menschen die rotblind sind, können auch kein grün sehen, grünblinde kein rot
- Menschen die kein blau sehen können, sehen auch kein gelb

Schon Ewald Hering vermutete, dass den Gegenfarben gegensätzliche neurophysiologische Prozesse zu Grunde liegen (was korrekt ist), jedoch nahm er an dass diese mit dem Auf- bzw. Abbau chemischer Substanzen in der Netzhaut zusammenhängt (was nicht korrekt ist).

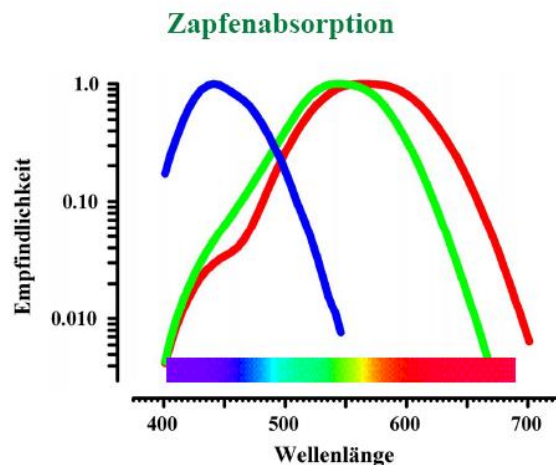
5.3. Neurophysiologie der Farbwahrnehmung

Die Dreifarbentheorie und die Gegenfarbentheorie, die miteinander zu konkurrieren schienen, lassen sich auf neurophysiologischer Ebene beide bestätigen, ja sogar miteinander verbinden.

Dreifarbentheorie: Rezeptoren und Pigmente

- 1964 gelang es Brown & Wald die Absorptionsspektren der Zapfenpigmente zu messen
- 1983 fanden Dartnall, Bowmaker & Mollon die exakten Absorptionsmaxima der Zapfenpigmente

- 419 nm (kurzwellig, K)
- 531 nm (mittelwellig, M)
- 558 nm (langwellig, L)



Aus dem Entladungsmuster der drei Zapfenarten lässt sich also erkennen welche Farbe wahrgenommen wird.

Beispiele:

- der Farbeindruck „Blau“ kommt zustande durch starke Erregung des K-Zapfen, schwächere des M-Zapfen und noch schwächere des L-Zapfen
- der Farbeindruck „gelb“ kommt zustande durch schwache Erregung des K-Zapfen, mittlere Erregung des M-Zapfen und starke Erregung des L-Zapfen

Metamere

Projiziert man nun einen gelben auf einen blauen Lichtpunkt (additive Farbmischung) so müssten nach den Reaktionsmustern auf „gelb“ und „blau“ (s.oben) alle Rezeptoren gleich stark erregt werden, wir müssten also weiß wahrnehmen. Genau das ist auch der Fall.

metamere Farben oder auch *Metamere* sind Farbreize, die die gleiche Erregungsmuster aufweisen, also perzeptuell identisch sind, obwohl sie sich physikalisch unterscheiden.

- Im Beispiel: weißes Licht enthält mehr als nur die Wellenlängen von blau und gelb. Nur das Erregungsmuster ist also identisch, nicht der physikalische Reiz.

Wie unterscheiden sich die Zapfentypen?

Die drei Zapfentypen weisen unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten auf. Der Grund liegt im Pigmentmolekül. Dieses setzt sich zusammen aus einem kleinen Lichtempfindlichen Molekül, dem Retinal (für alle Zapfen gleich), und einem großen Protein, dem Opsin.

Das Opsin besteht u.a. aus Aminosäuren. Die Sequenz dieser Aminosäuren bestimmt das Absorptionsspektrum/-maximum.

- Je ähnlicher die Aminosäuresequenz, desto ähnlicher das Absorptionsspektrum
 - o M und L Zapfen liegen mit ihren Maxima 27 nm auseinander und haben zu 96% identische Aminosäurefolgen
 - o Die Maxima der M und K Zapfen liegen 112 nm auseinander, es entsprechen sich nur 44% der Aminosäuren.
- Veränderung einer Aminosäure führt zur Verschiebung des Absorptionsmaximums um ca. 5 – 7 nm.

Sind drei Zapfentypen zur Farbwahrnehmung nötig?

- Ein einziger reicht auf jeden Fall nicht aus (Univarianzprinzip/ Prinzip der Einheitlichkeit)
- Mit zwei Zapfentypen ist Farbwahrnehmung möglich jedoch ist das Farbspektrum stark eingeschränkt (s. Farbfehlsichtigkeit)
- Mit drei Zapfentypen sieht der Normalsichtige. Er ist ein *Trichromat*.
- Einige wenige Menschen haben vier verschiedene Zapfenpigmente, jedoch sehen diese Menschen immer noch trichromatisch, nicht tetrachromatisch

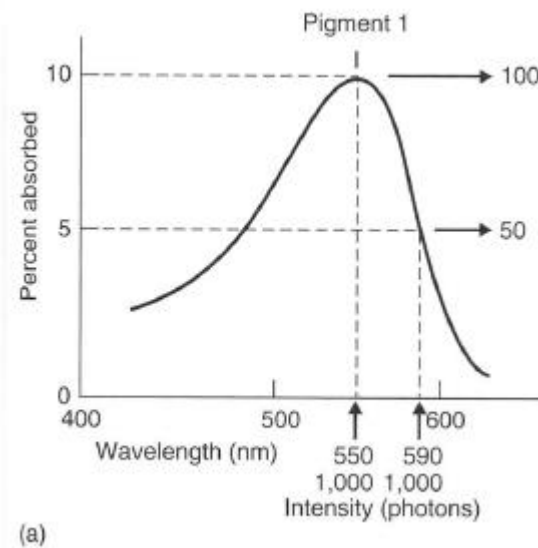
Univarianzprinzip

- Die Absorption eines Lichtquants (Photons) isomerisiert immer ein Pigmentmolekül, unabhängig von der Wellenlänge des Lichts. Die Information über die ursprüngliche Wellenlänge des Photons geht als verloren.

Die einzige Information die also ein einzelnes Zapfenpigment liefert ist die Zahl der absorbierten Lichtquanten.

Beispiel:

- Die Darbietung von 1000 Photonen eines Lichtes der Wellenlänge 550 führt zur Isomerisation von 100 Pigmentmolekülen (10% des Lichtes dieser Wellenlänge werden absorbiert)
- Die Darbietung von 1000 Photonen eines Lichtes der Wellenlänge 590 führt zur Isomerisation von von 50 Pigmentmolekülen (5% des Lichtes dieser Wellenlänge werden absorbiert)

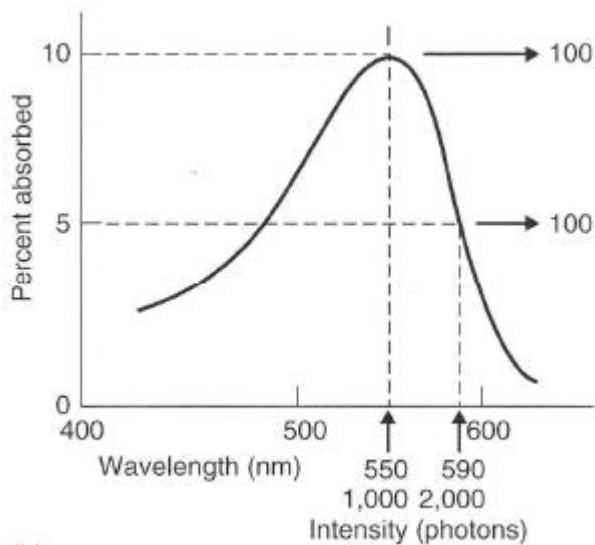


Photons	Wavelength	Isomerized
1,000	550	100
1,000	590	50

(a)

Problem

- Verdoppelt man nun die Intensität des 590 nm Lichtes, so würden auch 100 Pigmentmoleküle isomerisiert



Photons	Wavelength	Isomerized
1,000	550	100
2,000	590	100

(b)

→ Fazit: Aufgrund der einzigen zur Verfügung stehenden Information, nämlich wie viele Lichtquanten absorbiert wurden, lässt sich nicht zugleich *Farbe* und *Intensität* bestimmen. Menschen mit nur einem funktionierenden Zapfentyp wären also tatsächlich Farben-„blind“ und könnten nur Helligkeiten unterscheiden.

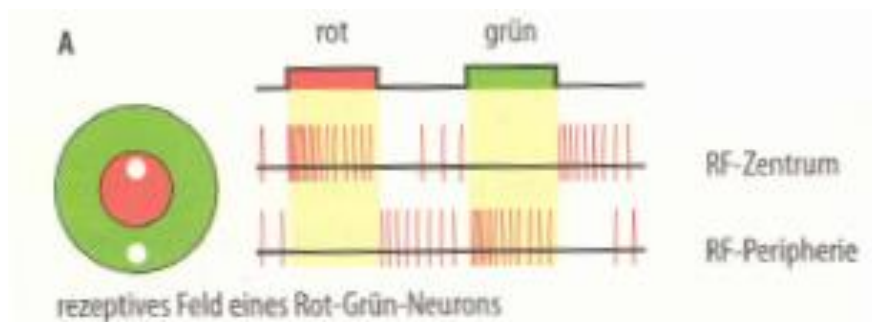
Gegenfarbentheorie

In der Retina und im Corpus geniculatum laterale (CGL) finden sich die Gegenfarbentellen

- Entdeckung des S-Potentials bei Karpfen (s = slow)
 - o Positives Ansprechen der Netzhautneurone auf Licht vom einen Ende des Spektrums, negatives Ansprechen auf Licht vom anderen Ende des Spektrums
- Entdeckung von Gegenfarbentellen im CGL beim Rhesusaffen
 - o Steigerung der Entladungsrate bei kurzwelligem Licht, Verlangsamung der Entladungsrate bei langwelligem Licht (Hemmung der Spontanaktivität)
 - o Man fand vier Gegenfarben-Zelltypen
 - B+G-, G+B-, Gr+R-, R+Gr- (+ heißt erhöhte Aktivität, - heißt Senkung der Spontanaktivität, jeweils auf Licht mit Wellenlängen der vier Grundfarben **Blau, Gelb, Grün, Rot**)

Gegenfarbentellen finden sich auch im Cortex (in der *Area Striata*)

- Typ-1-Gegenfarbentellen
 - o On- bzw. Off-Zentrumzelle. Wird (z.B.) im Zentrum durch rot erregt, in der Peripherie durch grün gehemmt (on-Zentrum) oder auch im Zentrum durch rot gehemmt, in der Peripherie durch grün erregt (off-Zentrum)
- Doppelte Gegenfarbentelle
 - o z.B. im Zentrum eine R+Gr- Gegenfarbenorganisation (Erregung durch rot, Hemmung durch grün) und in der Peripherie eine Gr+R- Gegenfarbenorganisation (Erregung durch grün, Hemmung durch rot)
 - o Es gibt also 4 Arten von doppelten Gegenfarbentellen
 - 1. wie oben beschrieben
 - 2. genau umgekehrt (Zentrum Gr+R-, Peripherie R+Gr-)
 - 3. und 4. entsprechend für blau/gelb Kontrast
 - o Abbildung unten zeigt die oben im Beispiel beschriebene Gegenfarbentelle



Diese doppelten Gegenfarbentellen konzentrieren sich in cortikalen Bereichen die man *Blobs* nennt (Livingstone & Hubbel). Innerhalb der Blobs sind die Gegenfarbentellen zu Säulen organisiert, so dass es in einer bestimmten Säule nur jeweils Neurone für Blau-Gelb oder Rot-Grün gibt.

Farbe und Orientierung werden dabei in der Sehrinde parallel verarbeitet

- Innerhalb der Blobs nur Reaktion auf Farbe (ventraler Kanal)
- Außerhalb der Blobs orientierungsempfindliche Zellen, Reaktion auf Bewegung (dorsaler Kanal)

Verschaltung der drei Rezeptortypen mit den vier Gegenfarbentypen

Diese Verschaltung ist zweistufig

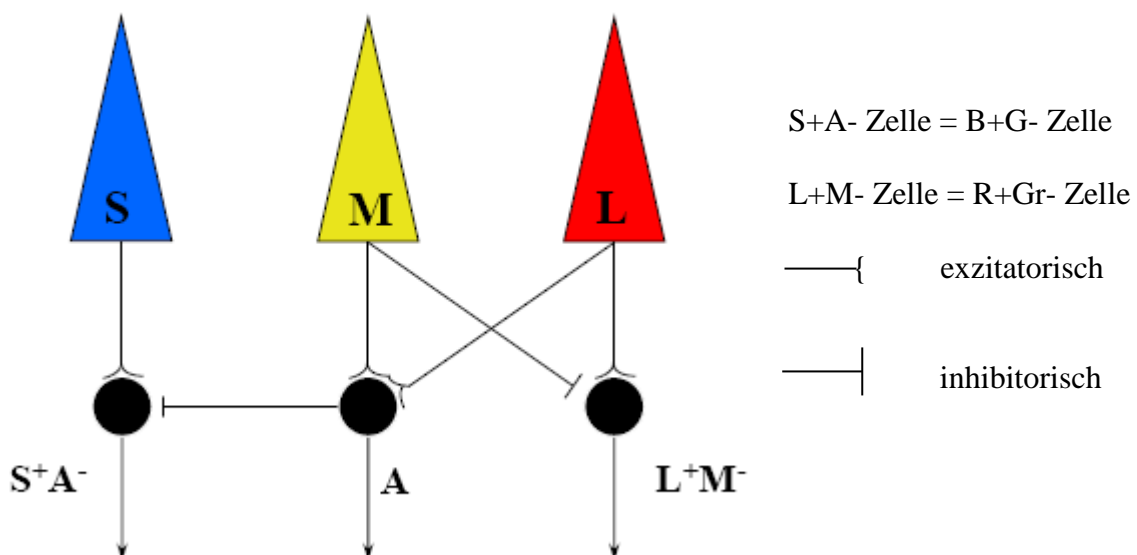
- zuerst reagieren die 3 Rezeptortypen mit einem spezifischen Erregungsmuster auf unterschiedliche Wellenlängen
- dann verarbeiten die nachgeschalteten Gegenfarb-Neurone die Signale der Rezeptoren
 - o die Information wird in eine Form gebracht die klarer übermittelt welche Wellenlängen im Reizmuster genau vorhanden sind

Verschaltung für R+Gr- Zelle

- Exzitation durch L Zapfen
- Inhibition durch M Zapfen

Verschaltung für B+G- Zelle (etwas komplexer)

- Exzitation durch K Zapfen
- Inhibition durch Zelle A
 - o Zelle A wiederum wird erregt durch sowohl M, als auch L Zapfen



Jede Gegenfarbentzelle bildet also letztlich den Unterschied zwischen dem Input des einen und dem Input des anderen Rezeptors

Gegenfarbentneurone hängen nicht unmittelbar mit der Farbwahrnehmung zusammen

- Bsp: Obwohl man bei 580 nm kein rot oder grün sieht, feuert das Gr+R- Neuron heftig.
- Die Gegenfarbentneurone reagieren nicht nur auf chromatisches, sondern auch auf weißes Licht

5.4. Gehirnareale für die Verarbeitung von Farben

Drei Farbverarbeitungs-Stufen im Cortex

Farbinformation wird verarbeitet vor allem im Areal V4, aber auch in V1 und V2

- 1. Stufe: Von jedem Ort der retinalen Abbildung wird die Zusammensetzung der aufgenommenen Wellenlängen bestimmt (umfasst V1 und V2)
- 2. Stufe: aufgenommene Farbinformation wird in Bezug auf die Umgebungsflächen und den Hintergrund ausgewertet (V4). Läsionen führen zu Defiziten in der Farbkonstanz.
 - o Zellen in V4 haben größere rezeptive Felder und sind teilweise nicht mehr retinotop organisiert (V4 ist retinotop, V4 alpha ist nicht retinotop)
- 3. Stufe: Es wird der Bezug zum Objekt hergestellt, Oberflächen- und Gegenstandsfarben werden bestimmt. (größtenteils oberhalb von V4, aber auch V4 selbst)

Die Frage ob es ein lokal umgrenztes Farbzentrum im Gehirn gibt ist umstritten

- dafür spricht der mögliche selektive Ausfall des cortikalen Farbsehens (s. cortikale Farbblindheit)
- dagegen spricht, dass nur auf V4 beschränkte Läsionen das Farbsehen weniger stark beeinträchtigen als größere Läsionen

5.5. Farbenfehlsichtigkeit

5.5.1. rezeptorbasierte Farbfehlsichtigkeit

Im Alltag sprechen wir von Farbenblindheit, was allerdings in den seltensten Fällen (Monochromasie) zutrifft. Treffender ist der Ausdruck Farbfehlsichtigkeit.

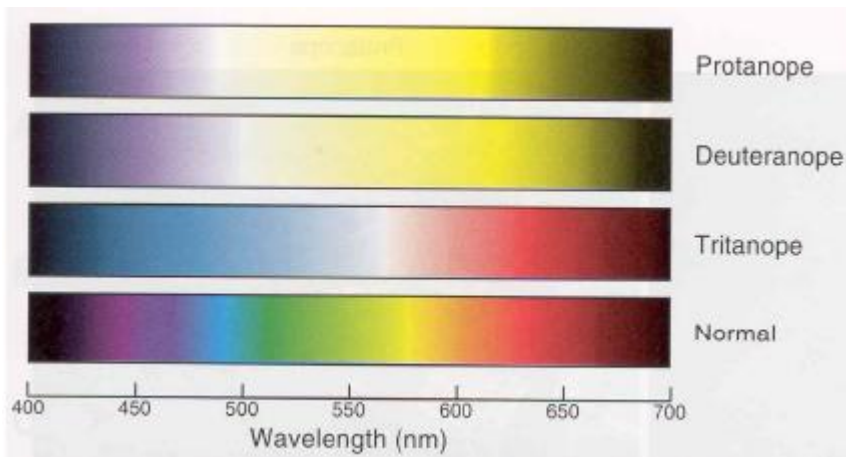
Es gibt drei Formen der Rezeptorbasierten Farbfehlsichtigkeit.

- Monochromasie
 - o Ausfall aller Zapfen, seltener auch Ausfall zweier Zapfentypen
 - o Patient leidet unter geringer Sehschärfe und übermäßiger Helligkeitsempfindlichkeit (schließlich sieht er mit den Stäbchen, die eigentlich für das Nachtsehen konstruiert sind)
- Dichromasie
 - o Ausfall eines Zapfentypen
- Anomale Trichromasie
 - o Patient sieht alle Farben, kann allerdings aufgrund verschobener Absorptionsmaximima bei M und L Zapfen dicht beieinander liegende Wellenlängen schlechter unterscheiden.

Dichromasie wird x-chromosomal geschlechtsgebunden vererbt und tritt so deutlich häufiger bei Männern auf.

Es gibt drei Formen der Dichromasie

- Protanopie (Rot-Grün-Blindheit 1. Form)
 - Ausfall des L Zapfen
 - Wahrnehmung von gesättigtem Blau über weiß/grau zu gesättigtem Gelb
- Deutanopie (Rot-Grün-Blindheit 2. Form)
 - Ausfall des M Zapfen
 - Wahrnehmung ähnlich wie Protanoper
- Tritanopie
 - Ausfall des K Zapfen
 - Wahrnehmung von Blau über weiß/grau zu gesättigtem Rot



Wie die Abbildung oben zeigt, weisen Dichromaten einen so genannten neutralen Punkt mitten im Spektrum auf, an dem sie grau sehen.

- Protanope bei 492 nm
- Deutanope bei 498 nm
- Tritanope bei 570 nm

5.5.2. cortikale Farbenblindheit

Durch einen Unfall kann selektiv das Farbsehen ausfallen während alle anderen visuellen Funktionen erhalten bleiben. Interessant ist folgendes

- der Patient kann zwar keine Farben sehen aber Wellenlängeninformationen nutzen
 - Bsp: Patient kann die Grenze zwischen zwei Flächen unterschiedlicher Farbe sehen, obwohl ihm die Flächen gleich grau erscheinen
- Extraktion der Wellenlängeninformation und der Farbeindruck sind also unabhängige Verarbeitungsschritt

5.6. Farbkonstanz

Auch unter unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen erscheint uns beispielsweise ein grün immer als gleich grün. Das ist erstaunlich, da ja ganz andere Wellenlängen auf unser Auge treffen.

Es gibt drei Erklärungen für die Farbkonstanz

- Farbadaptation
 - Die Zapfen adaptieren an das Umgebungslicht (z.B. rotes Umgebungslicht führt zur Adaptation der L Zapfen)
 - Die Empfindlichkeit für langwelliges Licht nimmt deshalb ab, daher erscheint ein Gegenstand in diesem Umgebungslicht (der ja auch mehr rotes Licht reflektiert als unter Tageslicht) nicht roter
 - Ein Kunstlicht-beleuchteter Raum erscheint gelber wenn man ihn von außen (vorn Haus durchs Fenster) betrachtet, als wenn man sich darin befindet (und an das Licht adaptiert).
- Umfeldinformation
 - Die Farbkonstanz ist optimal wenn die Testfarbe von möglichst vielen anderen Farben umgeben ist
 - Ist das Umfeld abgedeckt, so erscheint ein grün bei Kunstlicht (ist gelber als Tageslicht) tatsächlich etwas gelber
 - Umfeldinformation erklärt Farbkonstanz auch wenn gar nicht genügend Zeit für eine Adaptation ist
- Gedächtnisfarben
 - weniger starker Effekt, dennoch vorhanden: Wenn wir Informationen haben, darüber welche Farbe ein Gegenstand „typischerweise“ hat (ein Herz ist rot), so verschiebt sich der Farbeindruck leicht in diese Richtung.

5.7. Helligkeitskonstanz

Das was die Farbkonstanz für chromatische Farben ist, ist die Helligkeitskonstanz für achromatische Farben. Weiß, grau und schwarz werden auch unter Beleuchtung unterschiedlicher Intensität als gleich bleibend hell wahrgenommen.

Erneut spielt die Umgebung eine wichtige Rolle

- Zwei Flächen werden als gleich hell wahrgenommen wenn das Verhältnis ihrer Intensitäten zu denen ihrer Umfelder konstant hält.
- Bsp: Beleuchtet man ein Schachbrett mit 100 Lichteinheiten, so werden von den weißen Feldern 90 Einheiten reflektiert, von den schwarzen 5 Einheiten; beleuchtet man es mit 1000 Lichteinheiten, so werden von weiß 900 Einheiten, von schwarz 50 Einheiten reflektiert. Der Quotient 18:1 bleibt also erhalten.

Das visuelle System muss, um zu Helligkeitskonstanz in der Lage zu sein unterscheiden können ob eine Fläche dunkler erscheint, weil ein Schatten auf sie fällt (genauer: veränderte Beleuchtung), oder weil sie tatsächlich dunkler ist.

- Eine *Reflektanzstufe* ist eine Kante, an der sich die Reflexion der Oberfläche ändert
 - Bsp: Die Kanten zwischen den schwarzen und weißen Feldern eines Schachbretts
- Eine *Beleuchtungsstufe* ist eine Kante, an der sich die Beleuchtung ändert
 - Bsp: Der Schatten einer über das Schachbrett gehaltenen Hand

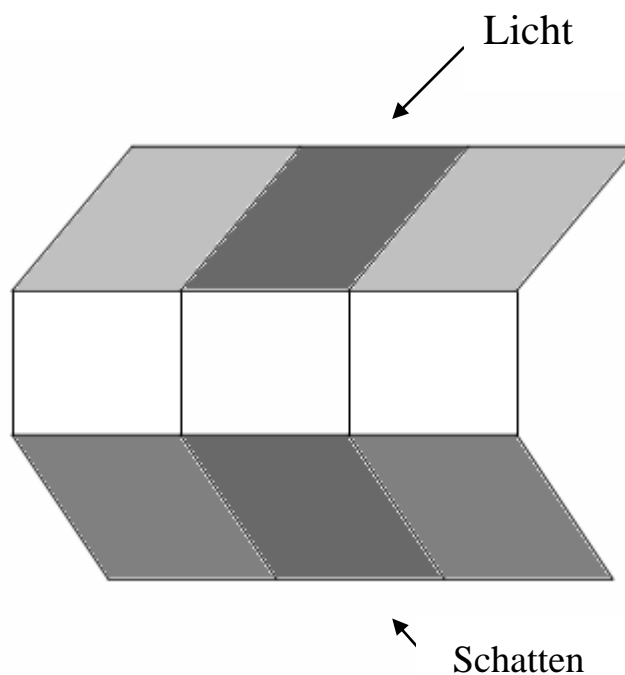
Schatten

Um den Schatten, den ein Gegenstand wirft befindet sich ein unscharfer hellerer Schatten, der sogenannte Halbschatten. Dieser hilft dem Betrachter die entstandene Kante korrekterweise als Beleuchtungsstufe zu interpretieren und die unterschiedlich reflektierte Lichtmenge auf den Schatten zurückzuführen, nicht auf die achromatische Farbe der Fläche.

- Überdeckt man mit einem Edding-Strich den Halbschatten, so wird die Kante nicht mehr als Beleuchtungsstufe sondern als Reflektanzstufe gesehen.

Die Helligkeitswahrnehmung hängt von der Interpretation der Beleuchtungsrichtung ab.

- wird von zwei Flächen, die gleich viel Licht reflektieren, eine als im Schatten liegend wahrgenommen, so wird die im Schatten liegende Fläche als heller wahrgenommen



5.8. Zusammenspiel von Farbsehen und anderen Sinnen

Die Farben von Nahrungsmitteln und Getränken beeinflussen das Erkennen des Geschmacks und das Geruchs. Wenn die Farben des Getränks mit den Farben der Gegenstände des Geschmacks (z.B. Kirsche, also rot) übereinstimmen, so ist es leichter den Geschmack zu erkennen. Farbe liefert also eine top-down Information, die das Erkennen von Geschmack und Geruch erleichtert.

6. Objektwahrnehmung

Inhalt

- 6.1. Wahrnehmung von Objekten
- 6.2. Gestaltpsychologie
- 6.3. David Marr's Theorie der Objektwahrnehmung
- 6.4. Ann Treisman's Merkmalsintegrationstheorie
- 6.5. Objektwahrnehmung durch Zerlegung in elementare Teilkörper
- 6.6. Kategoriengrenzen
- 6.7. Überblick

Zusammenfassung

6.1. Wahrnehmung von Objekten

Das Erkennen von Objekten umfasst drei Teilaspekte

- Wahrnehmen
- Wiedererkennen
- Kategorisieren

Bei der Objekterkennung müssen folgende fünf Punkte beachtet werden

- das Erkennen kann auf unterschiedlichen Komplexitätsebenen erfolgen
 - o Ein Apfel wird zuerst als Apfel wahrgenommen. Auf einer allgemeineren Ebene könnte er auch als Nahrungsmittel gesehen werden, auf einer spezifischeren Ebene kann er als eine bestimmte Sorte (Granny Smith) oder gar ein spezifisches Exemplar gesehen werden.
- Merkmale und Merkmalskomplexe müssen in der Wahrnehmung zu Einheiten organisiert werden
 - o Konturen, Ecken, Farben, Texturen und Geometrien von Objekt und Oberfläche werden zu Einheiten zusammengefügt.
- Objekte und Oberflächen müssen bei wechselnden Darbietungs- und Beobachtungsbedingungen erkannt werden
 - o Objekte müssen erkannt werden bei unterschiedlicher
 - Sicht
 - Beleuchtung
 - Lage
 - Entfernung
 - versch. Kontexte
- das allgemeinere Problem besteht darin zu verstehen wie wir die begriffliche Ordnung unserer Welt aufbauen
 - o Wir unterscheiden hier wahrnehmungsnahe und komplexere kognitive Kategorien. Wahrnehmungsnahe Kategorien werden gebildet und in eine höhere Ordnung gebracht.
 - Wo verlaufen die Kategoriengrenzen? Was unterscheidet das Gesicht eines Mannes von dem einer Frau?
- Objekterkennung ist eng an das Lernen geknüpft
 - o der Großteil unserer Gegenstandsunterscheidung ist mittels Lernen geformt

6.2. Gestaltpsychologie

Die Gestaltpsychologie entstand in den 1920er Jahren als Antwort auf die *klassische Assoziationspsychologie*, welche davon ausging, dass sich Wahrnehmungen aus elementaren Empfindungen aufbauen.

- Max Wertheimer (Mitbegründer der Gestaltpsychologie) konnte hingegen in einem Experiment zur *Scheinbewegung* zeigen, dass Wahrnehmung auch stattfindet, wo Elementarempfindungen fehlen
 - o Bietet man einer Vpn einen Lichtstreifen auf der linken Seite eines dunklen Hintergrundes dar und kurze Zeit (50 ms) später auf der rechten Seite so wird eine glatte kontinuierliche Bewegung des Streifens von links nach rechts wahrgenommen

→ Die Gestaltpsychologen kamen zu dem Schluss:

- „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“



6.2.1. Gestaltfaktoren

Nach der klassischen Gestaltpsychologie gibt es 6 Gestaltfaktoren oder auch Gestaltgesetze. Später wurden drei weitere hinzugefügt.

Die Begriffe Faktoren und Gesetze sind etwas unpassend, in Wirklichkeit handelt es sich um Heuristiken (Faustregeln), die unser Wahrnehmungssystem zur Gruppierung von Einheiten nutzt (d.h. zur Wahrnehmungsorganisation).

Es handelt sich um die beste zugrunde liegende Vermutung, da Wahrnehmung keinesfalls eindeutig ist (beispielsweise gibt es für jedes 2D Bild unendlich viele Möglichkeiten an 3D Bildern, die dem zugrunde liegen könnten; s. Unterspezifikationsproblem).

- jedoch gibt es Regelmäßigkeiten auf die sich unser visuelles System „verlassen“ kann
 - o eine große Zahl paralleler Konturen stimmt z.B. wahrscheinlich mit der Schwerkraftrichtung oder der dazu orthogonalen Horizontalrichtung überein

Gestaltfaktoren

- Faktor der Prägnanz/ der guten Gestalt/ der Einfachheit
 - o Jedes Reizmuster wird so gesehen, dass die resultierende Struktur so einfach wie möglich ist (z.B. symmetrisch statt unsymmetrisch, ein 3D Würfel statt sieben 2D Flächen)
- Faktor der Ähnlichkeit
 - o Ähnliche Dinge scheinen zu zusammengehörenden Gruppen geordnet. Zu den Kriterien nach deren Ähnlichkeit gruppiert wird gehören
 - Orientierung
 - Helligkeit
 - Farbton
 - Größe
 - Tonhöhe (bei auditiven Reizen)
- Faktor der gestaltgerechten Linienfortsetzung/ der fortgesetzt durchgehenden Linie
 - o Punkte, die als gerade oder sanft geschwungene Linie gesehen werden wenn man sie verbindet, werden als zusammengehörig gesehen. Linien werden so gesehen, als verfolgten sie den einfachsten Weg



- Faktor der Nähe
 - o Zeitlich und räumlich Nahes wird gruppiert
- Faktor des gemeinsamen Schicksals
 - o Dinge, die sich in die gleiche Richtung bewegen erscheinen als zusammengehörig
- Faktor der Vertrautheit
 - o Dinge bilden mit größerer Wahrscheinlichkeit Gruppen, wenn die Gruppen vertraut erscheinen oder etwas bedeuten

→ Die Gestaltfaktoren können zusammenwirken und so die Objektwahrnehmung besonders erleichtert, sie können aber auch miteinander konkurrieren (darum auf welche Weise gruppiert wird).

Neuere Faktoren der Wahrnehmungsorganisation (Palmer & Irving Rock, 1994)

- Faktor der gemeinsamen Region
 - o Elemente, die innerhalb einer gemeinsamen Region liegen, werden zusammengruppiert
- Faktor der Verbundenheit der Elemente
 - o Elemente, die miteinander verbunden sind, werden als Einheit gesehen
- Faktor der zeitlichen Synchronizität
 - o z.B. Leuchtpunkte die gemeinsam aufleuchten werden als Einheit gesehen (auch dann wenn sie relativ weit auseinander liegen)

6.2.2. Figur-Grund-Trennung

Besonders wichtig für die Objekterkennung war nach der Gestaltpsychologie die Figur-Grund-Trennung:

- Die Figur wirkt „dinghafter“ und ist leichter im Gedächtnis zu behalten
- Die Figur wird als vor dem Hintergrund stehend wahrgenommen
- der Hintergrund wird als ungeformtes Material gesehen (und erstreckt sich hinter der Figur)
- Die Konturen, die die Figur vom Hintergrund trennen gehören zur Figur

Deutlich werden diese Eigenschaften an sogenannten Kippbildern wie der „Rubin’schen Vase“ (s.u.)

Was als Figur, und was als Grund gesehen wird ist durch bestimmte Eigenschaften beeinflusst. Als Figur wird gewöhnlich gesehen was

- symmetrisch ist
- die relativ kleinere Fläche hat
- eine horizontal/vertikale Orientierung (statt einer schrägen Orientierung)
- was **konkav** ist (und nicht konvex)
- was bedeutungshaltig ist

Einwände gegen die Gestaltpsychologie

- Es gibt beispielsweise im Gesetz der Einfachheit keine Kriterien dafür was „einfach“. Bei einigen Objekten gibt es mehrere mögliche Wahrnehmungen, zwischen denen das Bild hin- und herspringt. Etwas kann aber nicht in einem Augenblick einfach sein und im nächsten nicht mehr.



- Die Erklärungen werden erst im Nachhinein geliefert (sind also mitunter zirkulär):
 - o Welche Figur wird zuerst gesehen?
 - Die Einfachste.
Und welche ist das?
 - Die einfachste Figur ist das, was zuerst gesehen wird.
- Das in den Gestaltgesetzen nicht aufgeführte Merkmale *Orientierung* ist z.B. gegenüber der *Ähnlichkeit* bei der Gruppierung dominant.



6.3. David Marr's Theorie der Objektwahrnehmung

David Marr (1982) favorisiert den *algorithmischen Ansatz*, der auch als *computational approach* bezeichnet wird. Die Stärke des visuellen Systems liegt demnach in der Analyse von visuellen Einzelmerkmalen. Es handelt sich um ein reines bottom-up Modell

Die Objektwahrnehmung erfolgt in mindestens drei Stufen

- Erstellung einer primären Rohskizze der visuellen Merkmale
- Erstellung einer *zweieinhalbdimensionalen* Skizze
- Erstellung einer dreidimensionalen Skizze

Man kann sich Marr's System als Computerprogramm vorstellen das anhand der eingegebenen Daten (also dem Netzhautbild) Berechnungen anstellt, gestützt auf das Wissen über Szenen in der Welt.

Ausgangspunkt ist also das Abbild der Szene/ des Gegenstandes auf der Netzhaut, Endpunkt ist die dreidimensionale Repräsentation, sprich die Wahrnehmung der Szene/ des Gegenstandes. Dazwischen liegen wie bereits erwähnt die Rohskizze und die 2 ½ D Skizze.

Primäre Rohskizze

Das Ergebnis dieser ersten Verarbeitungsstufe, also die primäre Rohskizze selbst wird nicht wahrgenommen.

Einige Elementarmerkmale werden zugleich identifiziert

- geschlossene Formen (Kleckse und Flecken)
- Kontur- und Kantenelemente
- parallele Konturelemente (Streifen)
- Kontur- und Kantenenden

Um die Kanten des Objekts identifizieren können, ignoriert das visuelle System dabei Licht und Schatten. (s.a. Reflektanzstufe vs. Beleuchtungsstufe, Kapitel 5)

- die Intensität an den Grenzen von Licht und Schatten verändert sich allmählich
- die Änderung der Intensität an den Grenzen, die durch Ecken und Kanten des Objekts entstehen ist eher abrupt.

2 ½ D Skizze

Bevor es zur bewussten Wahrnehmung kommt, muss das visuelle System die Information der Rohskizze weiterverarbeiten.

- Elementarmerkmale die nach Größe und Orientierung ähnlich sind werden nach den Gestaltgesetzen gruppiert
- diese Gruppe von Elementarmerkmalen werden dann mit weiteren Auswertungsverfahren zur 2 ½ D Skizze zusammengefügt

3 D Modell

Es werden 3 D Modelle gebildet, die für das Erkennen mit bereits gespeicherten 3 D Modellen verglichen werden. Diese Modelle sind aus den konstitutiven Teilen als Blockkörper geformt (z.B. menschlicher Körper als Zusammensetzung aus Zylindern für Rumpf, Arme und Beine). Bei Bedarf kann diese Analyse entsprechend verfeinert und differenziert werden.

6.4. Ann Treisman's Merkmalsintegrationstheorie

Die Objektwahrnehmung umfasst nach dieser Theorie zwei Stufen

- präattentive Stufe
 - o hier wird das visuelle Reizmuster in elementare Mustermerkmale, die *Textone* zerlegt
- aufmerksamkeitsgesteuerte Stufe
 - o diese zunächst unabhängigen Merkmale werden mittels der Aufmerksamkeit aneinander gekoppelt (Merkmalsintegration)

Präattentive Stufe

Die Verarbeitung läuft auf dieser Stufe augenblicklich, rasch und automatisch ab. Gerichtete Aufmerksamkeit ist nicht notwendig.

Nach welchen elementaren Merkmalen, also welchen sogenannten *Textonen* (Bela Julesz, 1981) gruppiert wird untersucht man mit dem Paradigma der Texturbereichstrennung.

- Den Vpn wird ein Muster mit zwei verschiedenen Reizen gezeigt
- unterscheiden sich diese Reize hinsichtlich ihrer Textone, so kommt es zu einer klaren Trennung der Bereiche (Texturbereichstrennung)

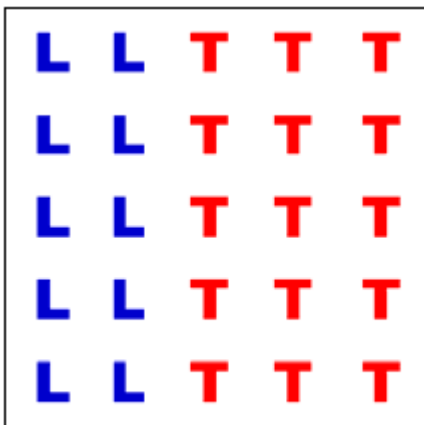


Abb. 10: Pop-Out bei Texturbereichstrennung

Zu den Textonen gehören

- Orientierung
- Linienkreuzung (bzw. keine Linienkreuzung)
- Linienenden
- blobs (Kleckse/ Flecken)

Dass diese Elementarmerkmale auf der präattentiven Stufe unabhängig voneinander verarbeitet werden zeigt sich im Experiment.

Treisman verwendete eine Auswahl aus folgende Elementarmerkmale

- Linienbogen
- Linienneigung
- Farbe
- Linienendpunkte
- Bewegung
- Flächen
- Kontrast
- Helligkeit

Beispiel:

Eine Vorlage aus einem roten X, einem blauen S und einem grünen T wird für 200 ms präsentiert. Bei etwa einem Drittel der Durchgänge berichten Probanden *Scheinverbindungen*, z.B. ein „rotes S“ oder ein „grünes X“. Dieser Effekt tritt auch auf, wenn sich Vorlagenbestandteile in Gestalt und Größe stark unterscheiden (kleiner Kreis und großes Quadrat).

- Hierin zeigt sich die unabhängige und parallele Verarbeitung der Merkmale auf der präattentiven Stufe. Die Merkmale „Form“ und „Farbe“ werden getrennt voneinander verarbeitet (nur deshalb kann es zu Scheinverbindungen kommen). Das bestätigt die neurophysiologische Erkenntnis, dass Farbe und Form in unterschiedlichen kortikalen Säulen verarbeitet werden (s.Kapitel 5).

Wann genau die Verknüpfung der Merkmale geschieht zeigte sich in Experimenten zur visuellen Suche.

- Task 1: Singleton-Suche
 - o Ein grünes X unter roten O's und blauen X'en finden
 - gerichtete Aufmerksamkeit ist nicht erforderlich, Merkmal kann detektiert werden, ohne dass man die Position angeben kann
- Task 2: Merkmalskonjunktionssuche
 - o Ein grünes X unter grünen O's und blauen X'en finden
 - gerichtete Aufmerksamkeit ist erforderlich, wenn also das Merkmal detektiert wird kann man immer auch die Position benennen.

→ Grund

Es gibt zwei Verarbeitungsbahnen

- temporale Bahn
 - o Informationen über das „Was“ eines Objektes werden verarbeitet
- parietale Bahn
 - o Informationen über das „Wo“ eines Objektes werden verarbeitet

Nach Treisman's Theorie wird also ein Objekt in seine Einzelteile zerlegt um es zu identifizieren, was einen bottom-up Prozess darstellt. Erst bei der abschließenden Identifikation des Objekts über einen Abgleich mit im Gedächtnis gespeicherten Inhalten, also der Klassifikation des Gegenstandes, handelt es sich um einen top-down Prozess.

6.5. Objektwahrnehmung durch Zerlegung in elementare Teilkörper

Wie bei Treisman's Theorie basiert die Objektwahrnehmung nach Irving Biederman's Theorie auf der Zerlegung der Objekte in elementare Bestandteile, jedoch in diesem Fall nicht in basale Merkmale wie Farbe oder Orientierung, sondern in elementare Teilkörper, die Geone (von „geometrisches Ion“).

Ein Satz von 36 Geonen (u.a. Zylinder, Quader) ist dabei ausreichend. Objekte können identifiziert werden, wenn die Geone identifiziert sind, aus denen sie bestehen.

- auch wenn über die Hälfte eines Gegenstandes verdeckt ist lässt er sich identifizieren wenn die kritische Information erhalten bleibt, die uns die Geone identifizieren lässt
- diese kritische Information steckt in den *junctions*
- die Identifikation funktioniert sogar wenn nicht alle Geone identifizierbar sind

Stärken von Biederman's Theorie

- Wenn Geone die Grundlage für die internen Repräsentationen der Gegenstände sind dann spielt die Sicht aus der Gegenstände gesehen werden keine Rolle
- Größentransformationen sind problemlos möglich
- das Erkennen ist auch bei Störungen (z.B. Verdeckung) möglich, solange die kritische Information zur Identifikation der wichtigsten Geone erhalten bleibt.

Schwächen

- die Theorie sagt nichts darüber aus, wie die Geone vom visuellen System zuverlässig unterschieden und identifiziert werden können
- zudem sind bei komplexen Objekten mehrere Zerlegungen in Teilkörper „richtig“ (da gleich einfach)
- Formunabhängige Detailinformationen gehen der Theorie nach nicht in Objekterkennung ein
 - o geometrische Feinstruktur
 - o Textur
 - o ReflexionseigenschaftenWie soll aber anhand von Geonen beispielsweise eine fein gemusterte Moosfläche repräsentiert werden?
- Komplexe Objekte können nicht oder nur schwerlich mithilfe von Geonen repräsentiert werden
 - o Bsp: knorriges Wurzelholz, Wassergischt eines Bergbaches, ein sich im Wind wiegender Weidenstrauch

6.6. Kortikale Antworten auf mögliche und unmögliche Objekte

Schacter et al. (1995) untersuchten mithilfe der PET (Positronenemissions-Tomographie) welche kortikalen Teilsysteme bei der Wahrnehmung möglicher 3 D Objekte aktiv sind und welche bei der Wahrnehmung unmöglicher 3 D Objekte.

- Mögliche Konfiguration:
 - o erhöhte Aktivität im *infotemporalen Cortex* (ist beteiligt an der neuronalen Repräsentation dreidimensionaler Körper)
- Unmögliche Konfiguration:
 - o keine erhöhte Aktivität im infotemporalen Cortex, stattdessen erhöhte Aktivität im *Hippocampus* (subkortikales System, welches auch bei neuen und unerwarteten Mustern reagiert)

6.7. Kanonische Ansichten

Gegenstände können nicht aus jeder beliebigen Position gleich gut erkannt werden. Von unten ist ein Dreirad beispielsweise schlechter zu erkennen als von schräg vorne.

Leicht zu erkennen sind Gegenstände wenn Charakteristiken des Objekts treffend zum Ausdruck kommen

- Man bezeichnet diese charakteristischen Ansichten als *kanonische Ansichten*
- Menschen stimmen in hohem Maße darin überein welche Ansicht sie für geeignet halten

Forschungsfrage: Ist die interne Repräsentation im Gedächtnis sichtenabhängig?

Objekt-Erkennungszeiten

- Wird ein Objekt in der kanonischen Ansicht präsentiert verkürzt sich die Erkennungszeit
- Wird eine spezifische Ansicht trainiert, so verkürzen sich auch hier die Erkennungszeiten

→ Man geht davon aus, dass von einem Gegenstand mehrere Sichten im Gedächtnis gespeichert sind, die bei Bedarf durch weitere ergänzt werden können. Die Vorstellung, dass Objekte sichtenabhängig repräsentiert sind, sagt allerdings noch nichts darüber aus in welcher Form die Gegenstände repräsentiert sind.

Bülthoff et. al (MPI für Kybernetik) gehen davon aus, dass die *primären* und *elaborierten Neurone* im *infotemporalen Cortex* hierbei eine Rolle spielen.

- durch ihre Größen- und Ortsinvarianz erscheinen sie gut geeignet selektiv auf wichtige Merkmalskomplexe der Gegenstände zu antworten
- das charakteristische Muster was sich aus einem Ensemble mehrerer hundert solcher Neurone als Antwort auf wichtige Merkmalskomplexe eines Gegenstandes ergibt kann als merkmalsbasiertes Schema für den Gegenstand dienen, welches wiederum für das Wiedererkennen des Gegenstandes relevant ist.
- darüber hinaus bietet die bei diesen Neuronen beobachtete Lernfähigkeit eine gute Erklärungsgrundlage für die Flexibilität bei der Objekterkennung

Diesen Untersuchungszugang bezeichnen die Autoren selbst als *feature based multiple view approach*, frei übersetzt also als „merkmalsabhängigen, mehrfach-Ansichten Forschungszugang“.

Möglicherweise gibt es auch verschiedene Arten wie die Kategorien von Gegenständen, Oberflächen und Ereignissen im Gehirn repräsentiert sind.

6.8. Kategoriengrenzen

Neben den oben aufgeführten Kenntnissen über die Repräsentation einzelner Gegenstände im visuellen System ist es interessant zu wissen, wie intern eine Ordnung der verschiedenen Klassen der Gegenstände erreicht wird. Anhand welcher Merkmale sind die Gegenstandskategorien voneinander getrennt?

Hierzu untersucht man die Grenzen zwischen den Gegenstandskategorien anhand sogenannter Übergangsreihen

- Zwischen zwei klar unterscheidbaren Gegenstandskategorien z.B. Weinglas und Flasche jeweils in der kanonischen Ansicht werden per Computer mit einem Morphingverfahren Zwischenstufen der Ansicht hergestellt

- Menschen stimmen in hohem Maße darin überein wo die Kategoriengrenzen liegen, wo also im Beispiel die Kategorie „Weinglas“ endet und die Kategorie „Flasche“ beginnt.

6.9. Objektwahrnehmung mit anderen Sinnen

Auch mit anderen Sinnen können wir Objekte erkennen. Neben dem visuellen System verwenden wir hier vor allem den Tastsinn (Blinde nutzen zur Objekterkennung vor allem diesen Sinn), aber auch das Gehör und der Geruchsinn tragen zur Objekterkennung bei.

Im Normalfall ergänzen sich die Informationen der einzelnen Kanäle gegenseitig:

- Wenn wir z.B. eine Skulptur nur sehen, haben wir den Eindruck, sie sei aus Stein. Die direkte Berührung macht aber klar, dass sie aus Kunststoff ist

6.10. Überblicke

Die unterschiedlichen Ansätze haben unterschiedliche Sachverhalte zu ihrem Schwerpunkt gemacht

- die Gestaltpsychologie befasste sich damit, wie kleinere Elemente zu einem größeren Ganzen gruppiert werden
- die Merkmalsintegrationstheorie (Ann Treisman) befasst sich insbesondere mit schnellen, vorbewussten Prozessen (für die keine gerichtete Aufmerksamkeit nötig ist)
- die Theorie des Erkennens von Objekten anhand elementarer Teilkörper zielt auf eine Erklärung der Wahrnehmung dreidimensionaler Objekte (Irving Biederman)
- Neuere Untersuchungen befassten sich vor allem mit der sichtenabhängigen vs. sichtenunabhängigen Repräsentation von Gegenständen

Überschneidungen der Ansätze

- bis auf die Gestaltpsychologie gehen alle Ansätze von einem raschen Anfangsstadium aus, in dem das Objekt in elementare Merkmale zerlegt wird und lassen dann ein oder mehrere Stadien folgen, in denen die Elementarmerkmale zu einem Objekt zusammengefügt werden

Die Objektwahrnehmung ist sehr komplex und beinhaltet möglicherweise mehrere Mechanismen, die parallel, in gegenseitiger Wechselwirkung und zueinander rückgekoppelt arbeiten.

7. Wahrnehmung räumlicher Tiefe und der Größe von Objekten

Tiefenwahrnehmung

Abbildungen unserer Umwelt auf der Retina enthalten keine Informationen über die räumliche Gliederung der Umwelt (3-D-Infos). Aber es ergeben sich Informationen aus den Beobachtungsbedingungen und dem Bild, die als Basis zur Rekonstruktion und Interpretation der räumlichen Struktur dienen:

1. Okulomotorische Informationen für die räumliche Tiefe
2. Monokulare Informationen für die räumliche Tiefe
3. Bewegungsinduzierte Informationen für die räumliche Tiefe
4. Stereoskopische Informationen für die räumliche Tiefe

Diese Informationsquellen werden auch manchmal **Tiefenkriterien** genannt. Da es sich aber nicht nur um ein Problem der kognitiven Interpretation handelt, sondern ein **Kernbereich der visuellen Verarbeitung** dargestellt wird, ist von dieser Formulierung abzusehen.

Diese visuelle Verarbeitung erfasst: [Die Systemtheorie von *Norbert Bischof* (1966b, 1995)]

- Extraktion komplexer Regelmäßigkeiten
- Sensumotorische Zusammenarbeit in der Verarbeitung

Dies basiert auf:

- Genetische determinierten Eigenschaften
- Lernen

1. Okulomotorische Informationen für die räumliche Tiefe

- Konvergenz (Augen drehen sich nach innen, um ein nahes Objekt zu betrachten)/ Divergenz (Augen bewegen sich auswärts, schauen parallel)
- Akkommodation
→ Aus den Steuerungs- und Rückmeldesignalen kann das visuelle System Informationen über die räumliche Tiefe entnehmen (bei kleinen Distanzen kleiner als 1,5-3 m wirksam)

2. Monokulare Informationen für die räumliche Tiefe

- Verdecken von Objekten (gibt eine relativ räumliche Tiefe an → Objekt A ist näher als Objekt B)
- Relative Höhe im Gesichtsfeld: Objekte, die sich im Gesichtsfeld an höherer Position befinden, werden als weiter entfernt gesehen (oft mit Verdecken gekoppelt; gilt NUR für Objekte unterhalb der Horizontlinie, oberhalb der Horizontlinie erscheint ein Objekt an niedrigerer Position weiter entfernt)
- Relative Größe im Gesichtsfeld: Da bei gleich großen Objekten das nähere einen größeren Teil im Gesichtsfeld einnimmt, kann das zur Wahrnehmung räumlicher Tiefe genutzt werden.
- Atmosphärische (oder Luft-)Perspektive: Durch kleine Partikel auf unserer Sichtlinie in der Luft (Staub, Wassertröpfchen, Verschmutzungen) wirken weit entfernte Gegenstände weniger scharf als nahe.
- Gewohnte Größe von Gegenständen
Experiment von *William Eppstein* (1965): 10-Cent, Vierteldollar und halber Dollar werden fotografiert und gleich groß in gleicher Entfernung von der Vp präsentiert. Diese beurteilt monokular, dass 10-Cent am nächsten und halber Dollar am weitesten Weg ist → ohne andere

Hinweise wird Entfernung der Münze durch Erfahrung über Größe geschätzt (funktioniert nicht binokular)

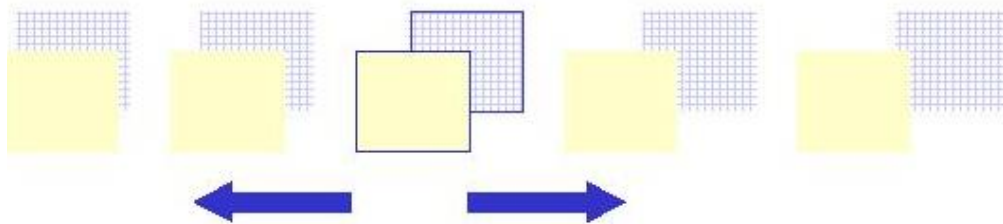
- Lineare Perspektive: Wie stellt man auf zweidimensionaler Fläche die räumliche Tiefe dar? In Wirklichkeit parallel laufenden Linien konvergieren in der Ferne; je größer die Entfernung, desto stärker die Annäherung (Bsp.: Eisenbahnschienen)
- Texturgradient: Elemente, die horizontal gleich weit von einander entfernt sind, erscheinen mit größerer Entfernung zum Beobachter dichter gepackt → Zur Entfernungswahrnehmung orientieren wir uns u.A. am Bodenmuster

3. Bewegungsinduzierte Informationen für die räumliche Tiefe

- Bewegungsparallaxe: (*Helmholtz*) Weit entfernte Objekte bewegen sich langsam; Dinge in der Nähe bewegen sich schnell, wenn wir daran vorbeigehen. (nahes Objekt bewegt sich ein großes Stück auf der Netzhaut, entferntes Objekt dagegen nur ein kleines Stück)



- Fortschreitendes Zu- oder Aufdecken von Flächen: Objekt A verdeckt Objekt B (weiter entfernt) stärker, wenn Beobachter in eine Richtung läuft und deckt es langsam auf, wenn der Beobachter in die andere Richtung läuft



→ Bewegungsparallaxe und Zu-/Aufdecken hängen zusammen und verstärken die Tiefenwahrnehmung gegenseitig

4. Stereoskopische Informationen für die räumliche Tiefe: binokulares Sehen

Da unsere zwei Augen die Welt aus einem etwas unterschiedlichen Winkel sehen, nehmen wir zwei geringfügig unterschiedliche Bildausschnitte der Umwelt auf. Diese Unterschiede = Querdisparation werden vom visuellen System decodiert und in Wahrnehmung räumlicher Tiefe (Stereosehen/ Stereopsis) umgesetzt.

Der Physiker *Charles Wheatstone* (1802-1875) baute mit diesem Wissen ein Stereoskop → mit einer speziellen Kamera werden 2 Bilder (entsprechend dem Bild

des linken und des rechten Auges) gemacht, die dann mit dem Stereoskop dem rechten und linken Augen getrennt dargeboten werden und so eine 3-D-Wahrnehmung erzeugen (Diese Technik wird auch bei 3-D-Filmen genutzt).

Korrespondierende Netzhautpunkte: Punkte der Netzhaut des linken und des rechten Auges, die mit demselben Ortswert im visuellen Kortex verbunden sind.

Horopter: Gedachter Kreis, der durch den Fixationspunkt und die optischen Mittelpunkte der beiden Augen führt. Alle Objekte, die auf dem Horopter liegen fallen auf korrespondierende Netzhautpunkte. Je weiter ein Objekt jedoch vom Horopter entfernt ist, desto unterschiedlicher ist die Abbildung des Objekt auf der linken und der rechten Netzhaut. Der **Querdisparationswinkel** ist demnach der Winkel zwischen dem korrespondierenden und dem eigentlichen (disparaten/ nichtkorrespondierenden) Netzhautpunkt. Objekte, die vor dem Horopter liegen, fallen auf die äußeren Radbereiche der Netzhäute (**gekreuzte** Querdisparation). Objekte hinter dem Horopter werden auf dem inneren Teil der Netzhäute abgebildet (**ungekreuzte** Querdisparation).

Die Querdisparation liefert also als einzige binokulare Quelle Informationen darüber wie weit ein Objekt vom Blickpunkt entfernt ist.

Bela Julesz (1971) bewies anhand von **Zufallsstereogrammen** (random-dot stereogramm/ Stereogramme mit zufälligen Punktmustern), dass dies Querdisparation bereits allein eine Tiefenwahrnehmung erzeugt.

Wie erzeugt man ein Zufallsstereogramm?

1. Erzeugung von zwei identischen Zufallsmustern (Ameisenbild)
2. In einem Muster wird ein quadratischer Ausschnitt geringfügig nach rechts oder links verschoben und die entstandene Lücke durch neue zufällige weiße und schwarze Punkte gefüllt.
3. getrennte Darbietung der beiden Muster auf dem linken und dem rechten Auge durch ein Stereoskop → Querdisparation wird erzeugt und es wird ein kleines Quadrat schwebend vor dem Hintergrund wahrgenommen

neuronale Verarbeitung von Querdisparation

Durch Untersuchungen an Katzen und Affen wurde herausgefunden, dass es im visuellen Kortex spezielle Neurone (Querdisparationsneurone, Zellen für räumliche Tiefe) gibt, die auf Reize mit disparaten Netzhautpunkten besonders reagieren (maximale Reaktion bei 30 Winkelminuten= Querdisparation von einem halben Grad). Querdisparationsneurone sind in allen Stufen des visuellen Kortex entlang der dorsalen Verarbeitungsbahn gefunden worden.

Randolph Blake und Helmut Hirsch (1975) untersuchten den Zusammenhang zwischen den Querdisparationsneuronen und Verhalten. Dazu verhinderten sie die Entwicklung der Querdisparationsneurone, indem sie Katze die ersten 6 Monate ihres Lebens nur monokular sehen ließen. Die Katzen waren nach dieser Zeit nicht fähig, stereoskopisch zu sehen.

DeAngelis, Cummings und Newsome (1998) stellten an Affen fest, dass die Reizung eines Bereichs des Kortex, der für einen bestimmten Querdisparationswert sensibel ist, zur Veränderung der Beurteilung der räumlichen Tiefe führt.

Korrespondenzproblem beim Stereosehen

Der Vergleich zwischen linkem und rechtem Netzhautbild erfolgt sehr schnell im visuellen Kortex. Aber wie? Es gibt mehrere Erklärungsansätze, jedoch noch keine befriedigende Lösung.

Ort des Stereosehens im Kortex: parietaler Kortex (ermittelt durch den Vergleich zwischen MRT von 2-D und 3-D-Bildern)

Autostereogramm:

[das sind die tollen 3-D-Bilder, die in unserer Grundschulzeit in waren]

Innerhalb eines Bildes wiederholen sich entsprechende Bildteile und erzeugen so Querdissipation, wenn man das Bild mit divergierten Augen betrachtet. (Es muss also weit hinter dem Bild selbst fixiert werden).

Welche Tiefeninformationen nutzen Tiere?

Jegliche vom Menschen genutzte Systeme zur Tiefenwahrnehmung werden auch im Tierreich genutzt.

Zur Querdissipation sind jedoch frontal angeordnete Augen vorausgesetzt, damit überlappende visuelle Felder entstehen können. Die Hasen können dies wegen ihren seitlich liegenden Augen also nicht nutzen, haben dafür aber durch das größere Sehfeld eine bessere „Rundumansicht“. Bei Tauben überschneiden sich die visuellen Felder der beiden Augen nur in einem Bereich von 35 Grad. Das langt aber genau, um das Futter besser dreidimensional zu sehen.

Bei Insekten scheint die Bewegungsparallaxe die wichtigste Information zur Entfernungsabschätzung. Fledermäuse hingegen nutzen ausschließlich die Echoortung zur Lokalisation von Objekten.

Wahrnehmung der Größe von Objekten

Die Wahrnehmung der Größe von Objekten hängt überwiegend von der wahrgenommenen Entfernung ab (neben der relativen Größe des Objekts und weiteren Kontextinformationen). Zwei Aspekte des Sehwinkels (siehe Kapitel 2) bzgl. Größenwahrnehmung:

- Der Sehwinkel hängt von Größe und Entfernung des Objektes vom Beobachters ab
 - Zwei gleich große Objekte können in unterschiedlicher Entfernung unterschiedliche Sehwinkel haben
 - Zwei verschieden große Objekte können in denselben Sehwinkel haben, wenn sie die richtige (aber nicht gleiche) Entfernung vom Beobachter haben (Bsp.: Sonnenfinsternis)
- Der Sehwinkel eines Objektes hat direkten Einfluss auf die Größe der Abbildung des Objektes auf der Netzhaut

Größenkonstanz

Wir nehmen die Größe eines Objekts als relativ konstant wahr, auch wenn sich die Größe seiner Abbildung auf der Netzhaut ändert.

- Ist nur möglich, wenn wir außer dem Netzhautbild noch andere Informationen (über die Entfernung) mit verrechnen können
- Nur bei Entfernung bis zu 100-200 m beobachtbar (bei größeren Entfernungen entscheidet der Bedeutungskontext und das Vorwissen stärker über die Größe)

Experiment von *Holway und Boring* (1941):

- Beobachter sitzt am Kreuzungspunkt zweier Flure; im rechten Flur steht die Testkreisscheibe (Entfernung wird zwischen 3 und 36m variiert), im linken Flur die Vergleichskreisscheibe (immer 3m von V_p entfernt)
- Der Sehwinkel der Testkreisscheibe beträgt immer 1 Grad, d.h. die Testkreisscheibe wird größer mit wachsender Entfernung
- Durchmesser der Vergleichskreisscheibe soll entsprechend der Testkreisscheibe eingestellt werden
→ Bei uneingeschränkter Information über die Objektentfernung passten die V_p die Vergleichsscheibe immer der wirklichen physikalischen Größe der Testkreisscheibe an (=Größenkonstanz)

→ Je weniger Entfernungsinformation jedoch gegeben war (durch Betrachtung nur mit einem Auge, durch eine Lochblende oder durch verhinderte Information über die räumliche Struktur, indem der Korridor mit Stoff bespannt wurde), desto stärker wichen die Beobachter von der Größenkonstanz ab

→ Bei kompletter Entfernung der Tiefenkriterien entsprach die Wahrnehmung der Größe nur noch exakt dem jeweiligen Sehwinkel

Fazit: Entfernungsinformation ist absolut wichtig für die Wahrnehmung der Größe von Objekten.

Kompensationsmechanismus: soll im visuellen System die Größe des Sehwinkels mit den Informationen über die Objektentfernung verrechnen, unter Berücksichtigung der Relation Größe – Entfernung (size-distancy-scaling).

Emmert'sches Gesetz

(Experiment: 60 sec auf einen schwarzen Kreis blicken und danach Nachbild auf Blatt Papier erzeugen. Das Nachbild auf einer weiter entfernten Wand ist viel größer als das auf dem Blatt Papier. Emmert 1881)

Je weiter entfernt ein Nachbild gesehen wird, desto größer wird es wahrgenommen.

$$G=K (G \times D)$$

G ist die wahrgenommene Größe des Nachbildes

K ist eine Konstante

G ist die Größe des Netzhautbildes

D ist die wahrgenommene Distanz des Nachbildes

Das Emmert'sche Gesetz ist auch allgemein auf die Größenkonstanz anwendbar

Kompensationsprinzip (Bischof 1966)

Um Wahrnehmungskonstanz zu erreichen, muss das visuelle System

Gegenstandsmerkmale auch dann ermitteln, wenn die Reizmuster an den Sinnesorganen keine direkte Entsprechung für diese Merkmale beinhalten. (Bsp.: Objektgröße kann nicht allein aus retinaler Größe ermittelt werden, also bedarf das System einer Verarbeitungsmethode, um Größe aus verfügbaren Informationen zu ermitteln)

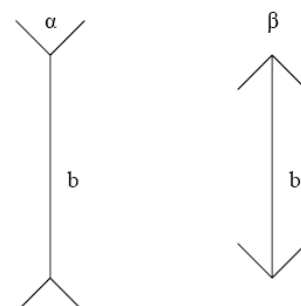
- Umwelt: Distaler Reiz (Gegenstandsmerkmale) wird durch eine regelhafte „Störung“/ Interferenz (wie z.B. Objektentfernung) zum proximalen Reiz (Reizmuster an den Sinnesorganen)
- Organismus: Proximaler Reiz wird durch das Sinnesorgan zu neuronalem Signal, das durch die Kompensationsgröße die Störung/ Interferenz der Umwelt rückgängig macht, d.h. sie wird vollständig durch die Verarbeitung kompensiert
- So entsteht der neue Wahrnehmungsinhalt
 - Qualität der Kompensationsleistung hängt davon ab, wie gut die Kompensationsgröße ermittelt werden kann
 - Kompensationsgröße entsteht durch: andere Wahrnehmungssysteme, efferente motorische Signale (z.B.: Konvergenz beim Sehen) oder Kontextinformationen

Geometrisch-optische Größentäuschung

Größentäuschungen entstehen aufgrund von irreführenden oder fehlenden Tiefen- oder Entfernungsinformationen (z.B. Blick aus großer Höhe → normale Gegenstände wirken wie Spielzeuge).

Müller-Lyer-Täuschung

Zwei gleich lange Linien werden als unterschiedlich lang wahrgenommen durch die an die Linien angelegten Winkel (Pfeilspitzenlinie wirkt kürzer als Pfeilende)



Erklärungen für die Müller-Lyer-Täuschung

- Fehlwirkung der Größenkonstanz (u.A. *Gregory* 1966): Mechanismus, der in der dreidimensionalen Welt für Größenkonstanz sorgt, kann auf zweidimensionaler Fläche eine Täuschung erzeugen. Die Winkel an der linken Linie könnten einen Teil einer Innenecke eines Raumes darstellen, die der rechten Linie dagegen einen Teil einer Außenecke eines Gebäudes. Da die Innenecke erfahrungsgemäß vom Betrachter weiter weg wäre als die Außenecke, sehen wir den Winkel als weiter entfernt und unser Korrekturmechanismus (size-distance-scaling) lässt die linke Linie länger erscheinen.
 - Auch auf die Ponzo-Täuschung anwendbar (Balken auf Bild mit Bahngleisen erscheinen unterschiedlich lang, obwohl sie den gleichen Sehwinkel haben)
 - Kritik: Täuschung tritt auch bei Figuren ohne ersichtliche Perspektive oder räumlicher Tiefe (z.B. Hantel) auf, sogar dreidimensionale Figuren zeigen den Effekt (Bsp. mit Büchern).
- Gesamterstreckung der Linienkonfiguration (*R.H. Day* 1989, 1990): (Gilt für ein Linienmuster ähnlich der Müller-Lyer-Täuschung) Die Wahrnehmung der Linienlänge wird beeinflusst durch:
 - a) Die tatsächliche Linienlänge
 - b) Die Gesamtlänge der Konfiguration
- Nicht für alle Linienmuster ähnlich der Müller-Lyer-Täuschung gibt es die gleiche Erklärung, da evtl. unterschiedliche Auswertungsmechanismen aktiviert werden

Ame'scher Raum (nach Erfinder *Adalbert Ames* benannt)

Zwei gleich große Menschen wirken in dem Raum als ob sie völlig unterschiedlich groß wären, da der Raum nicht rechteckig ist, aber von der Perspektive des Betrachters aus so wirkt. Die linke Ecke des Raumes ist fast doppelt so weit vom Beobachter entfernt wie die rechte Ecke. Daher hat die Frau in der linken Ecke einen viel kleineren Sehwinkel als die in der rechten Ecke. Da wir aber davon ausgehen in einen rechtwinkligen Raum zu blicken und der Raum auch keine Hinweise auf eine größere Entfernung gibt, stützt sich die visuelle Wahrnehmung einzig auf die Information des Sehwinkels und so erscheint die Frau links (kleinerer Sehwinkel) kleiner als die Frau rechts.

Mond-Täuschung

Der Mond erscheint knapp über dem Horizont viel größer (ca. 30%) als wenn er hoch am Himmel steht.

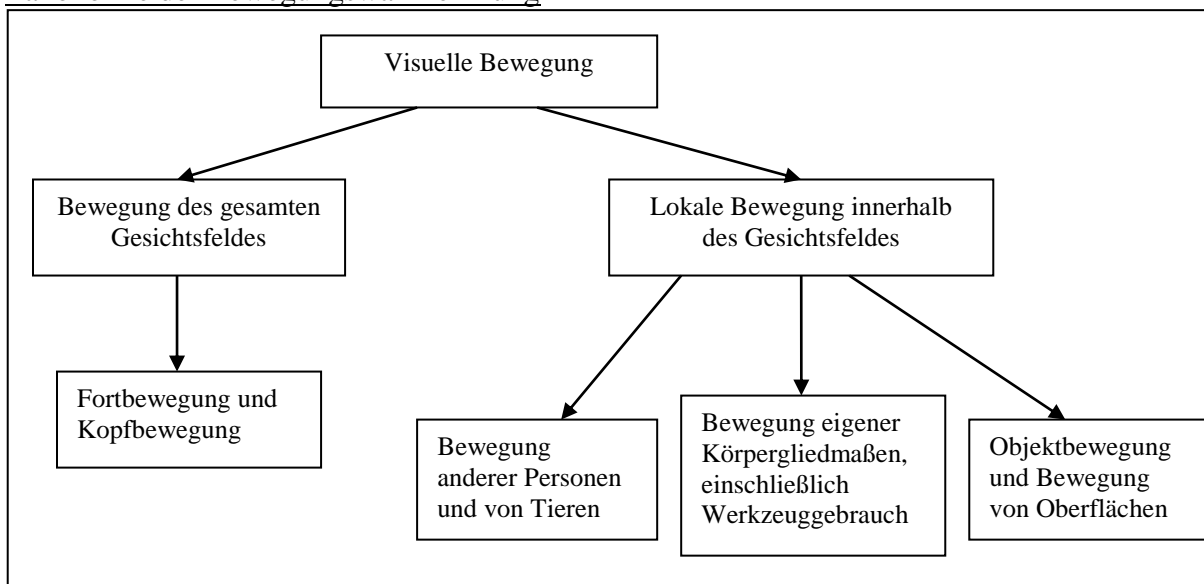
Erklärungsansätze:

- Wahrgenommene Entfernung: Der Mond hat immer den gleichen Sehwinkel, aber die Entfernung zum Horizont wirkt durch die Tiefeninformation des Geländes viel größer als die Entfernung zum Himmel (dieser wird eher als „abgeflacht“ erlebt). Die Relation Größe – Entfernung gleicht den Entfernungsunterschied aus und so wirkt der weiter entfernt scheinende Mond größer.
 - Sehwinkelgrößenvergleich: Ein Objekt erscheint kleiner, wenn es von größeren Objekten umgeben ist → große Himmelsfläche lässt den Mond klein erscheinen, am Horizont umgibt ihn weniger Himmel und so scheint er größer
 - Zusammenwirken verschiedener Faktoren (*Plug und Ross* 1994), die die wahrgenommene Größe am Horizont steigern:
 - a) wahrgenommene Entfernung
 - b) atmosphärische Perspektive (Dunst am Horizont)
 - c) Farbe (rot)
 - d) Okulomotorische Faktoren (Konvergenz bei Betrachtung des Horizonts)
- eine eindeutige Erklärung wurde noch nicht gefunden!

8. Visuelle Bewegungswahrnehmung

- Bewegungswahrnehmung ist für Mensch und Tier von elementarer Bedeutung (oft lebensnotwendig)
- Bewegung erregt unsere Aufmerksamkeit
- Erlebniskategorie mit Primärcharakter (es ist einfach, Bewegung zu beurteilen)
- Bewegungsagnosie: kommt selten vor, Verlust der Fähigkeit Bewegung visuell wahrzunehmen → Mundbewegung und Gestik wird nicht mehr erkannt, ein nahendes Auto zu spät entdeckt, steigender Flüssigkeitsspiegel in einem Gefäß nicht wahrgenommen
- Stroboskopische Bewegung: aus einer Serie von Einzelbildern entsteht eine Scheinbewegung (Bsp.: Kino)
- Wasserfalltäuschung: Nachdem man auf einen Wasserfall geschaut hat, erscheint eine ruhende Fläche sich in die entgegengesetzte Richtung zu bewegen (Bewegungsnacheffekt)
- Induzierte Bewegung: Die Bewegung eines größeren Objekts führt zur fälschlichen Bewegungswahrnehmung eines kleineren Objekts daneben (Bsp.: Zug)

Taxonomie der Bewegungswahrnehmung



Wie entsteht aus dem Muster der retinalen Bewegungssignale eine kohärente Bewegungswahrnehmung, die der realen Bewegung entspricht?

Korrespondenzproblem: Welche der zeitlich und räumlich aufeinander folgenden Informationen gehören zusammen?

- Verschiedene Auswertungsmethoden sind dem visuellen System verfügbar
- Bewegungssignale werden lokal **analysiert**, in geeignete Regionen **segmentiert** (eingeteilt) und dann **integriert** (zu Zwischenresultaten zusammengefasst)
- Daraus entstehen (Zwischenschritt ist noch nicht klar) schließlich die Wahrnehmungsergebnisse

Untersuchung der Bewegungswahrnehmung

Sigmund Exner (1975): Wenn man in unmittelbarer zeitlicher Folge zwei dicht beieinander liegende elektrische Funken erzeugt, so sieht man, dass sich ein Funke vom ersten zum zweiten Ort bewegt (Scheinbewegung)

→ wurde später für den Film umgesetzt

Die Art der Bewegung zwischen zwei kurz dargebotenen Leuchtfeldern ist abhängig von (Wertheimer):

- Dem Abstand zwischen den Feldern (bei größerer Entfernung muss entweder Zeitintervall oder Lichtintensität gesteigert werden, um gleiche Bewegung wahrzunehmen)
- Der zeitlichen Abfolge der Felder: Reizzwischenintervalle (*Graham 1965*)
 - Weniger als 30 ms → keine Bewegung sichtbar (gleichzeitig wahrgenommen)
 - 30-60 ms → Teilbewegung (springen)
 - Ab 60 ms → Scheinbewegung (kontinuierlich)
 - Länger als 200-300 ms → Sukzessivstadium (Punkte leuchten einzeln nacheinander auf)

Reale Bewegungswahrnehmung ist abhängig von:

- Reizmuster des sich bewegenden Objekts
- Hintergrund

Aubert (1886): Die **Schwelle** für Bewegungswahrnehmung in einem homogenen Feld liegt bei einer Geschwindigkeit von etwa **1/6 bis 1/3 Sehinkelgrad pro Sekunde**.

Neuronale Prozesse

Hubel und Wiesel (1959, 1965a): In der Area striata und im Areal V2 befinden sich Neurone, die auf bestimmte Bewegungsrichtungen selektiv reagieren.

MT-Neurone sind für die Bewegungswahrnehmung verantwortlich.

Die Rolle bewegungsrichtungsempfindlicher Neurone

Tatiana Pasternak (1990) zog Kätzchen in einer Beleuchtung mit Flimmerlicht von 8 Hz auf, so dass die Katzen ihre Umgebung ausschließlich in einer Folge von „Standphotos“ sahen.

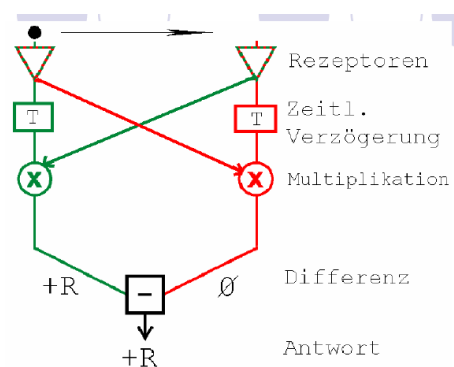
- Mehr als 90% der bewegungsrichtungsempfindlichen Neurone in der Area striata wurden beseitigt bzw. nicht ausgebildet
- Die Katzen konnten zwar das *Vorhandensein*, jedoch *nicht* mehr die *Richtung* eines sich bewegenden Reizmusters entdecken
- Fazit: Bewegungsrichtungsempfindliche Neurone sind wichtig zur Bewegungswahrnehmung

Neuronaler Mechanismus der selektiven Empfindlichkeit

Werner Reichardt (1961): Modell zur Verrechnung der Signale von nebeneinander liegenden

Rezeptoren zur Entdeckung von Bewegung(srichtung)

- Basiert auf Vergleich zwischen zwei gereizten Rezeptoren
- Bewegung nach rechts erzeugt positives Signal
- Bewegung nach links erzeugt negatives Signal



Die Richtung der Bewegung ist nicht allein durch die Entladungsrates des Neurons erkennbar, da Geschwindigkeit und Intensität des Reizmusters auch auf die Entladungsrates einwirken.

→ Gehirn löst diesen Konflikt wahrscheinlich mit Hilfe einer Analyse des Gesamtmusters der Antworten; System spricht für eine Einzelzellcodierung

Bewegungsdetektoren und Bewegungsnacheffekt

Erklärung der Wasserfalltäuschung (Vorraussetzung: Bewegung der Abbildung der Streifen auf der Netzhaut): bewegungsselektive Zelle steigt durch die Wasserfallbewegung über das Spontanentladungsniveau. Diese Zelle muss mit einer anderen Zelle gepaart sein, die für die entgegengesetzte Richtung bewegungsselektiv ist. Wenn die Reizung der ersten Zelle plötzlich aufhört und dessen Entladungsrate unter das Spontanentladungsniveau fällt, die gegensätzliche Zelle aber immer weiter feuert, dann nehmen wir eine Bewegung in die von der zweiten Zelle bevorzugten Richtung war.

→ Täuschung resultiert aus zeitweiligem Ungleichgewicht in der Entladung von Zellen, die auf entgegen gesetzte Richtungen ansprechen.

Bewegungswahrnehmung und Augenbewegungen

Aktive Motorik und Sehen muss eng miteinander verbunden sein.

Situationsbeispiele:

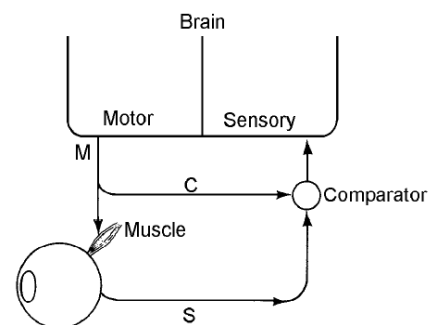
- Wenn ein Beobachter einem sich bewegendem Objekt mit den Augen folgt, so dass das Netzhautbild sich nicht bewegt, die Bewegung aber immer noch wahrgenommen wird
- Wenn ein Beobachter mit Hilfe von Blicksprüngen unterschiedliche Teile einer Szene beobachtet. Das Bild auf der Netzhaut bewegt sich dabei zwar, soll aber nicht als Bewegung wahrgenommen werden.

Unterscheidung zwischen realer Bewegung, Bewegung der Augen oder beidem gleichzeitig erforderlich!

Reafferenzprinzip

Von jedem motorischen Signal, das vom Gehirn an das Auge gesandt wird, geht eine Efferenzkopie an den Komparator (hypothetische Struktur), der ebenfalls das afferente Signal des Auges (von der retinalen Bewegung) empfängt und erst nach Verrechnung dieser beiden an den sensorischen Bereich weiterleitet. Wenn das Auge also die Anweisung bekommen hatte, sich zu bewegen und diese Bewegung sich nun auf dem Netzhautbild zeigt, kompensiert die Efferenzkopie das Signal von der Retina und der Beobachter nimmt keine Bewegung wahr.

Das Reafferenzprinzip



Wir nehmen also nur eine Bewegung wahr, wenn

- a) Kein motorisches Signal vorausgegangen ist → afferent vermittelte Bewegungswahrnehmung
- b) Nur die Efferenzkopie den Komparator erreicht, also keine Bewegung auf der Retina vorliegt → efferent kontrollierte Bewegungswahrnehmung
- c) Beide Signale sich gegenseitig nicht vollständig aufheben → afferent-efferent gemischte Bewegungswahrnehmung

Die Geschwindigkeit von einfachen Reizbewegungen wird efferent-kontrolliert etwas mehr als 1/3 langsamer wahrgenommen als afferent-vermittelt (Experiment erfolgte nur ohne Hintergrundinformation).

Wahrnehmung von Objektbewegung und der eigenen Fortbewegung

- Objektbewegung (lokale Bewegung im Gesichtsfeld) und eigene Fortbewegung (optisches Fließen im gesamten Gesichtsfeld) müssen von getrennten visuellen Systemen kontrolliert werden
- Die Wahrnehmung der Objektbewegung erfolgt vor allem im zentralen Bereich des Sehens
- Zur Wahrnehmung der Eigenbewegung ist die Peripherie des Gesichtsfeldes wichtiger

Korrespondenzproblem und Bewegungen in lokalen Feldausschnitten

(Dieses Kapitel scheint in der Vorlesung nicht behandelt worden zu sein. Es ist recht schwer so zu erklären ohne Bilder. Falls es noch unklar sein sollte und ihr euch trotzdem wünscht, es zu verstehen, können wir das gerne noch mal mit Hilfe des Buches durchsprechen)

Zufallskinetogramm: Zwei Bilder eines Stereogramms werden zeitverzögert nacheinander dargeboten → Beobachter hat den Eindruck, dass sich das Quadrat bewegt

Wie wird hier die Korrespondenz der einzelnen Punkte erkannt?

- Wahrscheinlich erfolgen keine Punkt-für-Punkt-Vergleiche sondern Vergleiche über Mustergruppen- und -bereiche
- Mit Hilfe von Heuristiken (komplexe Regeln, die aus Erfahrung entwickelt wurden)

Feldausschnittproblem (aperture problem)

= Problem der Bestimmung der Bewegungsrichtung in einem lokalen Feldausschnitt

Auf unserer Retina wird ja immer nur ein kreisförmiger Teil der Umgebung abgebildet. Zwischen der wahrgenommenen Bewegung einer Linie und ihrer realen Bewegung besteht jedoch meist keine eindeutige Beziehung. Wenn ein Bewegungsdetektor einem Feldausschnitt allein entsprechen würde, so könnte er die reale Bewegungsrichtung nicht ermitteln.

Hans Wallach (1935): Bei der Wahrnehmung der Bewegung von Streifenmustern bestehen komplexe Wirkungszusammenhänge zwischen

- Realer Bewegungsrichtung
 - Form des Feldausschnittes
 - Orientierung der Linien und Streifen im Feldausschnitt
- umfassende Erklärung noch nicht gefunden

Adelson und Movshon (1982) untersuchten Bewegung von Kreisausschnitten (mittels Karomustern = Überlagerte Streifenmuster):

Das visuelle System muss die mehrdeutige Information des Detektors über die Bewegungsrichtung auflösen können → Informationen aus den lokalen Messungen werden in der Wahrnehmung so verknüpft, dass sich eine einheitliche Bewegungsrichtung ergibt

Wenn in einem Kreisausschnitt nur die Bewegung der Kante eines Quadrates gesehen wird, gibt es mehrere Möglichkeiten der realen Bewegungsrichtung des Quadrates bei gleichmäßiger Bewegung der Linie. Zu beachten ist: Wenn sich das Quadrat real schräg nach oben bewegt, muss es sich schneller bewegen als wenn es sich direkt nach rechts verschiebt, damit sich die Linie gleich schnell verschiebt.

Visuelle Auswertung erfolgt in zwei Stufen:

1. Merkmale (Orientierung, Kontrast, Geschwindigkeit, Bewegungsrichtung) der einzelnen Bewegungskomponenten werden analysiert; Areal V1 und MT-Areal
2. Geschwindigkeitssignale der einzelnen Komponenten werden zusammengefasst; MT-Areal

→ Gesamtrichtung wird dabei nach dem Verfahren des Schnittpunkts der Einschränkungslinien bestimmt

Ordnungsbildung durch die Anwendung algorithmischer Verfahren und heuristischer Regeln

Objekte bewegen sich in der realen Welt charakteristisch und in vorhersagbarer Weise

Algorithmische Verfahren der Zerlegung eines Bewegungsmusters in Bewegungskomponenten

- Bewegte Einzelpunkte, die sich relativ zueinander bewegen, können gemeinsam visuell eine Struktur erzeugen, die in keiner der Einzelobjekte vorhanden ist
→ es entsteht ein Gesamtmuster
- Kommen weitere Punkte hinzu können die ersten ein Bezugssystem darstellen, das auf die Wahrnehmung der Bewegung ebenfalls einwirkt
- Je nachdem welches Bezugssystem in der Wahrnehmung zur Anwendung kommt, ergibt sich ein anderes Wahrnehmungsergebnis
- Bei komplexen Bewegungen kann eine visuelle Zerlegung in Bewegungskomponenten (in Gesamtbewegung und Teilbewegung) erfolgen → trägt dazu bei, lokale Bewegungssignale in Gruppen zu ordnen

Heuristische Regeln bei der Analyse von Bewegungen

(Faustregeln, die eine rasche Verarbeitung ermöglichen, jedoch in ihrem Ergebnis nicht so sicher sind wie Algorithmen)

1. Fortsetzung von Bewegung in die gleiche Richtung: Wenn eine Bewegung in einer Richtung beginnt, wird sie auch in dieser Richtung fortgesetzt (Ähnlichkeit mit dem Gesetz der gestaltgerechten Linienfortsetzung)
 2. Aufdecken und Verdecken: Ein sich bewegendes Objekt verdeckt Teile des Hintergrundes fortschreitend und deckt sie gleichermaßen wieder auf; die größere Figur verdeckt dabei immer die kleinere
 3. Die Bewegung der größeren Form bestimmt auch die Bewegung lokaler Elemente in dieser Form: (Bsp.: Wenn ein Leopard springt, erwarten wir, dass sich sein Fleckenmuster mit seiner Gestalt mitbewegt)
- Donald McKay (1961): visuelles Einfangen von Bewegung (motion capture): Wenn man einen Rahmen auf einem regelmäßigen Punktmuster bewegt, scheinen die Punkte sich innerhalb des Rahmens mit diesem zu bewegen

Wahrnehmung von Personenbewegungen

- Bewegungen von Personen oder Tieren werden auch als biologische Bewegungen bezeichnet
- Die Bewegungen des Menschen beim Gehen, Laufen oder Aufstehen sind sehr komplex und setzen sich aus mehreren Komponenten mit ihren Bewegungen relativ zueinander zusammen

Gunnar Johansson (1975) brachte an eine Person 10 bis 12 Lämpchen an und filmte dann ihre Bewegung im dunklen Raum. So waren für den Beobachter nur die bewegten Lichtpunkte sichtbar.

- Ohne Bewegung sehen die Probanden nur ein zufälliges Muster von Lichtpunkten
- Sobald sich die Person in Bewegung setzt, wird sofort die gesamte Anordnung von Lichtpunkten als eine gehende Person erfasst
- Lichtpunkte mussten mindestens 200ms sichtbar sein

Weitere Studien zeigten:

- Mit einer Treffsicherheit von 60-70% kann die Versuchsperson angeben, ob es sich um einen Mann oder um eine Frau handelt
- Es konnte recht genau geschätzt werden, wie schwer das Gewicht war, das die Person mit sich trug

→ Das visuelle System zeigt erstaunliche Fähigkeiten, Informationen aus Einzelelementen zu kohärenten Formen zu integrieren

→ Es wird angenommen, dass eine vektorielle Zerlegung des Gesamtmusters in einzelne Bewegungskomponenten (entsprechend den ballastischen und Pendelbewegungen der Körperteile) vorgenommen wird

Eine Auswertungsmöglichkeit, die diskutiert wird, sind die Bewegungsschemata (motion templates). Durch die Anwendung von Schemata könne rasch über die Existenz einer Personenbewegung entschieden werden und dann eine detailliertere Analyse folgen.

Stroboskopische Bewegung mit Bildfolgen unterschiedlicher Stellungen von Körperteilen

Regel des kürzesten Weges: Zwei getrennte, in raschem Wechsel dargebotene Punkte werden immer so wahrgenommen, als ob sie sich auf dem kürzesten Weg zwischen ihren Positionen hin- und herbewegen.

Gilt die Regel des kürzesten Weges auch für Scheinbewegungen und bedeutungshaltigere Reizmuster?

Zwei Bilder einer Person werden darbietet: Der kürzeste Weg der Handbewegung würde durch den Kopf hindurch gehen, der längere um den Kopf herum.

→ Wahrnehmung ist abhängig von dem Bildfolgeintervall (SOA= stimulus onset asynchrony; Zeit zwischen dem Beginn der Darbietung des ersten und zweiten Bildes).

SOA < 200ms → kürzester Weg

SOA > 200ms → Bewegung wird auf längerem Weg wahrgenommen

→ Visuelles System braucht einige Zeit (200ms sind eine relativ lange Verarbeitungszeit), um die Wege für Scheinbewegungen zu konstruieren, die mit den Bewegungseinschränkungen des menschlichen Körpers übereinstimmen.

Neurophysiologische Befunde

- Für die Wahrnehmung von sich bewegenden Personen ist vor allem das superior-temporale Areal wichtig
- Versuche an Makaken zeigten, dass die entsprechenden Neurone am stärksten reagieren auf Personen, die frontal auf den Beobachter zukommen (im Gegensatz zu Person, die sich wegbewegt oder seitlich vorbeigeht)
- Beim Lichtpunktemuster reagiert das Neuron am stärksten auf eine rückwärts gehende Person

Wahrnehmung der dreidimensionalen Form von Körpern aus ihrer Bewegung

Bewegung kann die reale Struktur eines Objektes offen legen!

Erkennen der Form aus der Bewegung (structure from motion)

- Kinetischer Tiefeneffekt (kinetic depth effect, Metzger 1934): die dreidimensionale Form eines Objekts lässt sich aus den Bewegungen seiner zweidimensionalen Abbildung wahrnehmen

- *Green* (1961): Bei der Projektion wird ein starrer, sich drehender Körper erkannt, wenn mindestens 8 Eckpunkte oder mindestens 24 Punkte Der Körperoberfläche gezeigt werden
- *Ullmann* (1979): Um Forminformationen über den Körper zu erlangen, sollten drei Sichten von mindestens vier nicht koplanaren Punkten ausreichen (Wenn man einen starren Körper voraussetzt).
- Die Wahrnehmung der Form der rotierenden Körper basiert eher auf die Auswertung von Geschwindigkeitsgradienten als auf die Auswertung von Positionsänderungen einzelner Punkte
- Die Punkte müssen aber mindestens 125ms dargeboten werden, damit ein sicheres Urteil über die Bewegung gefällt werden kann → zur zeitlichen und räumlichen Integration der Bewegungsinformation ist eine bestimmte Zeitdauer nötig
- Die Wahrnehmung der Form des Körpers kommt durch die Analyse lokaler Geschwindigkeitsinformationen, verbunden mit deren räumlichen und zeitlichen Integration zustande

9. Wahrnehmung und aktive Motorik

Wahrnehmung und Motorik sind in fast allen Bereichen des menschlichen Handelns eng verzahnt. Vor allem wurde Beziehung Sehen und Motorik betrachtet.

Grundlegende Ideen hierzu von **James Gibson** (1929-1982 Publikationen). Begründete den **ökologischen Ansatz der Wahrnehmung**. Forderte dort Untersuchung der Wahrnehmung im natürlichen Umfeld. Beobachtete vor allem, wie sich Menschen bewegen und durch eigene Bewegungen zu einer Wahrnehmung der Umwelt kommen.

Untersuchte, wie Piloten zielgenau das Flugzeug auf eine Landebahn manövrieren können. Kam zum Schluss, dass sie Informationen aus der Umwelt nutzen, die sie überfliegen, diese Informationen ergeben sich erst aus der kontinuierlichen Bewegung des Flugzeugs. Nach Gibson sind für die Wahrnehmung potentielle Umgebungsinformationen wichtiger als retinale Abbildungen. Potentielle Umgebungsinformation → **umgebende optische Anordnung**. (Komplexes Reflexionsmuster aller Oberflächen in der Umgebung des Wahrnehmenden). Optische Anordnung verändert sich, wenn Person sich bewegt. Dadurch entsteht in der Umwelt relativ zum Beobachter eine Bewegung → **Optisches Fließen**.

Wichtigstes Ergebnis: Optisches Fließen liefert Infos über eigene Bewegungen.

Merkmal: Im Vordergrund schnelle Bewegungsgeschwindigkeit, Im Hintergrund weniger Veränderung. Es gibt einen Punkt, der sich nicht bewegt → Das **Zentrum des Auseinanderfließens** (Focus of expansion, FOE). Die ist der Zielpunkt, auf den man sich hinbewegt. Das optische Fließen ist eine invariante Info. Bleibt gleich, wenn man sich bewegt. Außerdem ist es selbstproduziert. Es hilft, Bewegungen zu steuern, wird aber erst durch diese erzeugt (reziproke Beziehung).

Aber: In Alltagssituationen kann man nicht leicht aus dem Muster des optischen Fließens Infos über Richtung der Bewegung ziehen (Kopf- oder Körperdrehungen, gekrümmter Pfadverlauf, etc. beeinflussen dies). Das visuelle System muss Informationsanteile die durch Eigenbewegung verursacht wurden von solchen trennen, die auf Umgebungsmerkmale zurückzuführen sind.

Versuche von Gibson zeigten, dass Optisches Fließen für Kurssteuerung der Bewegung ausreicht. Allerdings schwierig zu sagen, ob Personen diese Info auch in den meisten Situationen nutzen.

Autofahrer müssen noch andere Infos benutzen, um in der Spur zu bleiben. Lenkrad als Fixpunkt genügt nicht. Sie benutzen eher die „Fortbewegungshauptlinie“ des Referenzgegenstandes, also der Straße.

Beim gehen werden auch zusätzlich noch andere Richtungsinformationen genutzt. z.B. **Visuelle Richtungsstrategie** – Körper wird zum Ziel hin orientiert.

Optisches Fließen nicht unbedingt von Nöten: Man kann auch mit geschlossenen Augen ein Ziel finden.

Weitere Ergebnisse:

Optisches Fließen, also Fähigkeit zu Sehen und Umgebungsbewegung wahrzunehmen, ist wichtig fürs Gleichgewicht. Versuche von Lee und Aronson, 1974: Kleinkinder wurden in einen „schwingenden Raum“ gestellt. Der Boden war fest, Wände und Decken konnten aber vor und zurück schwingen. Muster des optischen Fließens wird erzeugt, man hat das Gefühl sich selbst zu bewegen. Kinder führten Kompensationsbewegungen aus und verloren das Gleichgewicht. Auch Erwachsene im Gleichgewicht beeinträchtigt. Visuelle Info u.U. stärkere Determinante fürs Gleichgewicht als vestibuläres System.

Durch die optische Expansion eines Gegenstandes auf der Netzhaut kann man Infos über bevorstehende Kollisionen gewinnen. Voraussetzung allerdings, dass Gegenstand sich konstant bewegt. Expansion wird in „Tau“ angegeben. (nach David Lee)

Neuronale Mechanismen für visuelle Kontrolle der aktiven Motorik:

In Gehirnen von Affen fand man im mediosuperior-temporalen Areal (MST), welches Infos aus dem mediotemporalen Areal weiterverarbeitet, Neurone, die für optisches Fließen sensibel sind.

Forschung am Menschen: MST-Neurone, die auf optisches Fließen antworten, haben große rezeptive Felder, antworten also auf Bewegungen, die sich weit über das visuelle Feld erstrecken. Durch große Felder wird Wahrnehmung erleichtert, Infos werden hierzu über große Bereiche des visuellen Feldes summiert und gemeinsam ausgewertet.

Experiment: Dennis Proffitt (1995), Steilheit von Hügeln sollte verbal, visuell (Scheibe in gleichem Winkel hinstellen) und haptisch (Schräge eines Brettes entsprechend der Hügelnäigung einstellen, ohne dabei auf Hügel oder Brett zu schauen) eingeschätzt werden. Verbal und visuell starke Überschätzung, haptische Ergebnisse kamen nahe an Steilheit des Hügels heran. Steilheit wird durch weitere Faktoren in ersten 2 Bedingungen überschätzt. Bei schwerem Rucksack oder Müdigkeit geschehen hier Fehlschätzungen, die den Körper warnen wollen, diesen Hügel zu besteigen.

Unterschiedliche Formen der Motorik:

Wahrnehmung ist eine aktive Leistung der Person. Wichtig hierzu ist die Motorik (diese hat für das Sehen eine wichtige Funktion!).

1. *Ausführende und vollziehende Motorik*: Bewegungen, die in Umwelt etwas bewirken.
2. *Kommunikative Motorik*: Mimik, Gestik. Vor allem nonverbaler Austausch sehr wichtig für Kommunikation. Menschen können Blickrichtung eines Partners wahrnehmen und Aufmerksamkeit ebenfalls darauf richten.
3. *Explorative Motorik*: Unterstützung der Infoaufnahme. Z.B. Beim Ertasten eines Gegenstandes mit der Hand. Auch beim Sehen spielt explorative Motorik eine wichtige Rolle.

Motorik der Augenbewegungen:

Sechs äußere Muskeln ermöglichen *konjugierte Bewegungen* (in gleiche Richtung), *Vergenzbewegungen* (Beide Augen haben Blickpunkte in unterschiedlicher Entfernung) und *Rollbewegungen* der Augen.

1. *Sakkadische Augenbewegungen*: Rasche ruckartige konjugierte Bewegungen von einem Fixationspunkt zum nächsten. Fixpunkte für ca. 200 ms angeschaut. Informationsaufnahme geschieht während der stabilen Fixationsdauer.
2. *Folgebewegungen*: Hierdurch wird ein sich bewegendes Objekt in der Fovea gehalten. Bei großen Geschwindigkeiten folgen noch Korrektursakkaden.
3. *Kompensatorische Augenbewegungen*: Bei Kopfdrehungen bewegt sich Auge in Gegenrichtung. Soll Blick auf intendiertem Fixpunkt halten. (Mit Hilfe des vestibulären Systems)
4. *Blickbewegungspfade*: Augenbewegungen werden beim Betrachten von Bildern durch tragende Strukturinformationen und durch Aufmerksamkeit bzw. Ziel des Betrachters gesteuert. Beim Lesen haben Blickbewegungspfade immer wieder Rücksprünge. Wahrscheinlich, um gelesenes inhaltlich miteinander zu verbinden. Leseanfänger zeigen noch keine regelmäßigen Blickbewegungspfade → Lernprozesse!

Sakkadische Suppression:

Wahrnehmungsschwelle ist um den Bereich einer Sakkade herum stark erhöht. Das heißt: Sehen ist für 50-80 ms während Sakkade stark eingeschränkt. Aber wir bemerken dies nicht. Bilder vor und nach Sakkade müssen miteinander verbunden werden. Wie werden diese Infos nun integriert? Drei Fragen hierzu. Zunächst: *Ist Wahrnehmung räumlich und zeitlich stabil?* Für Infos über Bildverlagerung vor und nach der Sakkade stehen retinale und extraretinale (Efferenzkopie, ...) Infos zur Verfügung. Diese Infos bewirken Richtungs- und Ortskonstanz in der Wahrnehmung.

Zweitens: *Welche Bedeutung hat begrenzte visuelle Verarbeitungskapazität?* Nur Dinge, denen man Aufmerksamkeit schenkt, werden über längere Zeit behalten. Hierzu auch Phänomen der Blindheit gegenüber Veränderungen. Während der Sakkade schenken wir dem Gesehenen keine größere Aufmerksamkeit, so wird es nicht behalten.

Drittens: *Hat Umwelt als externer visueller Speicher eine Bedeutung?* Umwelt eine Art Referenzsystem. Man kann Dinge ständig abgleichen, die man beobachtet und seine Vorstellung von ihnen.

Zusammenspiel von Wahrnehmung und Motorik im parietalen Kortex (am dorsalen Pfad):

Ein motorisches Areal ist das anteriore intraparietale Areal (AIP). Enthält Neuronen, die auf Motorik reagieren, Neuronen, die auf visuelle Reize reagieren und Neuronen, die auf beides reagieren. Hängt damit zusammen, dass AIP zwischen visuellen und motorischen Zentren liegt. Neurone senden Signale ins prämotorische Zentrum (PM) des frontalen Kortex. Dieses enthält Spiegelneurone. Reagieren auf Bewegungen *anderer(!)*. Helfen, Handlungen anderer zu verstehen und regen zur Nachahmung an. Diese Infos werden an das motorische Areal (MI) des Kortex zurückgeleitet. Dieses sendet Signale an Körpermuskulatur.

10. Schall, Hörsystem und auditive Wahrnehmung

Funktionen des Hörens

- soziale Kommunikation
- Wahrnehmung von Umweltereignissen und bedeutungshaltigen Hörobjekten
- Wahrnehmung von Musik

Schall und Schallquellen

Die Schallquelle steht mit einem elastischen Medium (Luft oder Wasser) in Verbindung, dessen Moleküle die Schwingungen im Raum verteilen = Schallausbreitung. Diese ist unregelmäßig, verbreitet sich in also in Schallwellen.

Einige Begriffserklärungen:

- reine Töne: Sinusschwingung, meist nur im Labor
- Amplitude: Größe der Druckschwankung, Ausschlag der Kurve
- Frequenz: Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit, wird in Hertz angegeben (1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde)
- SPL: Sound Pressure Level – Schalldruckpegel in dB: $SPL = 20 * \log (p_x/p_0)$
der Schalldruck ist die Stärke einer Schallwelle, die Amplitude, Angabe in Pascal. Hinter der dB Angabe verbirgt sich eine Vervielfachung des tatsächlichen Schalldrucks.
- Tongemisch: Schall aus mehreren Frequenzen
- Klang: Schall aus Grundton und mehreren Obertönen
- Geräusch: Schall mit Anteilen von Ton- und Klanggemischen und Rauschen
- Fourieranalyse: Zerlegen eines beliebigen Signals in Sinus- und Kosinusfunktionen (eine Fourierreihe).

Schall und Wahrnehmung

Unsere Hörfläche ist der Bereich der Schwingungen, in dem wir überschwellige Hörwahrnehmungen haben. Die untere Grenze ist die u-förmige Hörschwellenkurve (d.h. tiefe und hohe Töne müssen lauter sein, um sie wahrzunehmen), die obere die Schmerzschwelle.

Subjektive Merkmale von Schallsignalen:

1. Lautheit
2. Tonhöhe
3. Klangfarbe
4. Lokalisation

1. Lautheit

Bei Untersuchungen zur Lautheit wird die Frequenz eines Tones konstant gehalten, der Schalldruckpegel wird variiert. Dadurch nimmt die Lautstärke zu oder ab, der Ton wird als lauter oder leiser wahrgenommen. Wenn man einen Ton mit Bezugstönen vergleicht, ergeben sich Kurven gleicher Lautheit, so genannte Isophone. Die Einheit dieser Kurven ist Phon. Ein Ton hat x Phon, wenn er als gleich laut wie ein Sinuston mit 1000 Hz und mit x dB wahrgenommen wird.

Es gibt auch noch eine andere Einheit. Sone: 1 Sone entspricht einem Ton von 1000 Hz und 40 dB.

2. Tonhöhe

Die Tonhöhe ist abhängig von der Frequenz. Je niedriger diese, desto tiefer nehmen wir den Ton wahr. Die Einheit der psychologischen Tonhöhe ist Mel, 1000 Mel entsprechen einem Ton von 1000 Hz und 40 dB. Damit ein Unterschied in der Tonhöhe wahrgenommen wird, muss mit zunehmender Frequenz der Frequenzunterschied größer werden.

Musik: Oktavverwandte Töne klingen ähnlich, obwohl sie verschiedene Tonhöhen haben. Dies bezeichnet man als Tonigkeit. Geht man eine Oktave hoch, erhöht sich die Frequenz immer um das doppelte wie der vorherige Ton: 440 – 880 – 1760...

3. Klangfarbe

Ein Ton kann bei gleicher Lautstärke und gleicher Tonhöhe trotzdem unterschiedlich klingen. So haben zum Beispiel eine Oboe und eine Trompete eine unterschiedliche Klangfarbe.

4. Lokalisation

Mit diesem Thema beschäftigen wir uns in Kapitel 11.

Aufbau des Ohrs

1. Außenohr
2. Mittelohr
3. Innenohr

1. Außenohr

Der äußere Gehörgang inklusive Ohrmuschel sammelt die Schalwellen und leitet sie ins Mittelohr weiter. Frequenzen zwischen 2000 und 4000 Hz werden verstärkt.

2. Mittelohr

Der Schall erreicht zuerst das Trommelfell, daran angekoppelt ist der Hammer mit Amboss und Steigbügel. Dieser ist aufgehängt im Ringband des ovalen Fensters. Dabei findet die Impedanzanwandlung statt: Die Gehörknöchelchen passen die niedrige Impedanz der Luft an die hohe Impedanz der Innenohrflüssigkeit an. Die Druckerhöhung geschieht durch Hebelwirkung und Verkleinerung der wirksamen Fläche.

3. Innenohr

Die Cochlea ist geformt wie eine Schnecke mit 2,5 Windungen. Sie wird von einer Trennwand in eine obere Hälfte (Scala vestibuli) und eine untere Hälfte (Scala tympani) getrennt. Die Trennwand enthält das Cortische Organ, das wie folgt aufgebaut ist. Auf der Basilarmembran sitzen die inneren und äußeren Haarzellen, deren oberes Ende (Stereozilien) in die Tektorialmembran hineinragt. Es gibt 3500 innere und 12000 äußere Haarzellen, doch 95% der Hörnervenfasern erhalten ihre Signale von den inneren. Grund: eine innere Haarzelle divergiert auf mehrere Nervenfasern, mehrere äußere konvergieren auf eine Nervenfasern.

Der am runden Fenster ankommende Schall versetzt die gesamte Trennwand in Schwingung, die Stereozilien werden ausgelenkt. Je nach Richtung depolarisiert oder hyperpolarisiert die Haarzelle. Diese Potentialzu- oder abnahme führt zur Ausschüttung eines Neurotransmitters.

Bahn des auditiven Systems:

- Ncl. Cochlearis dorsalis und ventralis
- oberer Olivenkern = olivaris superior
- Colliculus inferior
- thalamischer Kern: Corpus geniculatum mediale
- Höririnde A 41 = auditiver Cortex

Wie nehmen wir nun die Tonhöhe wahr? Es gibt 2 Arten:

1. Frequenz wird örtlich kodiert
2. Frequenz wird zeitlich kodiert

1. Bekesy's Ortstheorie

Die Basilarmembran schwingt in Form einer Wanderwelle, die Orte der Maximalauslenkung heißen Hüllkurven der Wanderwelle. Je größer die Auslenkung desto höhere Entladungen der Zellen. Der Ort des Gipfels ist eine Funktion der Frequenz des Tones. Tiefe Frequenzen stimulieren Apex der Membran, hohe stimulieren die Basis.

Haarzellen sind außerdem empfindlich für bestimmte Frequenzen, d.h. jede Zelle hat ihren eigenen wirksamen Bereich. Frequenz-Tuningkurven zeigen die charakteristische Frequenz der Haarzellen.

- Psychophysische Evidenz für die Ortstheorie: Methode der auditiven Maskierung
Wenn ein Ton hinreichend intensiv ist, maskiert er die Wahrnehmung eines anderen Tons oder vermindert ihn in der wahrgenommenen Stärke. Dieser Maskierungseffekt breitet sich mehr auf die höheren Frequenzen aus als auf die tieferen. Die Maskierungskurve ist asymmetrisch entsprechend der Schwingung der Basilarmembran.

- Psychophysische Frequenz-Tuningkurven:

- stellen den Schalldruckpegel dar, der nötig ist, um einen Ton gerade eben zu hören
- ähneln den Frequenz-Tuningkurven der Haarzellen, dies legt die Vermutung nahe, dass unsere Tonhöhenwahrnehmung eng mit den neuronalen Antworten der Hörnervenfasern zusammenhängt

- die äußeren Haarzellen verstärken zusätzlich die Bewegung der Basilarmembran, um ein möglichst klares Maximum der Auslenkung an einem bestimmten Ort der Cochlea zu erzeugen

2. Zeitliche Kodierung

- Phasenkoppelung: Neuronen feuern synchron mit der Phase eines Schallsignals, sie feuern unregelmäßig, aber immer Gipfel einer Sinuswelle

- Beim Eintreten eines Tones mit bestimmter Frequenz feuern viele phasengekoppelte Neuronen in Form von Salven, die durch inaktive Intervalle getrennt sind. Salve = Zusammenarbeit, immer eine Gruppe nach der anderen

- die zeitliche Abstimmung dieser Salven ist frequenzabhängig, spielt auf höheren Verarbeitungstufen eine geringe Rolle

Der auditorische Cortex

Besteht aus mehreren Arealen:

- Kernbereich: primärer auditorische Cortex A1
- Gürtel: sekundärer auditorischer Cortex (7 Areale)
- Erweiterter Gürtel: assoziativer auditorischer Cortex (2 Areale)

Tonhöhenanalyse im auditorischen Cortex

Im primären auditorischen Cortex besteht eine tonotope Kartierung der Tonhöhen, d.h. dass spezifische Frequenzen spezifische Orte in diesem Areal aktivieren. Die zeitliche Kodierung geht für Frequenzen oberhalb von 500 Hz verloren.

Virtuelle Tonhöhe

Wenn man bei einem Klang mit der Grundfrequenz 400 Hz diesen Teilton weglässt, ändert sich die Klangfarbe, aber die Tonhöhe bleibt erhalten. Dieser Effekt wird als virtuelle Tonhöhe oder Wahrnehmung des Residuums bezeichnet. Dieses Phänomen legt eine zentrale Verarbeitung der Frequenzen nahe.

Stimulation des Cortex

Stimulation verändert den auditorischen Cortex, dies wurde mit Experimenten an Katzen und Affen belegt. Für das Funktionieren des Cortex ist ein gewisses Ausmaß an Stimulktion nötig. Spezifische Aufgaben können die innere Struktur des Cortex ändern – so haben z.B. Musiker größere auditorische Areale.

Zusammenarbeit der Sinne

Synästhesie: Einzelne Personen haben beim Hören von Tönen zugleich visuelle Wahrnehmungen wie z.B. Farben. Dieses Phänomen scheint durch die gleichzeitige Aktivierung der entsprechenden Hirnareale hervorgerufen zu werden.

11. Auditive Lokalisation und das Wahrnehmen von Hörobjekten und Hörumwelten

Auditive Lokalisation

Zur Beschreibung des Ortes einer Schallquelle wird ein kopfbezogenes Polarkoordinatensystem mit drei Größen verwendet. Azimutalwinkel (horizontal), Erhebungswinkel (vertikal) und Entfernung.

Duplextheorie des Richtungshörens (Rayleigh 1907)

Nach der Duplextheorie wird angenommen, dass das Richtungshören auf der Auswertung von Unterschieden zwischen den Schallsignalen basiert, die von beiden Ohren aufgenommen werden. Es gibt 2 entscheidende Merkmale:

1. interaurale Zeitdifferenz
2. interaurale Pegeldifferenz

1. interaurale Zeitdifferenz

Wenn eine Schallquelle direkt vor einem Hörer liegt, erreicht der Schall beide Ohren gleichzeitig. Liegt die Schallquelle seitlich von einem Hörer, erreicht der Schall ein Ohr früher als das andere. Dies führt zu Zeitdifferenzen. Im Raum gibt es allerdings mehrere Orte, die die gleiche interaurale Zeitdifferenz ergeben. Durch Kopfbewegungen können wir aber trotzdem die Schallquelle orten.

Detektoren für interaurale Zeitdifferenzen wurden im Cortex von Rhesusaffen gefunden. Diese Zellen feuern immer dann maximal, wenn ein Schallsignal das eine Ohr um Bruchteile von Millisekunden früher erreicht als das andere

2. interaurale Pegeldifferenz

Diese tritt auf, weil der Kopf ein Hindernis für die Schallausbreitung bildet. Das der Schallquelle abgewandte Ohr liegt quasi im Schallschatten, hier ist die Intensität des Schalls geringer. Der Schallschatten wirkt sich vor allem auf höherfrequente Töne oberhalb von 1500 Hz aus.

Die Duplextheorie kann allerdings nicht erklären, wie der Erhebungswinkel von Schallquellen wahrgenommen wird. Ferner kann sie auch die Externalisierung (Schallquelle befindet sich außerhalb unseres Kopfes) der auditiven Wahrnehmung nicht erklären.

Die spezifische Form unserer Ohrmuscheln verstärkt bestimmte Frequenzen und schwächt andere ab, dadurch erhalten wir Infos über den Erhebungswinkel. Es wird versucht herauszufinden, wie die Ohrmuschel den Schall modifiziert. Dazu muss man den Unterschied zwischen dem von der Schallquelle ausgestrahlten Signal (= distales Schallsignal) und dem vom Hörsystem aufgenommenen Signal (= proximales Schallsignal) untersuchen. Diese Infos erhält man durch die so genannten **kopfbezogenen Übertragungsfunktion** (head-related transfer functions, **HRTF**). Dazu führt man kleine Sondenmikrofone in den Gehörgang ein und misst den Unterschied zwischen distalen und proximalen Signalen. Aus den Rohdaten für rechtes und linkes Ohr gewinnt man durch Bearbeitung die **richtungsbezogenen Übertragungsfunktionen** (directional transfer functions, **DRF**). Für die Untersuchung des Richtungshörens sind zusätzlich die **interauralen Übertragungsfunktionen** relevant, welche die zeit- und phasenabhängigen Unterschiede zwischen den ohrenspezifischen richtungsabhängigen Übertragungsfunktionen enthalten.

Entfernung von Schallquellen

In der Regel unterschätzen wir die Entfernung von Schallquellen. Folgende Merkmale helfen uns die Entfernung einzuschätzen:

- Lautheit: Mit größerer Entfernung verringert sich der Schalldruckpegel. Dies geschieht vor allem draußen und kann nur dann genutzt werden, wenn Schallquelle und ihre Lautheit bekannt sind.
- Tonhöhe: Hohe Frequenzen werden bei ihrer Ausbreitung in der Luft stärker absorbiert als tiefe. Entfernte Schallquellen klingen dumpfer.
- Bewegungsparallaxe: Wenn wir uns relativ zu einer seitlichen Schallquelle bewegen, bewegen sich die nahen Schallquellen rascher als die entfernteren.
- Schallreflexion: Manche Schallsignale erreichen uns direkt (Primärschall), andere erst nachdem sie bereits von anderen Dingen reflektiert wurden (reflektierter Schall). Aus dem Verhältnis dieser beiden Arten können wir die Entfernung einschätzen.

Richtungshören und Kopfbewegungen

Aktive Kopfbewegungen sind in mehrfacher Weise an der Lokalisierung von Schallquellen beteiligt:

- helfen, beim Lokalisieren die Bereiche größter Empfindlichkeit zu nutzen.
- ändern nicht eindeutige binaurale Richtungsinformationen in eindeutige: wenn eine Schallquelle direkt vor oder direkt hinter einem befindet, sind interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen gleich null. Nur durch Kopfbewegung lässt sich die Quelle orten.
- unterstützen vermutlich die Externalisierung der Hörereignisse
- stellen ein wichtiges Verbindungsglied zwischen auditiver und visueller Lokalisation dar

Präzedenzeffekt

Auch: Gesetz der ersten Wellenfront

Der reflektierte Schall, der unmittelbar nach dem Primärschall eintrifft, wird vom Hörsystem aktiv unterdrückt. Die Richtungsbestimmung erfolgt also über die erste Wellenfront, die unser Ohr erreicht

Neurophysiologie der Lokalisation

Die Frage nach der neuronalen Codierung von Richtung und Entfernung von Schallquellen ist nicht beantwortet. Es wurden lediglich so genannte Panorama-Neurone gefunden, die feuern gleich aus welcher Richtung ein Schallsignal kommt. Durch das Muster der Impulse wird die Lokalisation zwar angegeben, aber ob diese Neurone tatsächlich zur Lokalisation verwendet werden ist unklar.

Weiterhin wurden trimodale Neurone gefunden, die auf die Richtung von Schallsignalen von Schallquellen ansprechen, die nicht weiter als 30 cm vor dem Kopf dargeboten werden.

Wahrnehmung der Bewegung von Schallquellen

Im auditorischen Cortex gibt es Bereiche, die für die Verarbeitung der Bewegung von Schallquellen spezialisiert sind.

Hören im Alltag: Funktions- und Untersuchungsbereiche

Funktionsbereiche:

1. Wahrnehmung von Hörobjekten: Entdeckung, welches bedeutungshaltige Ereignis in der Umwelt die Schallsignale erzeugt (z.B. Kehren mit dem Besen)
2. Wahrnehmung von Hörumwelten: die akustische Charakteristik eines Umgebungs- oder Handlungsbereiches erkennen (z.B. Bahnhof, Bauernhof)

3. Wahrnehmen von Sprache: Wörter, Inhalte, Emotionen des Sprechers, Sprecher selbst ...erkennen
4. Wahrnehmen von Musik: Motive, Melodien, Dissonanzen, Rhythmus ...erkennen

Untersuchungsbereiche:

Es werden nicht nur diese vier **komplexen Leistungen** untersucht, sondern auch **Basisphänomene** wie Lautheit, Tonhöhe, Klangfarbe... . **Phänomene mittlerer Komplexität** stellen eine Zwischenstufe dar, dies ist z.B. wie wir isolierte Merkmale von Schallereignissen zu komplexeren Hörereignissen zusammensetzen.

Musikinstrumente und ihr Klang

Wichtig ist hierbei der Begriff Klangfarbe, also dass wir einen identischen Ton unterschiedlich wahrnehmen, wenn er von unterschiedlichen Instrumenten gespielt wird. Entscheidend ist außerdem der spezifische Verlauf eines Musiktones. Die Anfangsphase, in der sich der Ton aufbaut, nennt man Einschwingzeit. Die Phase, in der der Ton ausklingt, heißt Ausschwingzeit. Schneidet man diese beiden Zeiten eines Tones weg, so kann der Hörer kaum noch das spielende Instrument bestimmen – die Töne unterscheiden sich nicht mehr in ihrer Klangfarbe.

Raumakustik

Gute Raumakustik in großen Sälen erfordert die Abstimmung der Raumstruktur auf die Erfordernisse der Hörer und der auf der Bühne agierenden Personen. Wichtig sind die Begriffe Primärschall (der Schall, der zuerst und direkt den Hörer erreicht), frühe Reflexionen (bereits reflektierter Schall, klar unterscheidbar) und Nachhallschwanz (bereits reflektiert, vermischt).

Auf der Seite der Hörer sind folgende Merkmale bedeutsam:

1. Präsenz: Die Musik soll sich so anhören, als würde sie in einem kleinen Raum gespielt. Gemessen wird die Zeit zwischen der Ankunft des Primärschalls und der frühen Reflexionen.
2. Anteil der Bässe: Die Klänge sollen sich „warm“ anhören. Gemessen wird das Verhältnis der niedrigen zu den mittleren Frequenzen im reflektierten Schall.
3. Räumlichkeit: Verhältnis zwischen Primärschall und reflektiertem Schall

Prozesse auditiver Gliederung

Wie gruppieren, trennen oder verbinden wir Schallereignisse? Ähnlich den Gestaltfaktoren wurden **heuristische Regeln** gesucht, allerdings nur an der Wahrnehmung von Musiktönen. Es ist nicht untersucht worden, ob diese auch auf die Schallereignisse unseres Alltags generalisiert werden können.

- Herkunftsort: Schallereignisse, die von einem bestimmten Ort in der Umwelt herkommen stammen in der Regel von einer Schallquelle
- Ähnlichkeit in der Klangfarbe: Musiktöne mit ähnlicher Klangfarbe werden zusammengefasst
- Ähnlichkeit in der Tonhöhe: Musiktöne mit ähnlicher Tonhöhe werden zusammengefasst
- Zeitliche Nähe: Musiktöne, die in rascher Folge nacheinander dargeboten werden, werden demselben Ursprung zugeordnet
- Gemeinsamer Anfang/gemeinsames Ende
- Gute Verlaufsgestalt: Musiktöne, die eine regelhafte Abfolge darstellen, haben denselben Ursprung (Melodien)
- Gedächtnisschema für Melodien: gespeicherte Repräsentation, erinnert z.B. ein Teil aus einem Stück einer bereits gespeicherten Melodie

Kapitel 12: Auditive Sprachwahrnehmung

Sprechen ist der Austausch von Informationen zwischen zwei oder mehreren Personen. Die akustischen Sprachsignale werden durch den Luftstrom aus den Lungen erzeugt und erhalten durch den Stimmtrakt(Nasen- und Mundhöhle, Rachen, Zunge, Lippen und Stimmbänder) ihre spezifische Ausprägung. Sie breiten sich als Druckschwankungen durch die Luft aus, werden von Hörsystem der anderen Person aufgenommen und analysiert.

1.Akustische Sprachsignale:

1.1.Phoneme:

Ein Phonem ist die kürzeste lautliche Einheit, die die Bedeutung eines Wortes verändert. Sie stellen aber keine Buchstaben, sondern Laute dar. So gibt es auch 17-19 Phoneme für 5 Vokale im Deutschen. In jeder Sprache werden andere Laute gebraucht, so gibt es im Deutschen 38-42, im Hawaiianischen dagegen nur 11 Laute.

1.2.Phonetische Merkmale:

Die phonetischen Merkmale geben an, wie ein Phonem erzeugt wird. Dabei hängt der resultierende Laut davon ab, wie die Stellung der Teile des Stimmtraktes zueinander ist, wenn der anblasende Luftstrom hindurchströmt. Vokale entstehen, wenn der Stimmtrakt relativ weit geöffnet ist, Konsonanten wenn er zusammengezogen bzw. geschlossen wird. Damit verbunden ist, dass Vokale durch einen kontinuierlichen Luftstrom charakterisiert sind und Konsonanten durch rasch wechselnde Luftstromimpulse und Ruhephasen. Die Unterschiede zwischen der Erzeugung von den unterschiedlichen Konsonanten lassen sich durch die drei Merkmale: Stimmhaftigkeit(Konsonanten versetzen die Stimmbänder entweder in Schwingung→stimmhaft, oder nicht→stimmlos), Artikulationsstelle(Stelle, an der der Luftstrom beim Erzeugen eines Lautes blockiert wird→sieben verschiedene) und Artikulationsart(mechanische Mittel durch die ein Konsonant erzeugt werden→sechs verschiedenen Möglichkeiten). Jedes Phonem kann durch eine einzigartige Kombination der Merkmale gekennzeichnet werden.

1.3.Merkmale der Sprachsignale:

Sprachsignale unterscheiden sich in ihrer Phonation und ihrer Artikulation. Die Phonation umfasst die Erzeugung des Luftstroms aus den Lungen und die Schwingung der Stimmlippen. Die Artikulation umfasst den Mundraum, die Zunge, die Zähne, den Kiefer und die Öffnung der Lippen. Die Zusammenwirkung dieser beiden Merkmale führen zu unterschiedlichen Schallsignalfrequenzen und -intensitäten. Jeder Vokal hat ein spezifisches Frequenz- und Intensitätsmuster. Mit Hilfe eines Schallspektogramms kann man dieses darstellen. Vokale entstehen durch die Vibration der Stimmlippen und durch die Resonanz im Stimmtrakt. Wird die Form des Stimmtraktes geändert ändern sich auch die Resonanzfrequenzen im Stimmtrakt und es wird ein Muster an einzelnen stark ausgeprägten Frequenzen, Formanten erzeugt. Am Beginn und Ende einer Formante kann man häufig Änderungen in der Frequenz, so genannte Formantentransienten beobachten. Konsonanten werden entweder durch Verschlusslaute(Bsp. d) oder Reibelaute(Bsp. f) erzeugt.

2. Probleme bei der Dekodierung von Phonemen:

2.1. Segmentationsproblem:

Um die einzelnen Phoneme erkennen zu können müssen wir diese erstmal von benachbarten Phonemen trennen können. Dieses Problem der Gliederung und Einheitenbildung ist gar nicht so einfach. Wenn wir Bsp. ein Sprache nicht kennen erscheint es uns fast unmöglich die Buchstaben eines Wortes bzw. die Wörter eines Satzes voneinander abzugrenzen.

2.2. Problem der Variabilität in den Sprechsignalen:

Phonemen haben nicht immer die gleichen Sprachmerkmale, da der Kontext eines Phonems und die unterschiedliche Sprechweise von Personen diese verändern.

2.2a. Kontext eines Phonems:

Der Kontext eines Phonems verändert zwar Sprachmerkmale, in die dieses eingebunden ist, das Phonem wird aber in jedem Kontext das Bsp. ein d wahrgenommen. Es herrscht Wahrnehmungskonstanz. Ein Bsp. für diese Veränderung ist die unterschiedliche Wahrnehmung von dem Konsonanten d, wenn ihm ein i folgt oder wenn ihm ein u folgt. Formanten, d.h. die Frequenz stellen eine Eigenschaft von Vokalen dar, Konsonanten dagegen sind durch die Formantentransistenten, d.h. die Frequenzveränderungen am Ende und Anfang eines Formanten gekennzeichnet. Der Formantentransistent des höherfrequenten Transistenten unterscheidet sich bei di und du, bei di geht es nach unten bei du nach oben. Dieser Kontexteffekt beruht auf dem Artikulationsfluss, d.h. der Überschneidung von Phonemen.

2.2b. Unterschiede der Sprechsignale bei unterschiedlichen Personen:

Personen unterscheiden sich darin ob sie eine hohe oder tiefe Stimme haben, welchen Akzent sie besitzen, ob sie schnell oder langsam sprechen, wie deutlich sie sprechen. Menschen sprechen im Alltag oft nicht jedes Wort einzeln aus, somit müsste es für den Zuhörer zu Problemen alles zu verstehen. Dies ist aber nicht der Fall. Wir hören einfach Wörter die Bedeutung besitzen. Wir haben noch nicht einmal Probleme damit, wenn wir anstatt 12-14 Sprachsignale 50-60 pro s präsentiert bekommen. Die Wahrnehmungskonstanz unterstützt uns.

3. Auswertungsprozesse für die Sprachsignale:

Gibt es spezifische Auswertungsprozesse für die Sprache oder wird Sprache nach allgemeinen auditorischen Regeln ausgewertet?

3.1. Suche nach invarianten akustischen Merkmalen für die Phoneme:

Man analysiert Sprachsignale nach Aspekten, die mit bestimmten Phonemen verknüpft sind und in verschiedenen Kontexten unverändert bleiben. Dazu verwendet man sowohl das Schallspektrogramm, als auch das Frequenzspektrum eines kleinen Zeitausschnitts. Dieses gibt im Gegensatz zum Schallspektrogramm die Schallintensität jeder Frequenz sehr viel genauer an, bietet aber nur Infos über einen kleinen Zeitraum. Deshalb hat man das 3D-Frequenzspektrum eingeführt mit dem man sich Frequenzen im zeitlichen Verlauf betrachten kann. Damit konnte man zeigen, dass Sprachsignale tatsächlich invariant sind, da Personen anhand von Sprachmerkmalen phonetische Merkmale auch in unterschiedlichen Kontexten erkennen konnte. Eine Studie von Luce und Kewley-Port(1984) zeigte, an hand von 3D-Frequenzbilder, dass tiefe Frequenzen stimmhaft, hohe Frequenzen dagegen

durch eine alveolare Artikulation gekennzeichnet sind. Sussman arbeitete dagegen mit Konsonant-Vokal-Konsonant Kombinationen und verwendete ein Verfahren, mit dem sie mehrere Analyseschritte auf einmal durchführen kann. Dabei beobachtete sie eine lineare Beziehung bei Konsonanten zwischen ihrer Anfangsfrequenz des Formantentransistenten und der Formantenfrequenz. Es gibt aber Konsonanten, die die selbe Kombination besitzen, in diesen Fällen muss man noch die Information der früher Phase des akustischen Spektrums, das Burst verwenden.

3.2.Kategoriale Wahrnehmung:

3.2.aVokaleinsatzzeit nach einem Konsonanten:

Man hat beobachtet, dass es nach einem stimmlosen Konsonanten viel länger dauert bis ein Vokal einsetzt iG. zum Einsatz von einem Vokal nach einem stimmhaften Konsonanten.

3.2b. Kategoriale Wahrnehmung:

Kategoriale Wahrnehmung bezeichnet man den Prozess, dass man Sprachsignale in begrenzte Zahl von Wahrnehmungskategorien aufgliedert. Ein Experiment zur kategoralen Wahrnehmung, bei dem die Vokaleinsatzzeit kontinuierlich vergrößert wurde, zeigt dann man aber auf der einen Seite der phonetischen Grenze von 0-35 ms Vokaleinsatzzeit da wahrnimmt und auf der anderen Seite ab 40 ms ta. Es gibt somit für die Vp nur zwei Stufen. Ein zweiter Schritt in diesem Experiment hat untersucht wie gut eine Vp zwei Sprachsignale unterscheiden kann, die eine unterschiedliche Vokaleinsatzzeit haben. Eine Vp kennt den Unterschied zwischen zwei Sprachsignalen mit Vokaleinsatzzeiten von 10 und 30 ms nicht, den Unterschied zwischen 30 und 50 sehr deutlich, da diese auf unterschiedlichen Seiten der phonetischen Grenze liegen. Durch diese Vereinfachung kann man die Variabilität von Sprachsignalen, welcher man ständig ausgeliefert ist gar nicht richtig wahrnehmen. Dieser Vorgang ist eine wichtige Voraussetzung für die Wahrnehmungskonstanz. Dieser Prozess ist aber nicht, wie erst angenommen spezifisch für die Sprachwahrnehmung, da auch Wachtel und Chinchillas, die keine Sprache besitzen und Geräusche, Musik und Summen diesen Mechanismus verwenden.

3.3.Multimodaler Charakter der Sprachwahrnehmung:

In der Sprachwahrnehmung werden Sehen und Hören integriert. Dies verdeutlicht auch der Mc Gurk Effekt, bei dem Vpn akustisch ein ba-ba präsentiert wird visuell anhand von Lippenbewegung aber ein ga-ga. Sie nehmen deshalb da-da wahr. Ein akustisches Signal, das nicht zu den Lippenbewegungen passt verändert somit die Wahrnehmung des Lautes durch die Vpn. Man geht deshalb davon aus, dass es einen spezifischen Sprachverarbeitungsmechanismus gibt, da Spracherzeugung und Wahrnehmung zusammen ausgewertet werden. Die Umsetzung des McGurk Effekts auf die Darbietung eines gezupften Tons, aber die visuelle Präsentation eines gestrichenen widerlegte allerdings diese Annahme.

Eine Untersuchung von Calvert(1997) bestätigte die bestehende Verbindung zwischen visueller und Sprachwahrnehmung. Vpn beobachteten entweder eine Person die Zahlen sprach oder sie beobachteten nur ein statisches Gesicht, in beiden Bedingungen wurde aber kein Ton dargeboten. Trotzdem konnte man in der ersten Bedingung eine erhöhte kortikale Aktivität im visuellen und auditorischen Kortex beobachten.

4.Kognitive Faktoren der Sprachwahrnehmung:

Ein akustisches Sprachsignal wird sowohl durch top-down als auch durch bottom-up Prozesse beeinflusst, welche zusammen eine Sprachwahrnehmung erzeugen. Anagrammaufgaben verdeutlichen wie wichtig dies top-down Einflüsse sind, da sie helfen die fehlenden Buchstaben zu finden und Einheiten zu bilden, obwohl akustisch überhaupt keine Pausen existieren. Wenn man Vpn dagegen einen augenscheinlich sinnlosen Satz präsentieren ohne ihnen einen Kontext zu bieten, dann stülpen sie dem gehörten ihre eigene Interpretation auf. Die zusammen gesetzten Wörter aus dem Deutschen werden je Kontext anders interpretiert.

4.1.Bedeutung und Wahrnehmung von Phonemen:

Warren(1970) konnte zeigen, dass wenn er in einem Satz ein Phonem in diesen Fall ein s wegließ niemand der Vpn angeben konnte, dass ein s fehlte und an welcher stellte. Es hat eine Phonemergänzung stattgefunden. Desweiteren konnte gezeigt werden, dass am Ende eines Satzes, welches auf ein fehlendes Phonem folgt diese Ergänzung beeinflusst. Samuel(1981) zeigt, dass mit einer größeren Wk ein Phonem ersetzt wird, wenn das Wort länger und bedeutungshaltig ist und der Maskierungsrauschsignal dem maskierten Phonem ähnlich ist.

4.2.Semantik, Syntax und auditive Sprachwahrnehmung:

Die Semantik, welche die Bedeutung eines Wortes angibt und sagt ob dieses in einem Satz richtig verwendet wird und die Syntax, welche die grammatikalischen Regeln eines Satz entspricht, unterstützen ebenfalls die auditorische Sprachwahrnehmung. Man unterscheidet normale, semantisch falsche Sätze und grammatikalisch falsche, semantisch falsche Sätze. Ein Experiment, bei dem Vpn alle Satztypen dargeboten wurde und sie diese laut nachsprechen mussten zeigte sich, dass sie 89% der normalen, 79% der nicht semantischen und nur 56% der nicht semantischen und nicht grammatikalischen richtig nachgesprochen haben. Dies zeigt das Hörer bei der Wahrnehmung von Sätzen sowohl auf syntaktische als auch auf grammatikalische Infos zurückgreifen.

4.3. Charakteristik der Sprecher:

Wenn wir jemandem zu hören nehmen wir auch nichtsprachliche akustische Informationen über den Sprecher wie Bsp. sein Alter, sein Geschlecht, seine Herkunft, sein emotionaler Zustand auf. Das Alter und das Geschlecht erkennt man an der Grundformate, die bei Frauen bei 120 Hz liegt und bei Männer bei 210 Hz, Veränderungen dieser Grundformate geben das Alter an. Ein Beweis für die wichtig der Charakteristika eines Sprecher für die Sprachwahrnehmung zeigt das Experiment von Palmeri, Goldinger und Pisoni(1993). Hier konnten Personen besser zwischen bekannten und unbekanntem Wörtern differenzieren, wenn diese von dem selben Sprecher gesprochen wurden.

5. Neurophysiologische Grundlagen der Sprachwahrnehmung:

Informationen des Sprachsignals werden durch das Entladungsmuster von den Hörnervenfasern repräsentiert. Die Befunde deuten ebenfalls daraufhin, dass Menschen Neurone existieren, die selektiv empfindlich sind für Sprachsignale. Sprache wird hauptsächlich in der linken Hemisphäre des Gehirns verarbeitet. Aphasie sind Schwierigkeiten beim verstehen und sprechen von Sprache. Die Wernicke-Aphasie äußert sich darin, dass Personen mit dieser Störung Probleme haben Wörter zu verstehen und deshalb Radio, Fernsehen und Gespräche nicht folgen können. Für andere Personen ist es ebenfalls schwierig diese Personen zu

verstehen, da sie zwar flüssig sprechen aber Sätze ohne Sinn produzieren. Die Ursache für diese Probleme liegen darin, dass diese Personen Phoneme nicht isolieren und in das Phonemsystem einzuordnen. Wenn allerdings Probleme in der Sprachproduktion vorliegen, dann liegt dies an einer Schädigung im Broca Areal. Allerdings können Personen Sprachsignale besser wahrnehmen, wenn diese über einen Kopfhörer auf dem linken Ohr dargeboten werden.

6. Auditive Sprachwahrnehmung in der menschlichen Kommunikation:

6.1. Abgrenzung zu Hörobjekten und Hörumwelten:

Die Sprachsignale sind vom Menschen aktiv erzeugt und dienen dazu Inhalte weiterzugeben. Ein Zuhörer richtet deshalb seine Aufmerksamkeit auch primär auf den Inhalt der Mitteilung und die Informationen über den Sprecher werden nur nebenbei wahrgenommen, während bei den Hörobjekten und Umwelten die Aufgabe darin besteht dieses zu identifizieren. Akustische Signale die von einer Person aufgenommen werden enthalten sowohl sprachliche, als auch stimmliche und Informationen über die räumlichen Bedingungen der Sprechsituation. Die Musikwahrnehmung nimmt eine Stellung zwischen der Sprachwahrnehmung und der Wahrnehmung von Hörobjekten bzw. Umwelten ein.

6.2. spezifische Beziehung zwischen den Sprechpartnern

Sprechpartner haben eine gemeinsame Sphäre, sie besteht aus Rückmeldung und Mitteilung. Es ist wichtig, dass Sprechpartner ihre Aufmerksamkeit auf die gleichen Objekte richten können und so gemeinsam interagieren. Die Spiegel-Neurone sind eine Voraussetzung für die Wahrnehmung der eigenen Motorik und der Motorik anderer.

6.3. vergleichbare Einschätzung einer Situation der Sprecher:

Die gleiche Einschätzung einer Situation ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass sich Personen richtig verstehen. Die kognitiven, emotionalen und motivationalen Bewertungen einer Situation müssen zusammenpassen. Die Eigenschaften des Babytalks, nämlich der erhöhten Grundfrequenz, die verringerte Sprechgeschwindigkeit, die Hervorhebung der Intention sowie die deutliche Differenzierung der Vokale, helfen dem Kind dabei ein Gefühl für Sprache zu entwickeln.

7. Ist die Sprachwahrnehmung eine spezifische Fähigkeit:

Sprache ist eine universelle Fähigkeit, welche ohne Instruktionen erlernt wird. Die Sprachwahrnehmung, sowie die Sprachfähigkeit sind genetisch bedingt. Ein Experiment zur doppelten auditiven Wahrnehmung konnte zeigen, dass es einen Sprachmodus und einen auditiven Modus gibt. Diese doppelte auditive Wahrnehmung funktioniert aber auch bei nicht sprachlichen Merkmalen. Die Debatte darüber ob die Sprachwahrnehmung eine spezifische Fähigkeit ist, oder ein allgemeiner auditorischer Verarbeitungsprozess ist noch nicht gelöst.

8. Vergleich von amerikanischen und japanischen Hörern:

Studien an japanischen und amerikanischen Kindern haben herausgefunden, dass Kinder bis zu einem Lebensjahr alle Phoneme auseinanderhalten können, was sich auch im Babygeplapper zeigt. Japanische Säuglinge besitzen somit noch die Fähigkeit zwischen r und l zu unterscheiden, Japanische Erwachsene allerdings nicht mehr.

9.Hören durch Tasten:

Durch die Methode des Tadoma können Blinde und Taube wahrnehmen was ihnen eine Person zu sagen hat, in dem sie ihren Daumen auf die Lippen, einen anderen Finger auf das Gesicht und die restlichen auf dem Hals platzieren. Dadurch können sie die Vibrationen und Änderungen in den Mund und Lippenstellungen wahrnehmen. Mit dieser Technik können 80% der KVK Kombinationen richtig erkannt werden. Dieses Beispiel unterstützt die Annahme, dass Sprache multimodal ist.

13. Lageorientierung und vestibuläres Organ

Das Vestibularorgan stellt ein Bezugssystem zu räumlichen Orientierung, oben, unten, rechts, links und vorne, hinten dar. Es hilft uns dabei Aufrechtzustehen, zu Gehen und das Gleichgewicht zu halten. Dieses Sinnessystem besitzt aber i.G. zu allen anderen keine eigene Erlebnisqualität, es wirkt im Hintergrund der anderen Systeme und ein Ausfall der Lageorientierung wird nur in anderen Wahrnehmungsbereichen und der Motorik sichtbar.

1. Die Entdeckung des Vestibularorgans:

Bis ins 19. Jh herrschte die Auffassung, dass die Wahrnehmung des Menschen durch fünf Sinne bestimmt wird, wobei die Grundlagen der Raumwahrnehmung aufgrund dieser nicht vollständig geklärt werden konnte. Erst Flourens stellte diese Annahme 1824 in Frage. Nach ausgiebigen Forschungen wurde bekannt, dass im Innenohr sowohl die Cochlea, als auch das Vestibularorgan liegt, das Vestibularorgan aber nicht am Hören beteiligt ist und das Vestibularorgan aus dem Statolithenorgan und dem Bogengangsorgan besteht. Bárány entwickelte daraufhin eine Methode um die Funktionsfähigkeit dieses Sinnesorgan zu messen. Das Ohr wird mit warmem oder kaltem Wasser stimuliert und die Auswirkung auf die reflektorischen Augenbewegungen beobachtet. 1950 wurde herausgefunden, dass die Schwerkraft, welche horizontal wirkt der adäquate Reiz für das Statolithenorgan darstellt.

2. Aufbau des Vestibularorgans:

Jeder Mensch besitzt zwei Vestibularorgane, auf jeder Seite eins. Dieses Organ befindet sich in den harten Knochen der Felsenbeine. Das eigentliche Sinnesorgan das „häutige Labyrinth“, schwimmt in der Perilymphe des knöchernen Labyrinths, es ist mit Endolymphe gefüllt. Jedes häutige Labyrinth besteht aus den Bogengängen, dem Statolithenorgan und der Cochlea. Das Statolithenorgan besteht wiederum aus dem Utriculus (Sinneszellen befinden sich der Macula utriculi) und dem Sacculus (Sinneszellen befinden sich in der Macula sacculi). Der obere Bogengang, der seitliche Bogengang und der hintere Bogengang stehen senkrecht zu einander und sind mit dem Utriculus verbunden. Jeder dieser Bogengänge besitzt eine Erweiterung in dessen Nähe, die Ampulle, in der sich ein Crista ampullaris befindet, welche die Sinneszellen enthält. Das Vestibularorgan wird über den nervus vestibularis und die Cochlea über den nervus cochlearis versorgt.

3. Die Haarzellen der Bogengänge und des Statolithenorgans:

Jede Sinneszelle des Vestibularorgans besitzt am oberen Ende ein großes Kinozilium und mehrere kleine Zilien (Härchen). Eine Sinneszelle hat sowohl efferente und afferente Verbindungen. Die Nervenfasern des Vestibularorgans und des Gehörgangs vereinigen sich allerdings noch im Innenohr zum nervus vestibulocochlearis und führen in den Hirnstamm. Man unterscheidet zwei verschiedenen Typen von Sinneszellen, an Hand ihrer Aussehens als auch der Versorgung von unterschiedlichen Nervenfasern. Diese Sinneszellen sind allerdings sekundär, da die Zellkerne erst im Ganglion vestibularis zu finden sind. Wenn die Zilien nicht ausgelenkt sind besitzen die Haarzellen eine Ruheaktivität, durch

Bewegungen können die Zilien entweder in Richtung Kinozilium ausgelenkt werden → Depolarisation oder weg von Kinozilium → Hyperpolarisation.

4. Das Statolithenorgan:

Der Sacculus und der Utriculus bestehen beide aus drei Schichten: Sinnesepithel mit Haarzellen, Gallertschicht und Statolithenmembran (mit Kalzitkristallen, die man als Statolithen bezeichnet). Der adäquate Reiz der Translation des Körpers und des Kopfes bewirkt, dass sich die Statolithenmembran gegenüber dem Sinnesepithel beschiebt und eine Abscherung der Zilien bewirkt. Wenn man den Kopf 30 Grad nach unten senkt ist der Utriculus waagrecht. Diese Grundstellung ist wichtig um kleine Unebenheiten auf dem Boden zu bemerken. Durch das Sinnesepithel verläuft eine Grenzlinie der Richtungsempfindlichkeit die Striola. Im Utriculus führt eine Abscherung der Zilien in Richtung der Striola hin zu einer Aktivitätssteigerung im Sacculus eine Abscherung der Zilien weg von der Striola zu einer Steigerung. Die beiden Utriculi und Sacculi erzeugen somit ein komplexes Muster, das Infos über die Stellung des Kopfes im Raum und Translationsbeschleunigungen enthält.

5. Die Bogengänge:

Die Bogengänge reagieren auf Rotationsbeschleunigungen, wobei mittlere und schnelle Rotationen durch die Rotationsgeschwindigkeit angegeben werden. Wenn man den Kopf 30 Grad nach vorne beugt ist der seitliche Bogengang waagrecht. Jede Ampulle eines Bogengangs besitzt die crista ampullaris in der sich die Sinneszellen befinden, auf ihr sitzt die Cupula, diese wird bei einer Rotationsbeschleunigung ausgelenkt. Eine Rotationsbewegung setzt nämlich die Endolymphe der Bogengänge in Bewegung, diese Flüssigkeit führt zu einer Abbiegung der Cupula und einer Abscherung der Zilien. Wird der Kopf bsp. nach rechts gedreht, bleibt die Endolymphe im seitlichen Bogengang am Beginn der Drehung aufgrund der Trägheit zurück und die Cupula wird nach links ausgelenkt. Erst nach einer Weile fließt die Endolymphe dann in Richtung der Drehung und nach Stillstand wird die Cupula dann nach rechts gedreht.

6. Das zentrale vestibuläre System:

Der nervus vestibularis, welcher die Information aus den Bogengängen sowie aus dem Utriculus und dem Sacculus enthält zieht zum Hirnstamm und dort speziell zu den Vestibulariskernen. Von dort aus ziehen aufsteigende Bahnen zu den Kernen der Augenmuskeln, zum Kleinhirn, zur Formatio reticularis, zum Thalamus und zum Cortex. Absteigende Bahnen führen zu den Kernen der Muskeln von Hals und Kopf. Man ist sich nicht sicher ob es einen eigenen vestibulären Cortex gibt, wenn ja dann dient er der Integration von vestibulären, visuellen und somatosensorischen Informationen. Teile wie PIVC, das Areal 7 und VPS könnte man zu diesem Cortex dazuzählen.

7. Überprüfung der Funktion des Vestibularorgans:

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Funktionstüchtigkeit des Vestibularorgans zu testen. So u.a. das Vertikalstellen einer Leuchtlinie im dunkeln Raum, die Überprüfung des Gleichgewichts mit offenen und geschlossenen Augen und die Überprüfung von unwillkürlich anlaufenden Augenbewegungen, wie dem vestibulären Nystagmus i.G. zum optokinetischen. Der vestibuläre Nystagmus wird dadurch ausgelöst, dass man eine Person mit einer konstanten Geschwindigkeit auf einem Stuhl dreht und sie abrupt abbremsst. Die Person fühlt ebenfalls eine Nachempfindung der Drehung → postrotatorischer Nystagmus. Mit dieser Technik

kann man allerdings nur eine beidseitige Störung untersuchen, da beide Vestibularorgane gedreht werden. Die kalorische Prüfung dagegen ist eine Methode um beide Seiten getrennt zu untersuchen. Man legt dazu eine Person auf eine Liege und hebt sie um 30 Grad an, so dass der horizontale Bogengang senkrecht steht. Daraufhin wird der äußere Gehörgang mit kaltem oder warmem Wasser gespült. Das Gewicht der Endolymph wird so verändert und es kommt zu einer Abbiegung der Cupula. Diese Auswirkungen kann man im Nystagmus beobachten.

8. Offene Fragen:

8.1. Wie werden die afferenten Signale aus dem Statolithenorgan und den Bogengängen zusammengefasst? Wie interagieren die beiden Teile des Vestibularorgans?

8.2. Welche kortikalen Bereiche beschäftigen sich mit der Verarbeitung vestibulärer Information? Mit welchen Arealen von anderen Sinnesleistungen und der Motorik bestehen Verbindungen?

9. Aufgaben des vestibulären Systems:

Die Hauptaufgaben des vestibulären Systems bestehen in der Haltungskontrolle und dem Gleichgewicht, der Steuerung der kompensatorischen Augenbewegungen und der Stabilisierung der Wahrnehmung (Basisbezugssystem). Bei der Entwicklung eines solchen Basisbezugssystems interagieren viele unterschiedliche Sinnessysteme, während beim Gleichgewicht halten hauptsächlich die Motorik eine große Rolle spielt.

10. Die Wahrnehmung der visuellen Lotrechten:

„Lotrechte“ ist eine Bezeichnung für einen Teil des Basisbezugssystems nämlich oben und unten. Die Vertikalkonstanz ist eine wichtige Voraussetzung unserer Wahrnehmung, da wir die Welt trotz Bewegung unseres Kopfes oder Körpers in Schräglagen immer noch stabil bzw. konstant wahrnehmen. Die Gegenmaßnahmen unseres Körpers sind demnach effizient. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Verrechnung der Meldungen des Statolithenorgans mit den visuellen Meldungen. Wenn man eine Person im Dunkeln in unterschiedliche Schräglagen bringt und sie einen Stab vertikal einstellen soll kann man beobachten, dass diese Aufgabe nur in einem Bereich bis 60 Grad annähernd gut erreicht wird. Man kann unter 45 Grad das E-Phänomen der schwachen Überkompensation und über 60 Grad das A-Phänomen der Abweichung beobachten. Somit konnte nachgewiesen werden, dass die Info aus dem Statolithenorgan nicht ausreicht um die Vertikalkonstanz herzustellen. Es werden noch Regelmäßigkeiten verwendet, welche jede visuelle Umgebung aufweisen, das sind u.a., dass Gegenstände die sich in die Höhe erstrecken vertikal sind Gegenstände die auf dem Boden liegen horizontal.

Man erklärt sich die Vertikalkonstanz durch zwei Kompensationsschritte die Fremdkompensation durch das Statolithenorgan und die visuelle Autokompensation. Diese beiden Verrechnungsschritte ergeben trotz Kopfneigung die Wahrnehmung eines annähernd senkrechten Umgebungsausschnitts. In diesem Erklärungsansatz spielt sowohl die Kompensation als auch der Prozess der Korrektur eine große Rolle. Kompensation ist das Zusammenwirken von mehreren Sinnessystemen und der Motorik, um Umweltmerkmale oder Gegenstände besser erfassen zu können Bsp. Größenkonstanz. Das Korrekturprinzip dagegen der Verfeinerung der Kompensationsgröße und der mehrfachen Sicherung.

11. Intersensorische und sensumotorische Zusammenarbeit bei der Handlungskontrolle:

Mergner und Rosemeier haben ein globales Modell entwickelt, welches versucht, die Zusammenarbeit bei der Handlungskontrolle aufzuzeigen. Kognitive Prozesse, welche dazu dienen Situationsanforderungen richtig zu erkennen wirken auf das Muskelsystem ein. Der Körper ist desweiteren über seine Biomechanik beschränkt und es wird eine mögliche Körperhaltung ausgelöst. Um diese Körperhaltung aufrechtzuerhalten erfolgen visuelle, vestibuläre und somatosensorische Rückmeldungen. Diese werden an einer Stelle summiert und bilden zusammen mit den Kognitionen eine interne Repräsentation. In diesem Modell wird allerdings nicht berücksichtigt: die wechselseitige Abhängigkeit der Rückmeldungen, dass die Sinnesorgane in verschiedenen Teilen des Körpers liegen und dass für die Steuerung der Körpersegmente ein differenziertes Zusammenspiel der sensorischen und sensumotorischen Rückmeldungen erforderlich ist.

Mittelstaedter(1996) fand heraus, dass es Rezeptoren in der Niere und Blutgefäßen gibt, die Beiträge zur Ermittlung der Lageorientierung des Körperstamms liefern.

12. Auswirkung von Erfahrung auf das vestibuläre System:

Längerfristige Änderungen in der Stimulation führen zu Anpassungsleistungen in Form von Empfindlichkeitsänderungen. Erfahrungen mit den Bedingungen der annähernden Schwerelosigkeit im Weltall führen dazu, dass zu Beginn Anpassungsprobleme wie Orientierungs- und Wahrnehmungsschwierigkeiten zu beobachten waren, welche die Astronauten nach Rückkehr zur Erde erneut in Form von Rückanpassung erleben mussten. Es konnte beobachtet werden, dass sich unter diesen Bedingungen im All die Empfindlichkeit des Utriculus verbessert hat.

In einer zweiten Untersuchung konnte gezeigt werden, dass eine Funktionsuntüchtigkeit im somatosensorischen System zu einer kompensatorischen Verbesserung des vestibulären Systems führt. Bei einem Vergleich von normalen Personen, Piloten und Personen mit Seekrankheit konnte man anhand eines Cupolagramms, das die Dauer eines Nystagmus und die Dauer der wahrgenommenen Nachdrehung erfasst, feststellen das Seekranke eine größere Steilheit in ihrem Diagramm und damit eine geringere Stabilität in ihrem Vestibulärensystem aufweisen. Diese Unterschiede können sowohl auf Erfahrung bzw. Übung sowie auf die Personen selbst zurückgeführt werden.

14. Somatosensorik

Tastsinn ist stark differenziert → Möglichkeit von Blinden die Brailleschrift mit ihren Händen zu lesen.

Die subjektiven Erfahrungen, die über Hautsinne aufgenommen werden sind überlebensnotwendig. Schützen z.B. vor Verletzungen, helfen Gegenstände zu erkennen, etc.

Somatosensorische Sinnessysteme bestehen aus den *Hautsinnen* (Tast-, Temperatur- und Schmerz Wahrnehmung) und dem *Stellungssinn* (Wahrnehmung von Stellung und Bewegung des Kopfes und der Gliedmaßen. Rezeptoren hierzu in Muskelspindeln, Gelenken und Sehnen und in der Haut)

Somatosensorische Sinnessysteme i.d.R. mit aktiver Motorik eng verknüpft. Aktives Berühren, Tasten als **haptische Wahrnehmung** bezeichnet. Diese dient folgenden Zwecken:

1. *Erkennen von Objekten und Objektoberflächen*: Außer den Händen auch Zunge oder Füße hierfür geeignet
2. *Halten und Bewegen von Objekten*: Richtige Steuerung der aktiven Bewegung in Bezug auf Objekte. Wichtig hierbei sind Rückmeldungen aus Haut- und Stellungssinn an die Motorik
3. *Aufbau eines Körperschemas*: Innere Repräsentation des Körpers und der Gliedmaßen. Erweitertes Körperschema: Objekte, die in einer bestimmten Situation mit Körper verbunden sind (wie z.B. Fahrrad) erweitern Körper um eigene räumliche und dynamische Merkmale. Fahrrad, solange man fährt, als Teil des Körpers gesehen.
4. *Soziale Funktionen*: Soziale Berührungen ganz wichtig, mit Emotionen verbunden (z.B. Küssen)

Mechanorezeptoren:

Befinden sich in der Haut. Diese besteht aus unterschiedlichen Schichten. Äußere Schicht: Epidermis oder Oberhaut → aus abgestorbenen Hautzellen gebildet, 0,1mm dick. Darunter liegt Dermis oder Lederhaut, 0,6 - 3 mm dick und schließlich Subcutis oder Unterhaut, besteht aus Bindegewebe oder Fett, mehrere cm.

Rezeptoren der Tastwahrnehmung liegen vor allem in Epidermis und Dermis.

Verschiedene Arten von Mechanorezeptoren:

Zwei Rezeptortypen (SA I und SA II) reagieren auf Dauerdeformation, Druck. Sie adaptieren langsam.

1. *SA I Rezeptoren*: Reagieren auf vertikalen Druck. Besitzen an unbehaarten Hautstellen Merkel-Korpuskel (hier ist Rezeptor eingebettet), an behaarten Hautstellen Iggo – Tastscheiben (nach Goldstein: Merkel – Tastscheiben). Sitzen zwischen Dermis und Epidermis → kleines Rezeptives Feld.
Hauptaufgabe: Löst Details am besten auf (Hautoberfläche, kleine rezeptive Felder), somit Basis für Form- und Texturwahrnehmung.
2. *SA II Rezeptoren*: Reagieren auf Reibung, horizontale Dehnung. Besitzen Ruffinikorpuskel an behaarter und unbehaarter Haut. → großes rezeptives Feld.
Hauptaufgabe: Spannungsinformationen. Wahrnehmung von Gewichten.
3. *RA Rezeptoren*: Reagieren auf Bewegungen. Adaptieren schnell. Besitzen an unbehaarter Haut Meissner Korpuskel, an behaarter Haut Haarfollikelkorpuskel, sitzen in der Lederhaut. → kleines Rezeptives Feld
Hauptaufgabe: liefert neuronales Bild der Bewegung auf der Haut.
4. *PC Rezeptoren*: Adaptieren sehr schnell, reagieren auf Vibrationen. An allen Hautstellen Pacini-Korpuskel. Sitzen tiefer in der Haut, auch in inneren Organen und Gelenken. → großes rezeptives Feld

Hauptaufgabe: Info über Vibrationen hilft, Gegenstandsmerkmale zu erfassen.

Alle Mechanorezeptoren besitzen schnell leitende Nervenfasern. Treten über Hinterwurzel ins Rückenmark ein und ziehen und ziehen übers *Hinterstrangsystem* (Berührungswahrnehmung und Stellung der Glieder) und *Vorderseitenstrangsystem* (Mechano-, Temperatur- und Schmerzwahrnehmung) zum *Thalamus*. Von hier aus Verschaltung zu anderen Thalamuskernen und zum *primären und sekundären somatosensorischen Kortex*.

Mechanorezeptoren unterschiedlich stark in Haut verteilt. Durch Zweipunktschwelle vermittelt. (Finger am meisten, Rücken sehr wenig ... blabla).

Relativ hierzu ist die Größe der Areale im Kortex, welche die unterschiedlichen Körperregionen repräsentiert → *Homunculus*. (sowohl im motorischen- als auch im somatosensorischen Rindenfeld)

Auch der somatosensorische Kortex ist in Säulen angeordnet. Alle Neurone senkrecht zur Oberfläche haben ihre rezeptiven Felder in derselben Hautregion.

Haptisches Wahrnehmen von Objekten:

Mit aktiven Bewegungen sind neuronale Signale aus vier Bereichen verbunden:

1. Mechanorezeptoren in Gelenken: Vermitteln Infos über die Stellung von Gelenken.
2. Mechanorezeptoren der Haut
3. Efferenzkopien der motorischen Steuersignale
4. Muskelspindelrezeptoren: Ebenfalls große Bedeutung bei der Wahrnehmung von Stellung der Gliedmaßen. → Reagieren auf Veränderung der Muskellänge

Vergleich von aktivem und passivem Berühren:

Aktives Berühren lässt Schlüsse über den berührten Gegenstand zu. Es werden Rezeptoren der Haut und der Gelenke und Bänder erregt. Ist meist zielgerichtet. Passives Berühren geht eher mit Empfindungen auf der Haut einher. Erregt nur Rezeptoren der Haut.

Zum Erkennen von Gegenständen eignet sich meist aktives Berühren mehr

Haptisches Wahrnehmen ist ein Zusammenspiel unterschiedlicher Systeme: sensorisches, motorisches und kognitives System.

Auch hier besteht eine Plastizität in der Wahrnehmung. Kartierung des Kortex kann sich bei mangelnder (oder auch sehr starker) Stimulation einzelner Glieder (z.B. der Finger) ändern. Fällt ein Sinn wie z.B. der Sehsinn aus, kann das kortikale Areal für „Sehen“ von einem anderen übernommen werden. (Bei Blinden wird dieses Areal vom somatosensorischen Kortex übernommen).

Durch Plastizität auch Phantomschmerzen erklärbar. Es kommt z.B. bei Reizung des Gesichts zu Phantomempfindungen z.B. in einem amputierten Arm. Grund: Kortikale Prozesse, Reorganisation des somatosensorischen Kortex. Areal für Gesicht auf dem Kortex hat den ursprünglichen Bereich für Empfindungen im Arm übernommen. Allerdings nicht ganz vollständig. So sind Empfindungen erklärbar.

Schmerzwahrnehmung:

„Schmerz ist eine unangenehme sensorische und emotionale Erfahrung, die mit tatsächlicher oder potentieller Schädigung des Körpergewebes einhergeht, oder mit Begriffen einer solchen Schädigung beschrieben wird.“ (Merskey, 1991)

Schmerzen haben multimodalen Charakter. Können sowohl auf sensorische, als auch auf emotionale Art erfahren werden. *Noxe* (schädliche Stoffe) stimulieren freie Nervenendigungen in der Haut → *Nozizeptoren*. Besitzen langsam leitende Bahnen, erreichen

über Vorderseitenstrangsystem den Kortex. Außer diesem auch noch subkortikale Strukturen (Thalamus, limbisches System, Hypothalamus) an Schmerzverarbeitung beteiligt. Schmerzen werden stark von Kognitionen beeinflusst. Auch Patienten, bei denen Schmerzbahn unterbrochen wurde, sind nicht schmerzfrei. Einige kognitive Einflüsse:

1. Erwartung: Erwartungen können Schmerzen lindern oder steigern. Placebo-Effekt ein Bsp. für Schmerzlinderung aufgrund der Erwarteten Linderung.
2. Verlagerung der Aufmerksamkeit: Wendet man seine Aufmerksamkeit ganz von den Schmerzen ab (z.B. durch eine Dargebotene virtuelle Realität), können diese stark gemindert werden.
3. Inhaltliche Bedeutung dieser emotionalen Ablenkung: Schmerzwahrnehmung von eigener Emotion abhängig. Wird man z.B. mit sehr positiven Bildern konfrontiert, empfindet man Schmerzen weniger stark.
4. Interindividuelle Unterschiede: Verbunden mit Erziehung, Norm- oder Kulturvorstellungen. Auch mit Gewohnheit oder eigenen Standards.

Hierzu auch **Filter-Kontrolltheorie der Schmerzwahrnehmung** von Melzack und Wall (1965 u. 1988):

Besteht aus Zellen eines bestimmten Bereiches (*Substantia gelatinosa*) im Hinterhorn des Rückenmarks und aus Übertragungszellen, den *T-Zellen* (ebenfalls im Hinterhorn). In *Substantia gelatinosa* zwei Typen von Zellen: SG+ Zellen öffnen den Schmerzfilter (Ausgangspunkt hierfür sind die T-Zellen) durch erregende Signale, SG- Zellen schließen Schmerzfilter.

Filter kann aber auch durch zentrale Kontrollmechanismen im Gehirn geschlossen werden. Theorie, dass Signale des Gehirns Schmerzwahrnehmung dämpfen können, wurde erfolgreich empirisch überprüft.

Filter-Kontrolltheorie kann auch Akupunktur Erfolge erklären. Stimulation durch Nadeln kann Fasern erregen welche vom Gehirn kommen und so werden Dämpfungsbefehle weitergeleitet.

Stoffe, die im Gehirn produziert werden und auf Schmerzwahrnehmung Einfluss nehmen sind die *Endorphine*. (Ähneln in Eigenschaften stark Opiaten). Endorphine docken an Opiat-Rezeptoren im Gehirn an, mildern so Schmerzempfindungen.

Durch Versuche mit *Naloxon* empirisch belegt → Kann Endorphinrezeptoren blockieren und dadurch eine Schmerzreduktion aufheben oder Wirkung von Placebos zunichte machen.

15. Geruchs- und Geschmackswahrnehmung

15.1 Geruch

→ erzeugt Wahrnehmung wenn Moleküle gasförmiger Substanzen an Rezeptoren in der Nase binden (Riechschleimhaut)

a) Vergleich Mensch vs. Tier

Menschen haben weniger guten Geruchssinn als viele Tiere: Mikrosmaten

Tiere bei denen Geruchssinn überlebensnotwendig ist: Makrosmaten

Anosmie = Geruchsblindheit

b) Fakten

- menschl. Geruchsrezeptoren ebenso empfindlich wie die der Tiere, allerdings haben wir einfach viel weniger

- Menschen können Unterschiede in der Geruchsintensität sehr gut erkennen (Schwelle bei bis zu 11%)

- Geruchssystem kann verschiedene Gerüche sehr gut erkennen

- Geruchssinn kann Infos über andere Menschen vermitteln (z.B. Synchronisation der Menstruationszyklen)

c) Struktur des Geruchssystems

- Riechsinneszellen werden erregt durch Moleküle die durch die Riechschleimhaut diffundieren oder Moleküle binden an Proteine (Geruchsstoffe bindende Rezeptorproteine) welche in Nasenhöhle ragen und die Duftstoffmoleküle zu den eigentlichen Rezeptoren der Geruchsrezeptorzellen transportieren

- Rezeptoren sind Proteine die bei Erregung „aktive Moleküle“ in Rezeptorzelle ausschütten; es entstehen elektrophysiologische Impulse in Rezeptorzelle; diese Signale werden zu Bulbus olfactorius (Riechkolben) im Gehirn übermittelt; dort werden die Signale verarbeitet und zum olfaktorischen Cortex (Schläfenlappen) und zum orbitofrontalen Cortex (Stirnklappen) geleitet

d) Duftstoffe und Geruchsqualitäten

- noch kein Zusammenhang zw. „Geruch“ eines Moleküls und der physikalischen Eigenschaft gefunden, also auch noch keine Idee der Codierung

- Erfassung von Geruchsqualitäten durch Erstellen von Geruchsprofilen

- noch kein System um Gerüche zu ordnen

- stereochemische Theorie der Geruchswahrnehmung (Amoore): Moleküle für Geruchsqualitäten verantwortlich ← scheint aber falsch zu sein

e) neuronale Codierung

- Reaktionen der Rezeptorzellen: da es kein optimales Ansprechen einzelner Rezeptorzellen auf bestimmte Duftstoffe gibt, scheint jeweilige Geruchsqualität durch das Gesamtmuster der Reaktionen vieler Rezeptorzellen codiert zu werden

- elektrische Summenpotentiale der Riechschleimhaut; ortsselektive Empfindlichkeit; Elektroolfaktogramm

→ Ausmaß der Reaktion abhängig von chemischer Substanz und spezifischen Ort auf der Riechschleimhaut

- Verteilung von Duftstoffen: durch unterschiedlich schnelle und gute Bindung verschiedener Stoffe erzeugt jedes Molekül anderes Erregungsmuster der Rezeptorzellen

f) Codierung im Bulbus olfactorius und höher
-Aktivität des B. olf. unterscheidet sich zwar von Substanz zu Substanz, allerdings viel weniger als bei anderen besprochenen Sinnen → diffuse Codierung
-Neurone im orbitofrontalen Cortex sind spezifischer als die des B. olf.

g) Wahrnehmung von Aroma
- Geruchs- und Geschmackssinn erzeugen zusammen Aroma
- ohne Nase ist Geschmack viel schwerer zu identifizieren

h) Einflussfaktoren für Nahrungsmittelvorlieben
- Innerer Zustand des Organismus (Phänomen: Alloästhesie = Veränderung der Empfindung; z.B. schmeckt einem Lebensmittel das zuvor noch lecker war nicht mehr)
- frühere Erfahrungen
- konditionierte Aroma-Aversion (Kopplung von Geschmack und z.B. Erkrankung)
- spezifischer Hunger (z.B. auf salzhaltige Lebensmittel als Zeichen des Körpers)
- genetische Grundlagen der Geschmackswahrnehmung (z.B. PTC-Schmecker oder Nichtschmecker; die einen schmecken bitteren Stoff, die anderen nicht)

15.2 Das Geschmackssystem

a) 4 Arten von Zungenpapillen:

-Fadenpapillen: haben keine Geschmacksknospen; verteilt über ganze Zunge; fühlen sich rau an
- Pilzpapillen, Blätterpapillen und Wallpapillen mit Geschmacksknospen

b) Geschmacksknospe enthält mehrere Geschmackssinneszellen deren Mikrovilli in die Pore hineinragen

c) Verarbeitung

-Geschmackssinneszellen werden erregt durch Moleküle; es entstehen elektrische Signale; diese werden auf 3 Bahnen weitergeleitet: Chorda tympani leitet Signale von Zungenspitze und Zungenseiten; Nervus glossopharyngeus leitet Infos von Zungenwurzel; Nervus vagus leitet Geschmacksrezeptorzellen aus Mund und Kehlkopf; im Hirnstamm Verschaltung mit Ncl. Solitarius; Weiterleitung zum Thalamus und von dort zu 2 Arealen im Stirnlappen: Insel und Operculum

d) Geschmacksqualitäten

süß – sauer- salzig- bitter- umami (Glutamat)

e) neuronale Codierung:

- sowohl Anhaltspunkte für Einzelneuronencodierung (EC) als auch für Neuronenensembelcodierung (NC)
- Hinweis für NC: psychophysisch bewertete Stoffe haben ähnliche Neuronenensembelmuster
- Hinweise für EC: 4 verschiedene Arten von Nervenfasern in Chorda tympani nachgewiesen, die jeweils nur auf eine Geschmacksqualität ansprechen; Experiment: Natriumentzug wirkt sich nur auf Antwortverhalten der natriumoptimalen Neuronen aus; Natriumcodierung nach Deprivation und Abnahme der Empfindlichkeit der entsprechenden Neurone auf Zuckerfasern übertragen → Ratten nehmen Salz als Zucker wahr; weiteres Experiment: Medikament Amilorid blockiert Natriumkanäle, eine Nebenwirkung ist, dass damit behandelte Patienten nicht mehr salzig schmecken