

Perception

Jörg Cassens

Data and Process Visualization
SoSe 2017



Inhaltsverzeichnis

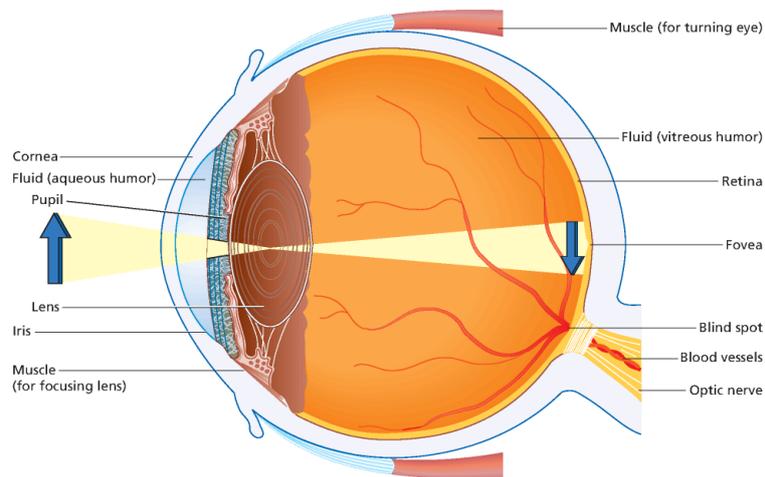
1 Eye	1
2 Perception	4
2.1 Luminosity	4
2.2 Contrast	11
2.3 Colour	14
3 Attention	22
4 Grouping	30
5 Tutorial	36

1 Eye

Das menschliche Auge

- Komplexes Sinnesorgan
- Über die Linse wird das Licht auf die innen liegende Netzhaut projiziert
- Etwa 126 Millionen Sehzellen
 - ca. 120 Millionen Stäbchen, die nur Helligkeit wahrnehmen
 - ca. 6-7 Millionen Zapfen, die jeweils auf blaue, grüne, rote Farbtöne reagieren
- Ca. 8% der Männer, 1% der Frauen sind farbenblind
 - Verschiedene Formen
 - Meist können weniger Farben unterschieden werden
 - Häufigste Form: Rot-Grün-Schwäche

Schema

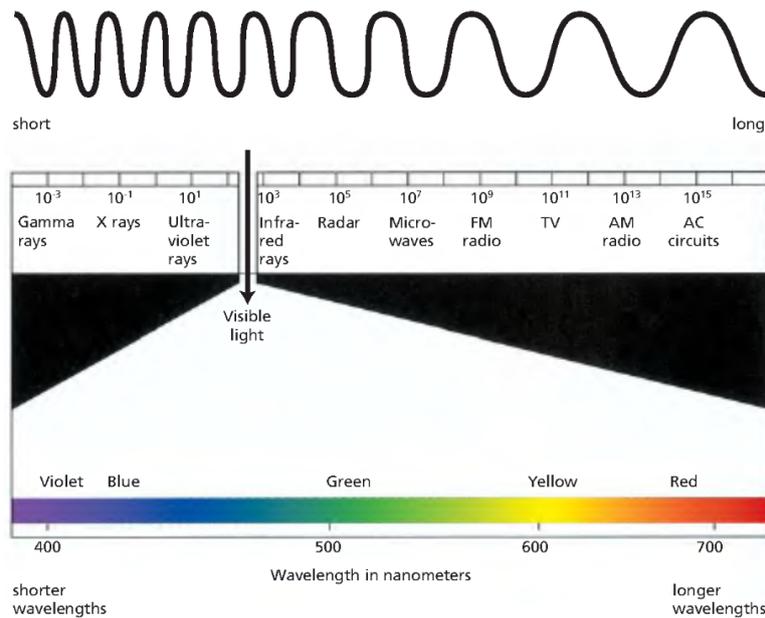


Source: [Zimbardo et al. \(2012\)](#)

Important Components

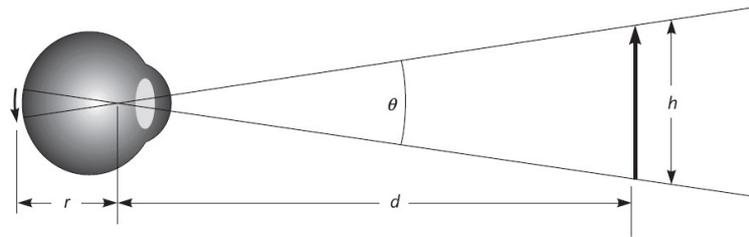
- **Iris:** Reguliert die Menge des einfallenden Lichts
- **Linse:** Fokussiert ein kleines Abbild der Realität auf die Netzhaut
- **Netzhaut:** ist mit Lichtsinneszellen bedeckt die optische Reize (Stäbchen: Helligkeit, Zapfen: Farbe) wahrnehmen.
- **Gelber Fleck:** größte Dichte an Farbrezeptoren (17° des Sichtfeldes)
- **Fovea Centralis:** Bereich des schärfsten Sehens in der Mitte des Gelben Flecks ($1.5-2^\circ$ des Sichtfeldes)
- **Blinder Fleck:** hier verlässt der Sehnerv das Auge

Spectrum



Source: [Zimbardo et al. \(2012\)](#)

Visual Angle of Objects



Source: Ware (2004)

- Der Sehwinkel eines Objekts ist der Winkel unter dem das Objekt wahrgenommen wird
- Faustregel: Daumennagel auf Armlänge entspricht etwa 1°
- Die Fovea Centralis (Bereich höchster Schärfe) ist $1.5-2^\circ$ groß.
- Berechnungsformel: $\theta = 2 \arctan\left(\frac{h}{2d}\right)$

Gesichtsfeld

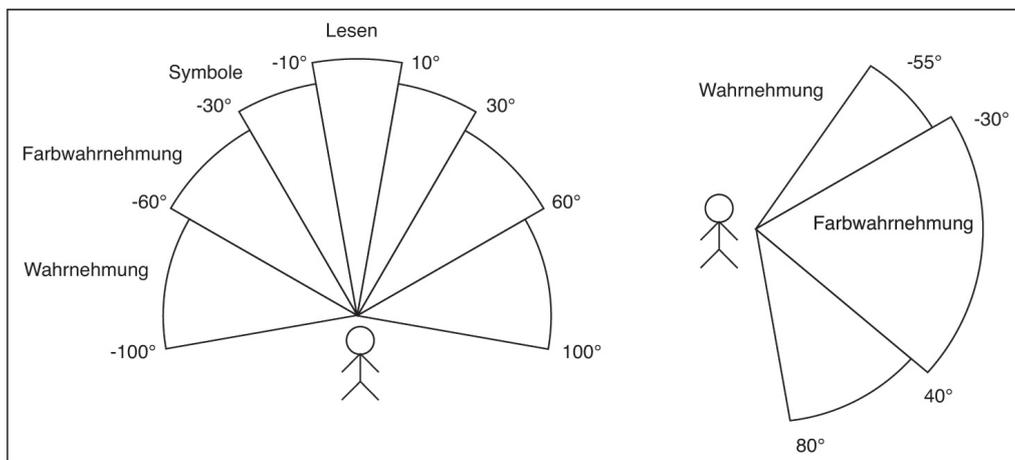


Abbildung 1.1: Sehfeld beim Menschen. Links horizontal, rechts vertikal (nach Herzeg, 1994)

Source: Malaka et al. (2009)

- Höchste Auflösung in der Fovea in der Mitte des Sehfeldes
- Dort finden sich viele Zapfen, aber keine Stäbchen
- Nachts sind wir im Zentrum des Sehfeldes faktisch blind
- In der Peripherie ist das Sehen stark eingeschränkt

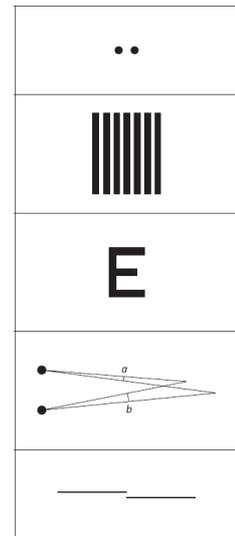
Distribution Rods & Cones

Purves et al. (2001)

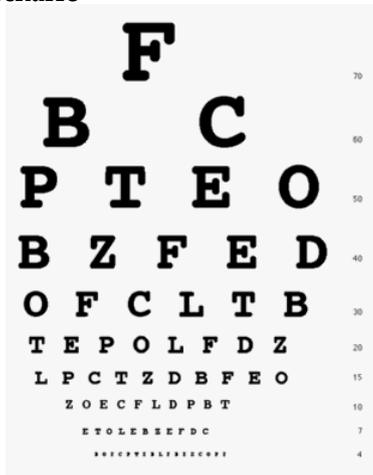
Sehschärfe

Sehschärfe beschreibt, bis wann verschiedene Muster und Objekte noch unterscheidbar sind (Ware, 2004)

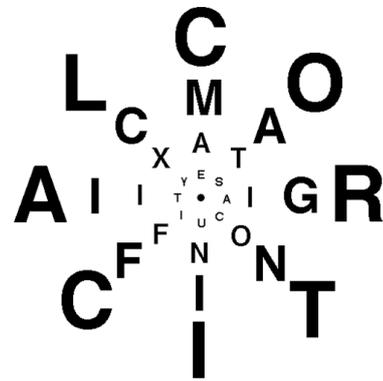
- Punktschärfe: Zwei benachbarte Punkte separat wahrgenommen (1 Bogenminute = $1/60^\circ$)
- Gitterschärfe: Ein Balkenmuster wird als solches wahrgenommen, nicht als graue Fläche (1-2 Bogenminuten)
- Buchstabenschärfe: Ein Buchstabe ist erkennbar (5 Bogenminuten)
- Stereoschärfe: Wahrnehmung von Objekten in räumlicher Tiefe (10 Bogensekunden).
- Vernierschärfe: Fähigkeit zu Bestimmen, ob zwei Liniensegmente kollidieren (10 Bogensekunden)



Buchstabenschärfe



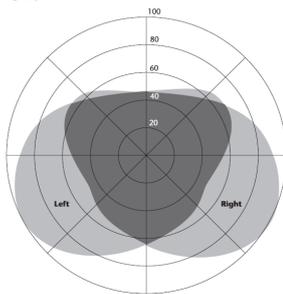
Source: Jänicke (2016)



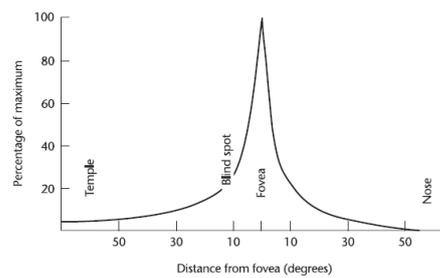
Necessary relative size for readable letters outside focus area (center).

Source: Anstis (1974)

Sichtbares Feld



Source: Ware (2004)

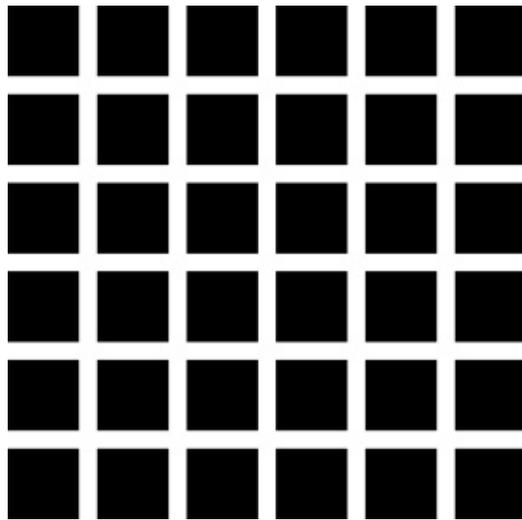


Source: Ware (2004)

- Visual field for a person gazing straight ahead
- Irregular features in the middle caused by facial features (such as the nose)
- Acuity of eye with distance to fovea centralis

2 Perception

2.1 Luminosity



Source: Jänicke (2016)

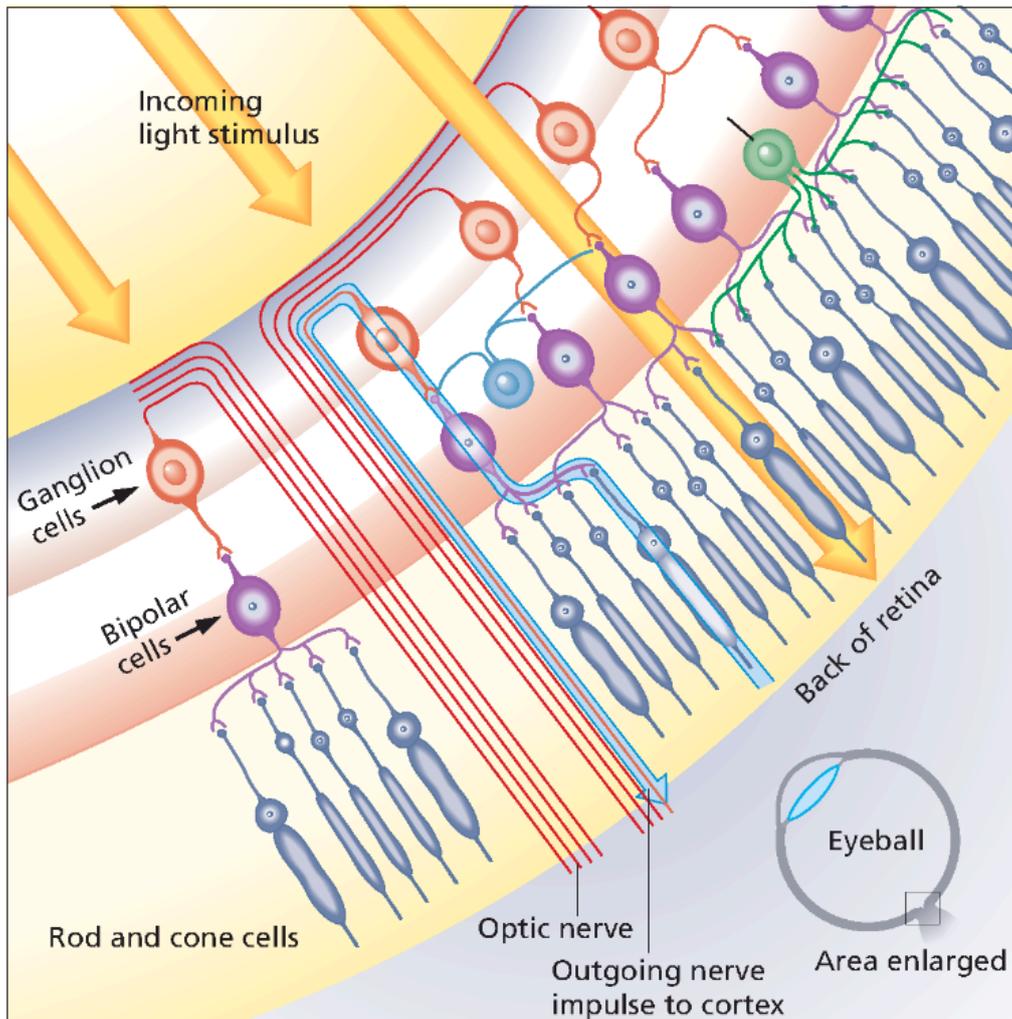
Luminosity Perception

- Retina comprised of receptors and layers of neurons
- Octopuslike neurons at the top are retinal ganglion cells
- These transmit retinal information to the brain
 - 126 Mio. receptors, 1 Mio. ganglion cells
- Receptive field of a cell is the area of photo receptors connected to this cell



Source: Ware (2004)

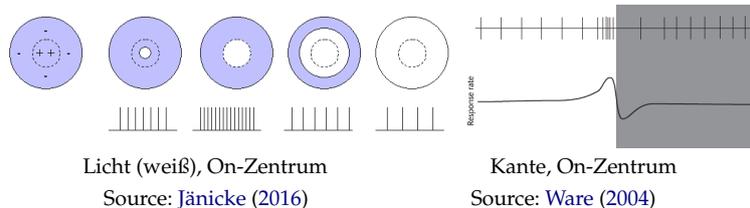
Retina



Source: Zimbardo et al. (2012)

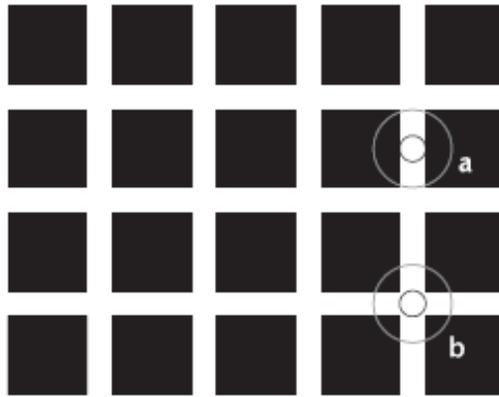
Rezeptives Feld

- Bei Ganglionzellen ist das rezeptive Feld rund
- Das rezeptive Feld wird in ein Zentrum und ein Umfeld unterteilt und man unterscheidet On-Zentrum-Neurone und Off-Zentrum-Neurone
 - On-Zentrum-Neuronen haben ein erregendes Zentrum und ein hemmendes Umfeld
 - Bei Off-Zentrum-Neuronen verhält es sich umgekehrt
- Durch Erregung und Hemmung wird die Feuerrate des Neurons manipuliert



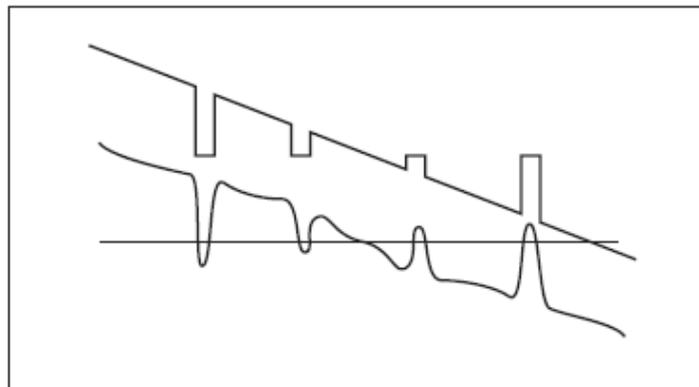
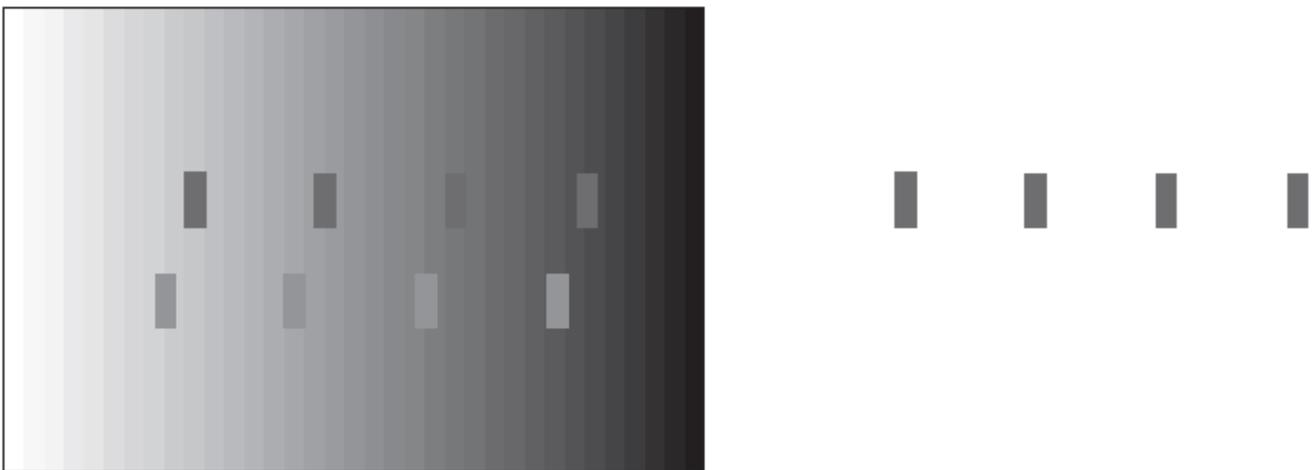
Optische Täuschungen

- Rezeptoren im Auge reagieren auf Differenzen und messen keine exakten numerischen Werte



Source: Ware (2004)

Optische Täuschungen



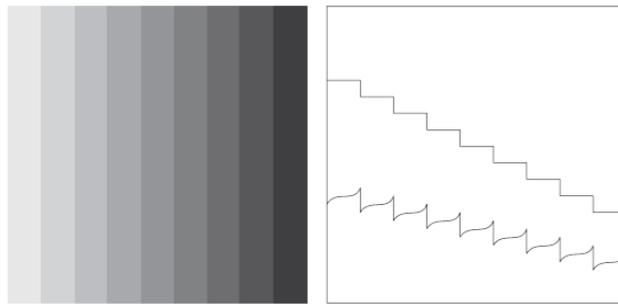
Source: Ware (2004)

Optische Täuschungen

Mit dieser Theorie kann man einige optische Täuschungen erklären

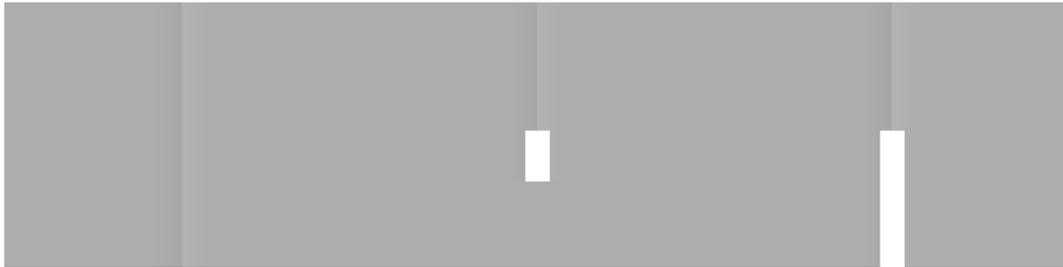
- Hermann Gitter (links): Schwarze Punkte erscheinen an den Schnitten weißer Geraden
- Kontrast Illusion (rechts): Abhängig von der Hintergrundfarbe wird ein und derselbe Grauton unterschiedlich wahrgenommen

Optische Täuschungen



The Chevreul illusion, source: Ware (2004)

Optische Täuschungen



Source: Jänicke (2016)

Optische Täuschungen

- Machsche Streifen: Werden Flächen unterschiedlicher Graufärbung (ohne Gradient) nebeneinander abgebildet, sieht man an den Übergängen Machsche Streifen, d.h. der Kontrast an den Grenzen wird verstärkt
- Cornsweet Illusion: Auf einer einfarbigen Fläche wird eine Kante eingezeichnet die auf der einen Seite dunkel und auf der anderen hell ausläuft – dadurch erscheinen die beiden Flächenstücke in unterschiedlichen Grautönen

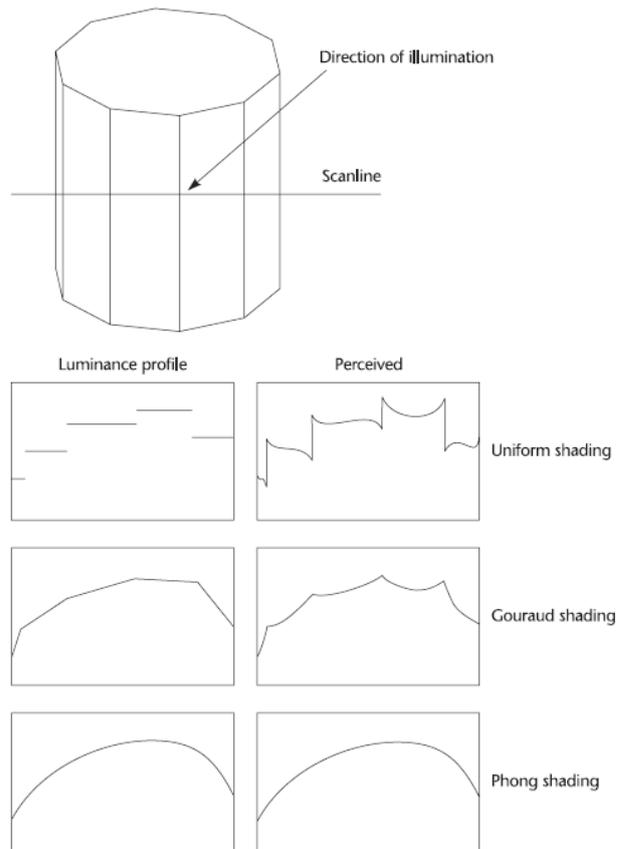
Ablesefehler

- Optische Täuschungen können starken Einfluß auf die Güte von Visualisierungen haben, z.B. wenn Werte in einer Karte in Grautönen kodiert sind
- Hier treten Ablesefehler von bis zu 20% auf

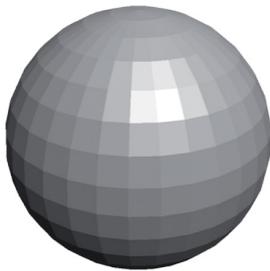


Source: Jänicke (2016)

3D-Modelle



Artefakte treten auch bei der Betrachtung von 3D Objekten auf, wenn vereinfachte Schattierungstechniken (Flächenbasierte Schattierung) verwendet werden.



Source: Malaka et al. (2009)

Source: Ware (2004)

Bewußte Nutzung



Seurat: Bathers at Asnières (nach Ware (2004))

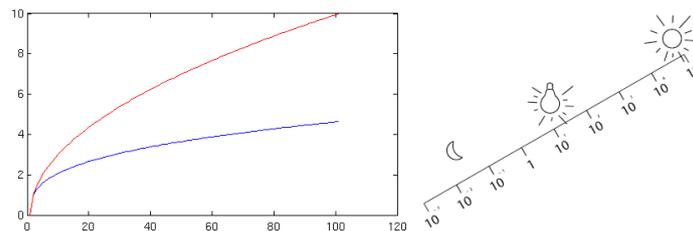
Lichtverhältnisse

- Wahrnehmung von Licht in Form von Differenzen wichtig für Anpassung an unterschiedliche Beleuchtung
- Physikalische Intensität des Lichtes in der Umgebung sehr variabel (helles Sonnenlicht bis schwaches Sternenlicht)
- Menschliches Auge kann sich diesem breiten Spektrum an Lichtverhältnissen gut anpassen
- Zum einen durch Verengung der Pupille und zum anderen durch Änderung der Sensitivität der Photorezeptoren

- Sensitivität der Photorezeptoren wird durch Anzahl aktiver Photopigmente gesteuert
 - Bei viel Licht wird ein Teil gebleicht
 - Bei wenig Licht werden diese wieder regeneriert
- Abgesehen von den kurzen Anpassungsperioden bei Wechsel zwischen hellen und dunklen Räumen nehmen wir die Anpassung kaum wahr
- Veränderung der Lichtverhältnisse um einen Faktor zwei werden kaum wahrgenommen

Subjektive Wahrnehmung

- Zusammenhang zwischen physikalischer Intensität I und wahrgenommener Intensität S kann für Licht in abgedunkelten Räumen gut durch das Stevensche Gesetz beschrieben werden: $S = aI^n$
- Der Wert n hängt von Größe des betrachteten Lichtfeldes ab
- Bei runden Flächen der Größe 5° des Sichtfeldes ist $n = 0.333$, bei Lichtpunkten $n = 0.5$
- Die Normierungskonstante a wird auf 1 gesetzt.



Source: Ware (2004)

Subjektive Wahrnehmung

- Weitere Anpassung durch unterschiedliche Empfindlichkeit für verschiedene Wellenlängen/Farben
- Spektrale Sensitivität $V(\lambda)$ für unterschiedliche Wellenlängen λ in einem Standard der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) festgehalten
- Wahrgenommene Beleuchtung als Integral über das Produkt aus spektraler Sensitivität und Lichtverteilung $E(\lambda)$:

$$L = \int_{400}^{700} V_{\lambda} E_{\lambda} d\lambda$$

- Sensitivität für Blau (ca. 450 nm) auf dem Bildschirm beträgt nur 4% der Sensitivität von grün (ca. 560 nm)
- Von Vorteil, wenn man lange große blaue Flächen (Himmel) betrachtet (weniger anstrengend), aber von Nachteil in Grafiken und formatiertem Text (Chromatische Aberration)

Chromatische Aberration

Den meisten Menschen erscheint rot
näher als blau.
Manchen Menschen erscheint
dies jedoch genau anders herum.

Chromatische Aberration

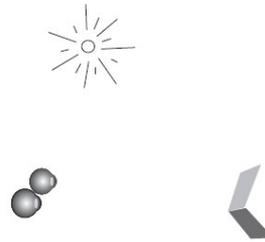
- Chromatische Aberration: Licht unterschiedlicher Wellenlänge wird unterschiedlich stark gebrochen und wird dadurch in unterschiedlicher Tiefe fokussiert
 - Kameraoptiken sind der Regel beschichtet, um diesen Effekt zu minimieren
 - Das menschliche Auge ist nicht so beschichtet
 - Effekte
 - Betrachtet man roten oder weißen Text auf schwarzem Grund, erscheint nebenstehender blauer Text unleserlich
 - Wird gleichzeitig blauer und roter Text auf schwarzem Grund dargestellt, erscheint dieser oft unterschiedlich tief
- (Etwa 60% sehen rot näher, 30% blau näher, 10% keinen Unterschied (Jänicke, 2016)).

Source: Jänicke (2016)

3D-Modelle

Weitere Anpassung an die korrekte Wahrnehmung von beleuchteten Oberflächen sind nötig, damit diese richtig interpretiert werden können.

Bei der Einschätzung der Beleuchtungssituation wird die Position der Lichtquelle(n) und die Orientierung der Objekte berücksichtigt.



Source: Jänicke (2016)

2.2 Contrast

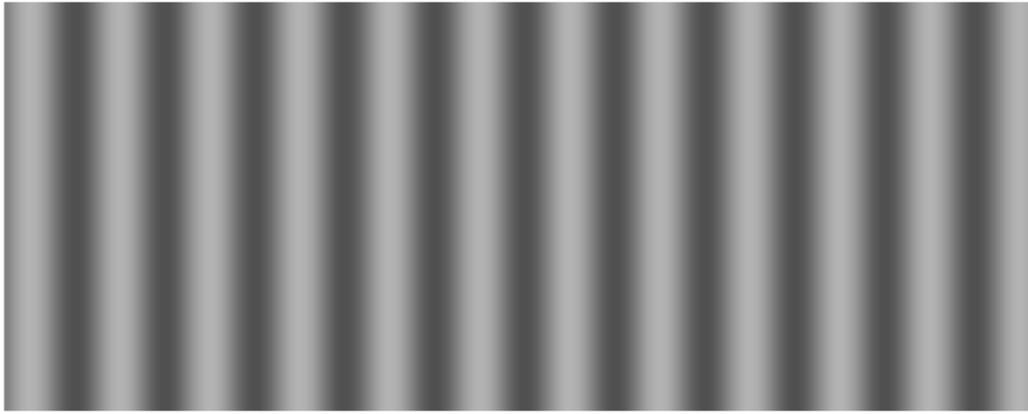
Wahrnehmung von Grautönen

- Ein weiterer wichtiger Aspekt der visuellen Wahrnehmung ist die wahrgenommene Distanz zwischen in der Szene enthaltenen Grautönen und ihre Unterscheidbarkeit
- Bei der subjektiven Wahrnehmung von Grautönen gilt für die kleinste wahrnehmbare Intensitätsdifferenz nach dem Weberschen Gesetz, $\frac{\Delta I}{I} = 0.005$
- D.h. eine Veränderung von 0.5% kann wahrgenommen werden
- Die Fähigkeit Kontraste wahrzunehmen wird mit Hilfe eines Sinusmusters untersucht
- Kontrast definiert als $C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$, L_{max} , L_{min} minimale/maximale Helligkeit

Source: Ware (2004)

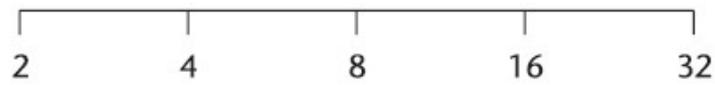
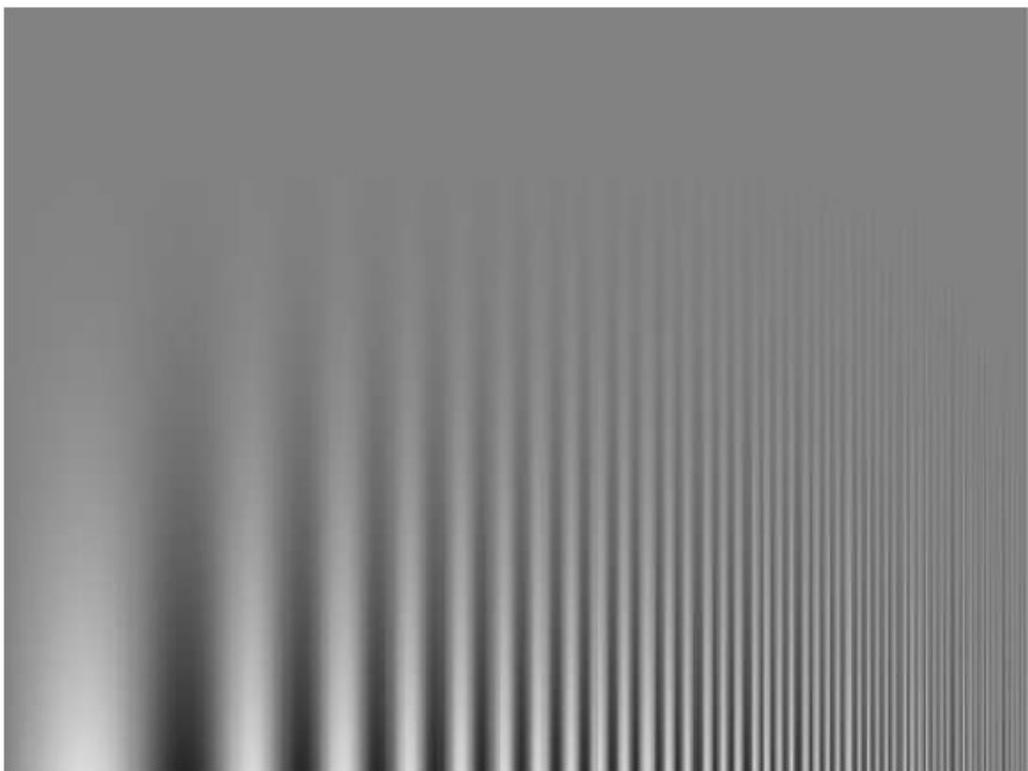
Kontrastwahrnehmung

- Es können folgende Parameter verändert werden:
 - Räumliche Frequenz (Anzahl der Streifen pro Grad des visuellen Feldes)
 - Orientierung
 - Kontrast (Amplitude der Sinusfunktion)
 - Phase (Seitliche Verschiebung)
 - Größe des überdeckten Sichtfeldes



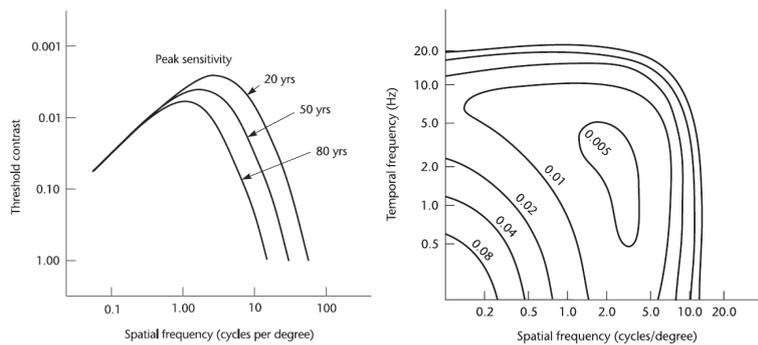
Source: Ware (2004)

Spatial Contrast



Source: Ware (2004)

Spatial Contrast



Left: Contrast sensitivity varies with spatial frequency. Here: Age degradation.

Right: Contour map of the human spatiotemporal threshold surface, each contour represents the contrast at which a particular combination of spatial and temporal frequencies can be detected.

Source: Ware (2004)

Visueller Stress

Visueller Stress kann durch verschiedene visuelle Stimuli ausgelöst werden, die in Raum oder Zeit Muster bilden.

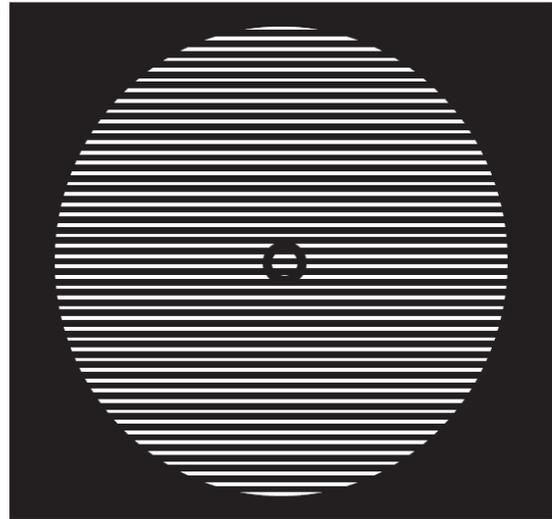
Beispiele

- Streifenmuster
- Schnelles wiederholtes Aufleuchten von grellen Lichtern
- Gleichmäßig bewegte Muster

Symptome

- Übelkeit
- Probleme beim Lesen von Text (ähnliches Muster)
- Evtl. epileptische Anfälle

Warning! This pattern can cause seizures in some individuals.
If it causes you to feel ill effects, avoid looking at it.

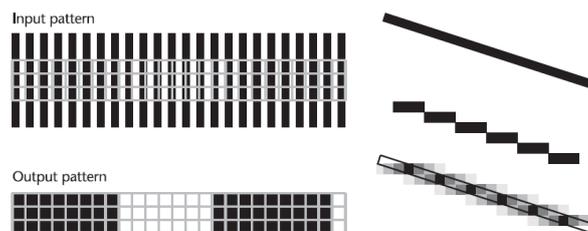


Source: Ware (2004)

Bildschirme

- Ein Bildschirm mit einer üblichen (nicht high-dpi) Auflösung hat in etwa 35 Pixel/cm (72 ppi)
- Entspricht 40 Zyklen/Deg bei üblichem Abstand
- In der Fovea besitzt der Mensch etwa 180 visuelle Rezeptoren/Deg
 - Durch Kombination mehrere Sinneszellen können Menschen teilweise noch feinere Details wahrnehmen
- Bei gleichbleibendem Abstand kommen also ab einer Auflösung von etwa 150 Pixel/cm (330 ppi) ein Pixel auf einen Rezeptor (Marketing: "Retina-Display")
 - Wegen des geringeren Abstandes bei VR-HMD sind hier höhere Auflösungen zu bevorzugen (Oculus-founder Palmer Luckey: "I think some of the speculation is you need about 8K per eye in our current field of view", [arstechnica](#))
- Antialiasing kann helfen Probleme einer (zu) niedrigen Auflösung zu überwinden.

Antialiasing & Drucker

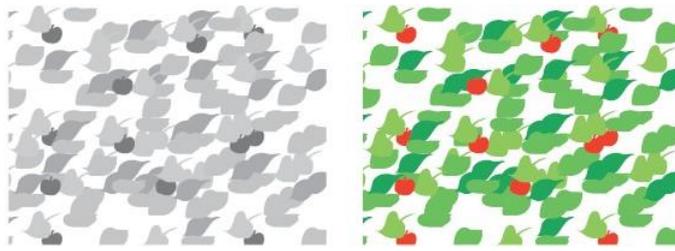


Source: Ware (2004)

- Drucker nutzen zwar gern 1200 dpi (460 Punkte/cm), dies dient jedoch vor allem der Vermeidung von Aliasing Effekten und der korrekten Darstellung von Graustufen
 - Reduktion der Auflösung um mindestens Faktor 10

2.3 Colour

Farbwahrnehmung



Finding the cherries among the leaves is much easier if we have color vision

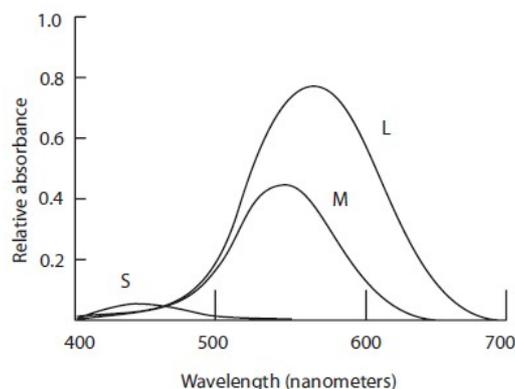
Source: Ware (2004)

Farbwahrnehmung

- Farbwahrnehmung nur eingeschränkt relevant im täglichen Leben, da zum Beispiel Farbenblinde das Defizit oft jahrelang selbst nicht bemerken
- Andere Charakteristika von Objekten wie die Form, die Lage im Raum oder dessen Bewegungsrichtung sind wesentlich wichtiger und können ohne Farbe wahrgenommen werden
- Farbsicht erleichtert einige Aufgaben jedoch immens:
 - Sie hilft Tarnungen zu durchschauen
 - Sie hilft Objekte in einer charakteristischen Farbe schnell zu identifizieren
 - Sie hilft Objekteigenschaften zu bestimmen, wie zum Beispiel ob ein Apfel reif oder Fleisch frisch ist
- Daher sollte Farbe eher als Attribut eines Objekts betrachtet werden, statt als charakteristische Eigenschaft

- Der Mensch besitzt drei Typen von Zapfen, jeder hat seine maximale Sensitivität bei einer anderen Wellenlänge
 - S(hort) = blau, M(edium) = grün und L(ong) = rot
 - Hühner haben z.B. 12 Typen
- Die Sensitivität der Zapfen ist sehr unterschiedlich
- Da es nur drei verschiedene Zapfen gibt, die durch unterschiedlich starke Stimulation alle Farben wahrnehmen können, reicht ein Farbsystem bestehend aus drei Grundtönen um alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben darzustellen (→ Dreifarbenlehre)
- 8% der Männer und 1% der Frauen weisen eine Farbschwäche auf
- Dabei handelt es sich häufig um das Fehlen der Zapfen für die Wahrnehmung von grün oder rot

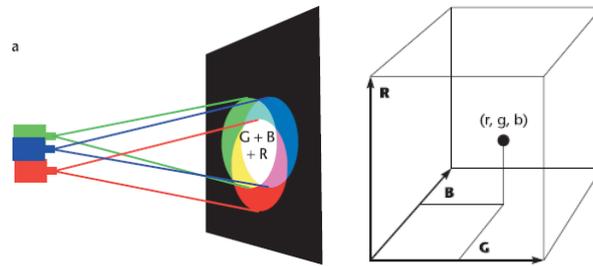
Farbempfindlichkeit



Source: Ware (2004)

Additive Farbmischung

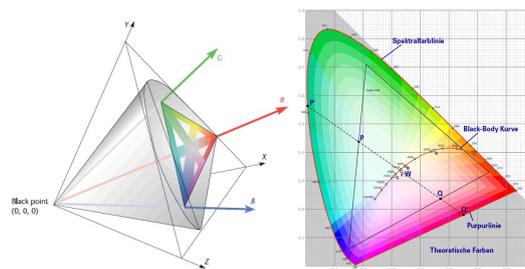
- Man kann eine beliebige (Licht)Farbe C mittels der Grundfarben Rot (R), Grün (G) und Blau (B) als $C = rR + gG + bB$ ausdrücken (Additive Farbmischung)



Source: Ware (2004)

Farbmischung

- System der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) verwendet drei abstrakte Primärfarben X, Y, Z
- Wahrnehmbare Farben sind als graues Volumen dargestellt
- Die Messungen stammen von vor 1931
- Farben, die durch drei farbige Lichter rot, grün und blau erzeugt werden können, sind durch die eingezeichnete Pyramide gekennzeichnet



Source: Ware (2004), Jänicke (2016)

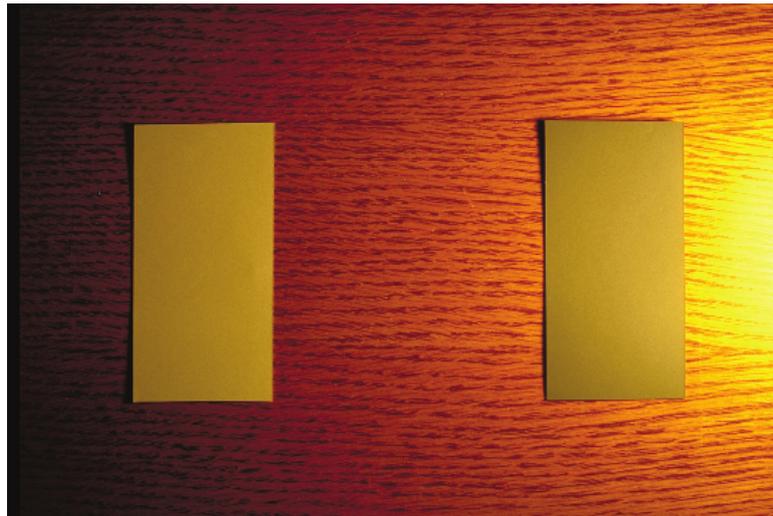
CIE Normfarbtafel

- Wenn zwei farbige Lichtquellen als Punkte im Diagramm dargestellt werden, liegen die Farben die als Mischung dieser beiden Lichtquellen erzeugt werden können auf einer Linie
- Alle Farben innerhalb eines Dreiecks, dessen Eckpunkte drei farbige Lichtquellen repräsentiert, können mit Hilfe dieser Lichtquellen erzeugt werden
- Die hufeisenförmige Spektralfarblinie enthält alle Farben mit den höchsten Sättigungsgraden in den einzelnen Farbtönen – Man sieht sie wenn man Licht betrachtet, dass nur aus einer Wellenlänge besteht
- Die Purpurlinie verbindet die beiden Enden der Spektralfarblinie
- Der Weißpunkt hat die Koordinaten $x = 0.333$ und $y = 0.333$

CIE Normfarbtafel

- Auf der Verbindungslinie zwischen Weißpunkt und Spektralfarbe ändert sich der Farbton nicht
- Komplementärfarben findet man entlang der Verbindungslinie durch den Weißpunkt
- Gleichmäßige Farbräume geben nur eine ungefähre Schätzung der tatsächlich wahrgenommenen Differenzen wieder, da die Wahrnehmung durch viele Außenfaktoren beeinflusst wird:
 - Kontrasteffekte (Hintergrundfarbe vs. Objektfarbe)
 - Größe der Farbflächen

Kontext



Source: Ware (2004)

Farbbenennung

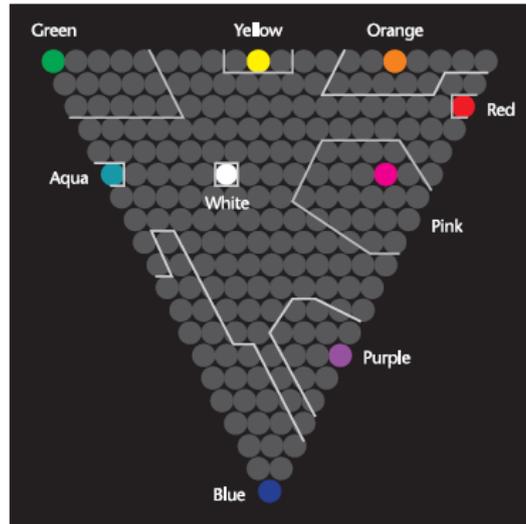


Source: Jänicke (2016)

Farbempfindung I

- Einige empirische Studien zur Farbempfindung
- Nur acht Farben und weiß wurden von mind. 75% der Teilnehmer gleich benannt. Diesen werden leicht erinnert
 - Wichtig wenn Farben als Kategorien verwendet werden sollen
- Das Rot am Monitor wird oft als Orange wahrgenommen
 - wahres Rot hat einen kleinen Blauanteil
- Reines Gelb kann sehr exakt bestimmt werden (+/- 2 nm)
- Bei Grün gibt es zwei Modellwerte (2/3 für 514 nm, 1/3 bei 525 nm – eher türkis)
- Die Größe der Regionen mit gleichem Farbnamen hat wenig Aussagekraft, da dies stark vom Hintergrund abhängt
- Dunkles Gelb wird als Braun wahrgenommen

Farbempfindung II



Source: Ware (2004)

Kontext

- Abhängig von vielen äußeren Faktoren können Farben sehr unterschiedlich erscheinen
- Soll sicher gestellt werden soll, dass eine Farbe in einem bestimmten Ton wahrgenommen wird, müssen diese äußeren Faktoren eingerechnet werden
- Entweder man passt also die äußeren Faktoren einem Standard an oder die Farbe den äußeren Faktoren
- Ähnlich der Anpassung an verschiedene Helligkeiten, kann sich das Auge auch an verschiedene Beleuchtungsfarben anpassen
- Wird ein Raum z.B. mit blauem Licht beleuchtet passen sich die Photorezeptoren an und reagieren weniger sensitiv auf blaues Licht, so dass Farben konstant wahrgenommen werden können

Kontext

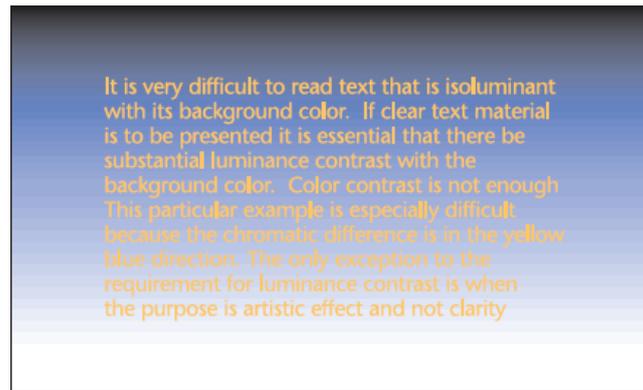
- Ähnliche Effekte kann man beim Tragen von farbigen Sonnenbrillen beobachten
- Ähnlich der Kontrastillusion für Graustufen haben auch Farben Wechselwirkungen, und je nach Hintergrund können sie verschieden wahrgenommen werden
- Farben werden häufig mit zusätzlichen Adjektiven wie intensiv, leuchtend, fahl oder matt beschrieben
- Diese Eigenschaften spiegeln sich in der Sättigung des Farbtons wieder



A color contrast illusion. The X pattern is identical on both sides, but it seems bluer on the red background and pinker on the blue background.

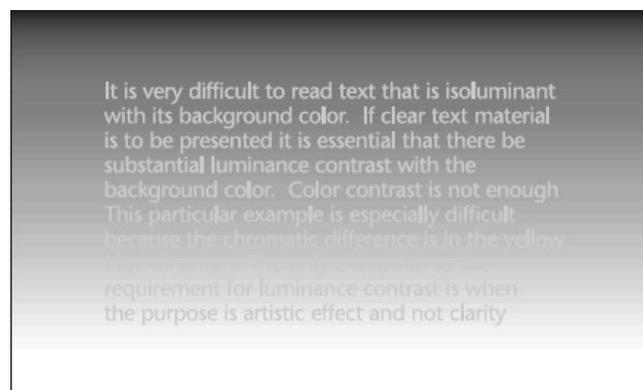
Source: Ware (2004)

Isoluminanz



Source: Ware (2004)

Isoluminanz



Source: Ware (2004)

Isoluminanz

- Isoluminanz bedeutet, dass sich zwei Farben lediglich in ihrem Farbton unterscheiden, nicht in ihrer Helligkeit
- Farben gleicher Helligkeit erscheinen seltsam nebeneinander und Grenzen sind schwer zu erkennen
 - Bei Text auf farbigem Grund sollte man Isoluminanz also vermeiden



Henri Matisse (Jänicke, 2016)

Formwahrnehmung

Da Formen nur über Helligkeitswerte verarbeitet werden, stört es nicht, wenn Objekte in "falschen" Farben gemalt werden, so lange die Helligkeit stimmt.



André Derain
Source: Jänicke (2016)

Farbwahldialoge

- In vielen Anwendungen muss der Benutzer die Möglichkeit haben selber Farben zu spezifizieren
- Dies kann mittels Farbnamen, Farbpaletten oder eines Kontrollmenüs zur Eingabe eines Punktes in 3D geschehen
- Die meiste Freiheit bieten Kontrollmenüs
- Da die Spezifikation einer Farbe mittels RGB Werten für die meisten Menschen eher schwierig ist, werden häufig Menüs verwendet die die Kontrollparameter in Farbton (hue), Sättigung (saturation) und Hellwert (value) aufteilen (HSV Modell)
- Keines der Modelle ist perfekt und eine optimale Darstellung bisher noch nicht gefunden

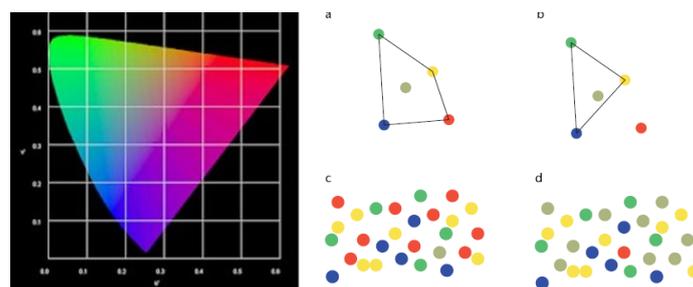
Farbkodierung von Objekten

Bei der Verwendung von Farbe zur Unterscheidung von Merkmalen müssen einige Punkte beachtet werden:

- Unterscheidbarkeit
- Eindeutige Farbtöne
- Kontrast zum Hintergrund
- Farbschwäche
- Anzahl
- Größe der Farbfläche
- Konventionen

Farbkodierung von Objekten

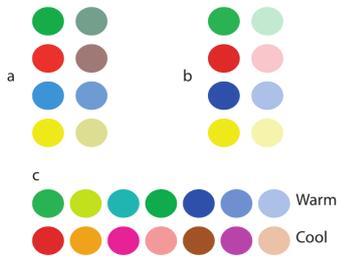
- **Unterscheidbarkeit:** Die Farben sollen leicht voneinander zu unterscheiden sein
 - Wenn es darum geht ein Objekt einer bestimmten Farbe schnell zu finden, sollte diese außerhalb der konvexen Hülle der anderen Farben liegen



Source: Jänicke (2016); Ware (2004)

Farbkodierung von Objekten

- **Eindeutige Farbtöne:** Gegenfarben haben in den meisten Kulturen und Sprachen einen eigenen spezifischen Namen und werden leicht erkannt
 - Zu bevorzugen, wenn nur wenige Farben benötigt werden
 - Wenn möglich nicht mehrere Farben aus der gleichen Farbfamilie verwenden
 - Gegenfarben: Blau-Gelb, Rot-Grün, Schwarz-Weiß



Families of colors: (a) Pairs related by hue, family members differ in saturation. (b) Pairs related by hue, family members differ in saturation and lightness. (c) A family of warm hues and a family of cool hues.

Source: Ware (2004)

Farbkodierung von Objekten

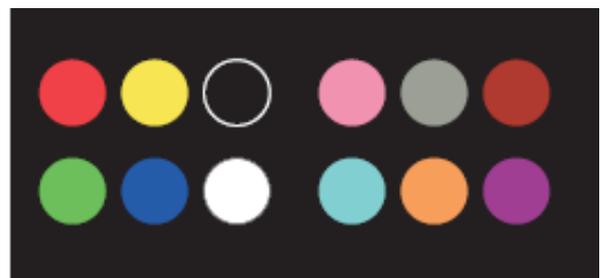
- **Kontrast zum Hintergrund:** Es muss beachtet werden, dass Farben auf unterschiedlichem Hintergrund unterschiedlich wirken können
 - Wechselwirkungen können durch eine einheitliche Kontur (z.B. schwarz oder weiß) verkleinert werden
 - Isoluminanz zwischen Objekt und Hintergrund ist zu vermeiden
- **Farbschwäche:** Da es relativ viele Menschen mit Farbschwäche gibt sollten Farbkodierung basierend auf rot-grün Kontrasten vermieden werden
- **Anzahl:** Nur 5 bis 10 Farben können schnell unterschieden werden

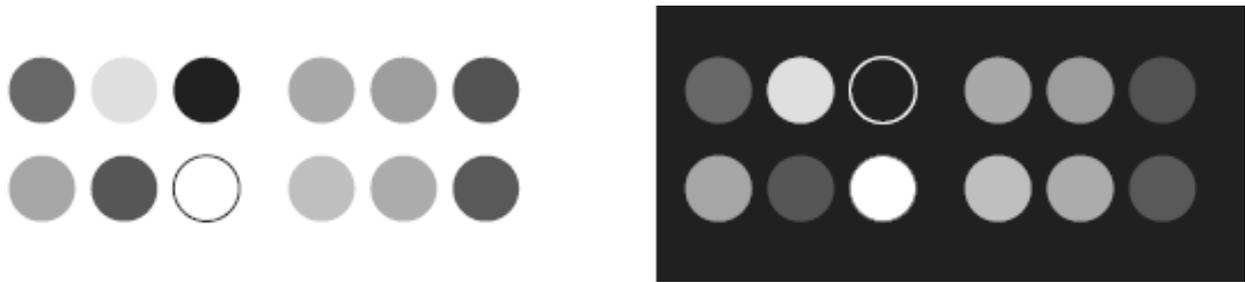
Farbkodierung von Objekten

- **Größe der Farbfläche:** Die Größe der farblich kodierten Objekte sollte nicht zu klein sein, da sie sonst nicht unterschieden werden können.
 - Allgemein gilt: Für kleine Farbflächen sollten stark gesättigte und stark unterschiedliche Farben verwendet werden, für große Flächen eher Farben mit niedrigerer Sättigung und geringerem Abstand
 - Bei farbig hinterlegtem Text sollte eine helle Farbe gewählt werden
- **Konventionen:** Einige Farben haben bestimmte Bedeutungen
 - Rot = heiß oder Gefahr – Blau = kalt – Grün = Leben
 - Man beachte: Andere Länder, andere Sitten!
 - * z.B. in China gilt rot = Leben oder Glück und grün = Tod

Empfehlung

Folgende Farben werden für die Kodierung empfohlen: Rot, Grün, Gelb, Blau, Schwarz, Weiß, Pink, Cyan, Grau, Orange, Braun, Lila





Source: Ware (2004)

Farbschwäche

Diese Darstellung soll zeigen, wie Farben von Personen mit Farbschwäche wahrgenommen werden

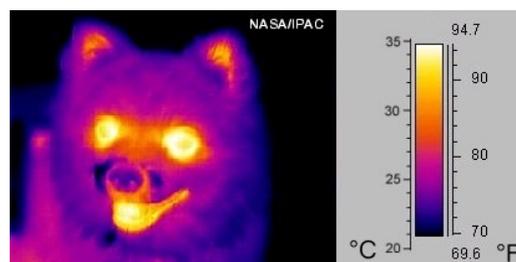


Source: Yau (2013)

Farbreihen

- Zur farbigen Darstellung von kontinuierlichen Werten werden häufig Farbreihen (color maps) verwendet, die jedem Wert eineindeutig eine Farbe zuordnen
- In der Falschfarbendarstellung werden gezielt Farben verwendet, die nicht dem natürlichen Farbeindruck entsprechen, z.B. blaues Pferd
- Anstatt der Grauwertdarstellung von Skalarwerten können Falschfarben eingesetzt werden, die den einzelnen Grauwerten unterschiedliche Farben zuordnen
- Fällt leichter, Muster zu erkennen und Werte abzulesen
- In den Naturwissenschaften wird häufig die Regenbogenfarbskala verwendet. Problem hierbei: Es gibt keine natürliche Ordnung für die enthaltenen Farben
- Ein weiteres Beispiel ist die Schwarzkörperstrahlung, die gewöhnlich bei Wärmebildaufnahmen verwendet wird
- Skalen sollten passen Menschen mit Farbschwäche

Farbskalen



Source: Jänicke (2016)

3 Attention

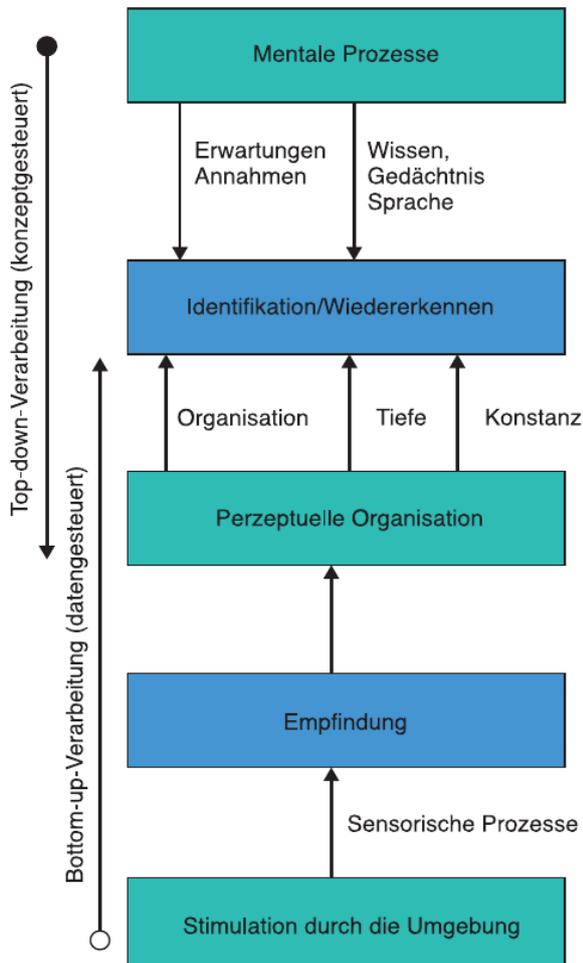
Forschungsgebiete I

- Die Verarbeitung von visueller Information wird mit vielfältigen Methoden untersucht
- **Psychophysik:** Übertragung physikalischer Messprinzipien auf die menschliche Wahrnehmung, etwa zum Festlegen der kleinsten wahrnehmbaren Helligkeitsunterschiede
 - Messwerte: Sichtbarkeitsgrenzen, Fehlerraten
- **Kognitionspsychologie:** Betrachtung des Gehirns als Verband von Zentren mit festen Aufgaben
 - Diese Zentren werden häufig mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) untersucht
 - Messwerte: Reaktionszeiten, aktive Hirnregionen

Forschungsgebiete II

- **Strukturelle Analyse:** Handlungen von Versuchspersonen gepaart mit Interviews zu Wahrnehmung und Verständnis sollen Hypothesen zu Vorgängen im Gehirn liefern
 - Messwerte: Bewertung auf Skala, Antworten auf Fragenkatalog, Anforderungsliste
- **Interkulturelle Studien:** Wenn gewisse Aspekte der Wahrnehmung für alle Menschen gleich sein sollen, kann man dies durch interkulturelle Studien verifizieren
 - Durch die globalen Medien, werden solche Studien zunehmend unmöglich
- **Studien an Kindern:** Da Kinder noch keine/wenig Erfahrung mit Visualisierungen haben, geben ihre Reaktionen auf einfache Muster Aufschluss über grundlegende Verarbeitungsprozesse.

Verarbeitungsprozesse



- Verarbeitung visueller Information komplexer Prozess
- Man unterscheidet grob drei Stufen der Verarbeitung:
 1. Sensorische Prozesse
 - Parallele Erfassung grundlegender Merkmale
 2. Perzeptuelle Organisation
 - Mustererkennung
 3. Aufgabenorientierte Verarbeitung
 - Identifikation
 - Wiedererkennen

Source: Ware (2004), Gerrig and Zimbardo (2008, Graphik)

Stufe 1: Sensorische Prozesse

- Milliarden Neuronen erfassen gleichzeitig unterschiedliche Merkmale des visuellen Feldes, z.B. Helligkeit, Farbe und Orientierung von Kanten
- Diese initiale Verarbeitung ist zum größten Teil unabhängig davon, worauf wir unsere Aufmerksamkeit richten
- Wichtige Merkmale:
 - Schnelle parallele Verarbeitung
 - Extraktion fundamentaler Merkmale
 - Information wird nur kurz gespeichert
 - Datenbasiertes bottom-up Modell der Verarbeitung
- In der ersten Stufe kann sehr viel visuelle Information parallel verarbeitet werden
- Kann genutzt werden um die Aufmerksamkeit zu lenken; bestimmte Aspekte hervorzuheben
- So kann man den Betrachter dabei unterstützen wichtige Informationen schnell zu erkennen.

Stufe 2: Perzeptuelle Organisation

- Schätzungen der wahrscheinlichen Größe, Form, Bewegung, Entfernung und Ausrichtung eines Objekts
- Schätzungen basieren auf mentalen Berechnungen, die Vorwissen mit aktueller Evidenz aus den Sinnen sowie dem Reiz in seinem Wahrnehmungskontext kombinieren
- Synthese einfacher sensorischer Merkmale wie beispielsweise Farben, Kanten und Linien zu einem Perzept eines Objekts
- Wichtige Merkmale:
 - Langsame serielle Verarbeitung
 - Verwendung von Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis
 - Wechsel zwischen Merkmalsverarbeitung (bottom-up) und Aufmerksamkeit (top-down)
 - Symbole erhalten komplexere Bedeutungen
 - Verschiedene Verarbeitungspfade
 - * Objekterkennung – what-system
 - * Bewegungssteuerung – action-system, where-system

Stufe 3: Aufgabenorientierte Verarbeitung

- Weist den Perzepten Bedeutung zu
- Runde Objekte “werden” zu Fußbällen, Münzen, Uhren, Orangen oder Monden; Menschen werden als weiblich oder männlich identifiziert, Freund/Feind, Verwandter/Star
- Die Aufmerksamkeit wird gezielt auf relevant Aspekte des visuellen Feldes gerichtet und wenige relevante Objekte werden im Kurzzeitgedächtnis gespeichert
- Wichtige Merkmale:
 - Langsame serielle Verarbeitung
 - Verwendung von Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis
 - Top-down Verarbeitung
 - Verarbeitung richtet sich nach der Fragestellung
- Verschiedene Objekte in einer Visualisierung sollten deutlich unterscheidbar sein, um diesen Prozess zu beschleunigen (vergleiche “Wo ist Walter?”)

Wo ist Walter?



Source: Jänicke (2016)

Präattentive Verarbeitung

a 85689726984689762689764358922659865986554897689269898
02462996874026557627986789045679232769285460986772098
90834579802790759047098279085790847729087590827908754
98709856749068975786259845690243790472190790709811450
85689726984689762689764458922659865986554897689269898

b 85689726984689762689764**3**58922659865986554897689269898
024629968740265576279867890456792**3**2769285460986772098
908**3**4579802790759047098279085790847729087590827908754
9870985674906897578625984569024**3**790472190790709811450
85689726984689762689764458922659865986554897689269898

Counting how many "3" are in a text.

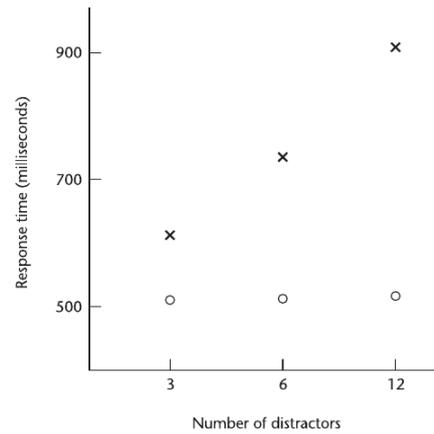
Source: Ware (2004)

Präattentive Verarbeitung: Definition

Präattentive Verarbeitung: Die Verarbeitung sensorischer Informationen, die einer Aufmerksamkeitszuwendung auf spezifische Objekte vorausgeht (Gerrig and Zimbardo, 2008).

- Die erste Stufe der Verarbeitung visueller Information erfasst das gesamte visuelle Feld
- Dieser Schritt wird präattentiv genannt, da in ihm Informationen erfasst werden noch bevor Aufmerksamkeit (attention) darauf gerichtet wird
- Ob ein Reiz präattentiv ist wird experimentell bestimmt, indem man die Zeit misst, die Testpersonen brauchen um den Zielreiz in einer Menge von Distraktoren zu finden

Präattentive Verarbeitung: Ermittlung



Preattentive processing times independent of number of distractors.

Source: Ware (2004)

Präattentive Verarbeitung: Kategorien

- **Form**

- Line orientation
- Line length
- Line width
- Line collinearity
- Size
- Curvature
- Spatial grouping
- Blur
- Added marks
- Numerosity

- **Colour**

- Hue
- Intensity

- **Motion**

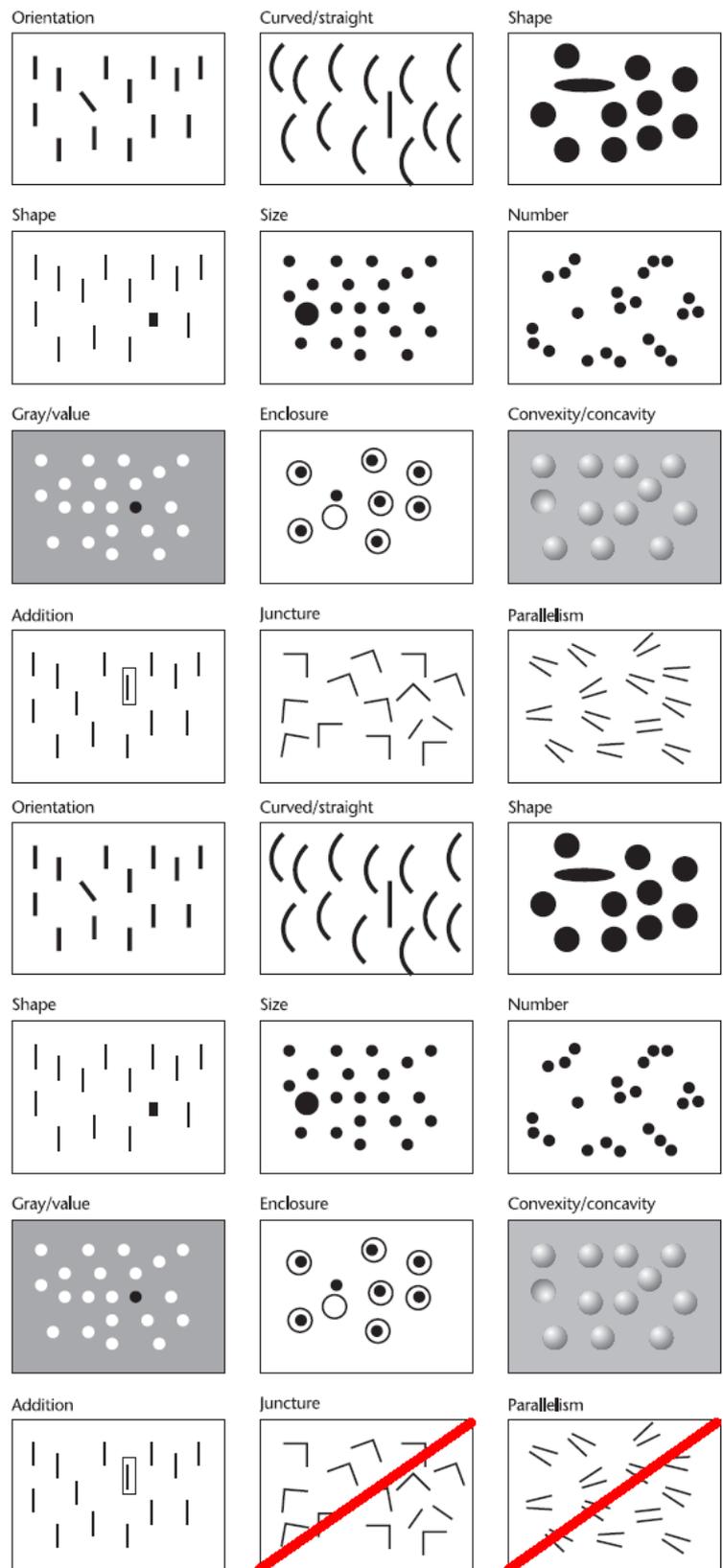
- Flicker
- Direction of motion

- **Spatial Position**

- 2D position
- Stereoscopic depth
- Convex/concave shape from shading

Ware (2004)

Präattentive Wahrnehmung: Beispiele



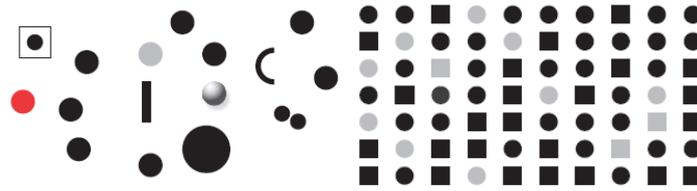
Source: Ware (2004)

- Form:
 - Ausrichtung
 - Größe
 - Krümmung
 - Länge & Breite von Linien
 - Anzahl
 - Annotationen
- Farbe:
 - Farbton, Intensität
- Räumliche Position:
 - Konkav, Konvex
 - Einschluß
- Nicht Parallelität
- Nicht Verbindung

Aufmerksamkeitslenkung

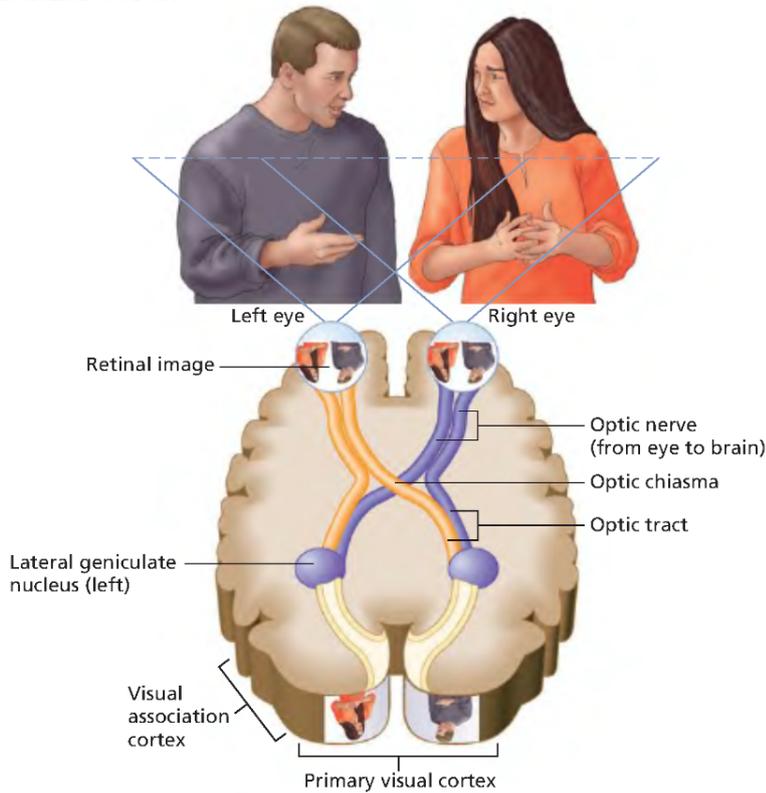
- Präattentive Wahrnehmung kann Aufmerksamkeit leiten
- Werden zu viele unterschiedliche Reize verwendet, stehen die einzelnen Reize weniger hervor
- Wichtig sind hierbei: Unterschied zwischen Zielreiz und Distraktor und Unterschiede zwischen den Distraktoren

- Kombinationen mehrerer Attribute sind im Allgemeinen ebenfalls nicht präattentiv (graue Quadrate)



Source: Ware (2004)

Visueller Cortex

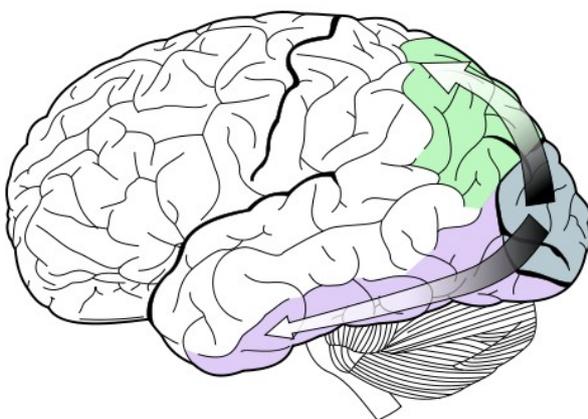


- Vom Auge entlang der Sehnerven (2, je 1 Mio. Zellen) zum Gehirn weitergeleitet
- Weiterverarbeitung in mehreren Schritten im visuellen Kortex (Milliarden Zellen)

Zimbardo et al. (2012)

- Spezialisierte Zellen, die auf bestimmte grundlegende visuelle Eigenschaften wie Orientierung, Größe, Bewegung und Farbeigenschaften reagieren

Two-Streams-Theory



Source: Ware (2004)

Nach der "Two-Streams Theorie" wird die optische Information danach in zwei Systemen weiterverarbeitet, dem dorsalen "Wo-System" und dem ventralen "Was-System"

- Das dorsale System (grün) ist u.a. für die Wahrnehmung von Bewegung, Tiefe, räumlicher Organisation und für die Planung von Handlungen (z.B. Greifen) verantwortlich

- Das ventrale System (lila) gleicht die aufgenommene Information mit vorhandenem Wissen ab und ordnet das Gesehene ein – es ist u.a. verantwortlich für Wahrnehmung von Objekten, Formen und Gesichtern

Informationsverarbeitung

- Nach Schädigung des dorsalen Systems können Menschen noch die einzelnen Bestandteile eines Objekts wahrnehmen, sie aber nicht mehr richtig anordnen
- Vorhandenes Wissen wird eingesetzt, um die Bestandteile eines Objektes diesem zuzuordnen
- Thatcher-Effekt: Wir sind gewohnt Gesichter richtig herum zu sehen, deshalb nehmen wir es kaum wahr, wenn die einzelnen Bestandteile in einem auf dem Kopf stehenden Bild falsch herum eingefügt sind



Gesichtserkennung



Source: Jänicke (2016)

Aufmerksamkeit Lenken

- Um die Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte zu lenken und alle Bereiche des Sichtfeldes scharf zu sehen, muss sich das Auge bewegen und verschiedene Aspekte scharfstellen
- Man unterscheidet drei Formen der Augenbewegung:
 - Sakkaden: Das Auge führt 2-5 ruckartige Bewegungen pro Sekunde durch, bei denen die Bewegung 20-100 ms dauert und bis zu 900°/s schnell ist. Diese Bewegungen werden von 200-600 ms langen Fixierungen unterbrochen.

- Verfolgungsbewegungen: Das Auge kann ein sich relativ gleichmäßig durch das Sichtfeld bewegendes Objekt verfolgen und somit beständig fixieren.
- Konvergente Bewegungen: Die beiden Augen können ein sich näherndes Objekt durch konvergente Bewegung fixieren. Analog erfolgt die Fixierung eines sich entfernenden Objektes durch divergente Bewegung.

Sakkaden

DANS, KÖN OCH JAGPROJEKT

På jakt efter ungdomars kroppsspråk och den 'synkretiska dansen', en sammansmältning av olika kulturers dans, har jag i mitt fältarbete under hösten rört mig på olika arenor inom skolans värld. Nordiska, afrikanska, syd- och östeuropeiska ungdomar gör sina röster hörda genom sång, musik, skrik, skraff och gestaltat känslor och uttryck med hjälp av kroppsspråk och dans.

Den individuella estetiken framträder i kläder, frisyrer och symboliska tecken som förstärker ungdomarnas "jagprojekt" där också den egna stilen i kroppsrörelserna spelar en betydande roll i identitetsprövningen. Upphållsrummet fungerar som offentlig arena där ungdomarna spelar upp sina performanceliknande kroppsspråk

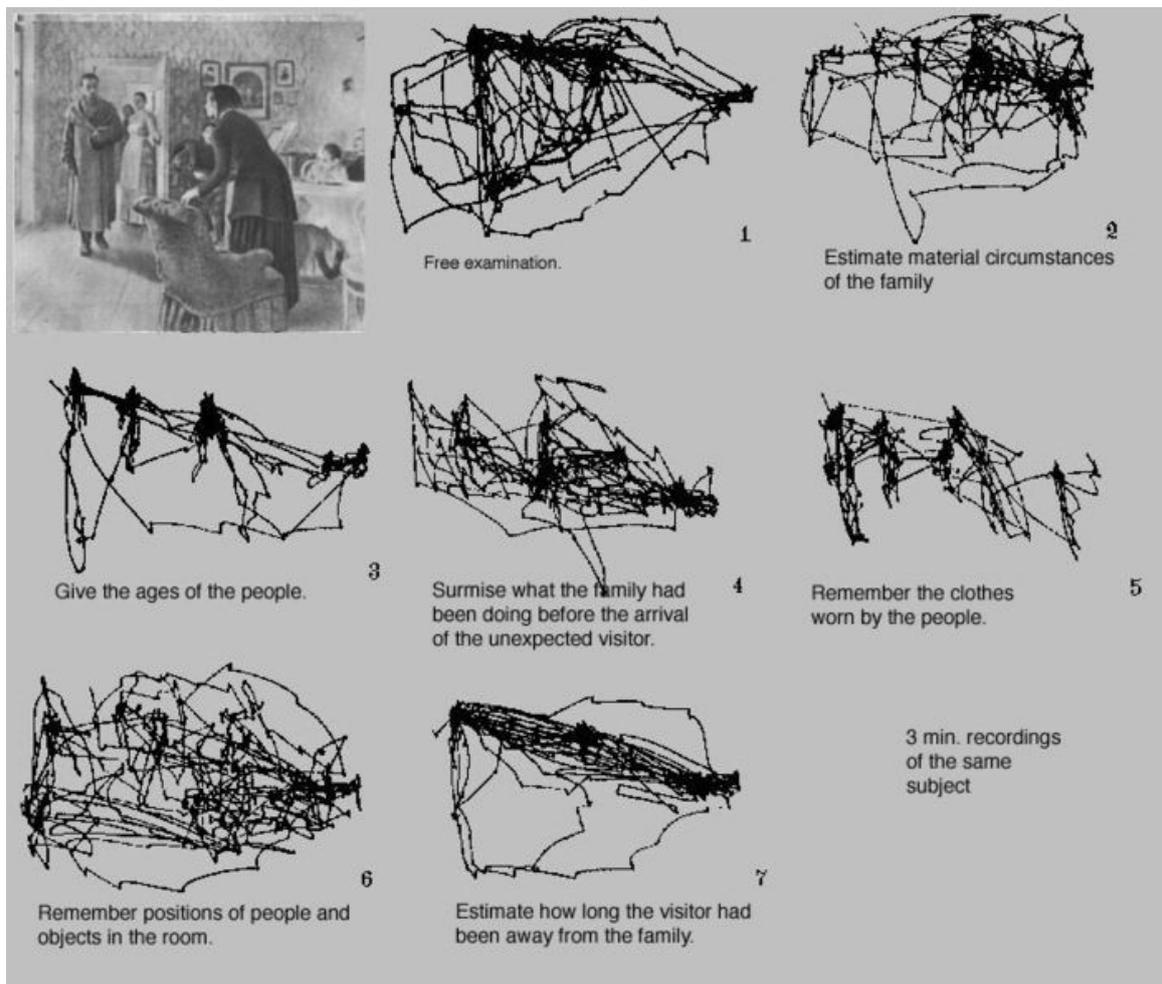
Wikipedia



Source: Jänicke (2016)

Scheinwerfertheorie

- Die Scheinwerfertheorie erklärt wie die Aufmerksamkeit beim Betrachten einer Szene gesteuert wird
- Grundannahme ist dass die Aufmerksamkeit wie ein Scheinwerfer ist, der verschiedene Aspekte einer Szene beleuchten kann
- Fällt die Aufmerksamkeit des Betrachters auf einen kleinen Teil der Szene, kann man dort genaue Details wahrnehmen
- Die Verarbeitung erfolgt seriell, so dass der Aufmerksamkeitsscheinwerfer von einem Punkt zum nächsten geleitet wird
- Der "Weg" der Aufmerksamkeit durch die Szene ist kontextabhängig, z.B. ausgehend von der Aufgabe, die gelöst werden soll



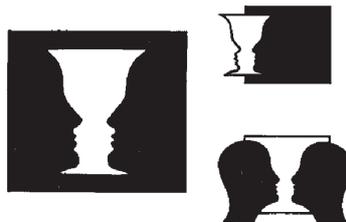
Source: Jänicke (2016)

4 Grouping



Source: Jänicke (2016)

Wahrnehmungsgruppierung



Source: Gerrig and Zimbardo (2008)

- Die meisten Leute sehen eine Vase vor schwarzem Grund
- Eine Figur wird als eine gegenstandsähnliche Region im Vordergrund gesehen, und der Grund wird als Unterlage gesehen, vor der sich die Figuren abzeichnen
- Man kann das Verhältnis zwischen Figur und Grund ändern, um zwei Gesichter statt einer Vase zu sehen
- Wahrnehmungsprozesse müssen zu Beginn entscheiden, was Hintergrund und was Figur ist

Gestaltpsychologie

- Wie entscheiden Ihre Wahrnehmungsprozesse, was als Figur zusammengefasst werden soll?
- Prinzipien der Wahrnehmungsgruppierung wurden von Vertretern der Gestaltpsychologie untersucht
- Diese Gruppe ging davon aus, daß psychische Phänomene nur verstanden werden können, wenn man sie als organisiertes, strukturiertes Ganzes sieht, und nicht, wenn man sie in einfache, elementare Perzepte zerlegt

- In ihren Experimenten haben die Gestaltpsychologen untersucht, wie Wahrnehmungsanordnungen als Gestalten wahrgenommen werden
 - Sie zeigten, dass sich das Ganze oft erheblich von der Summe seiner Teile unterscheidet
 - Jeweils ein einziger Faktor wurde verändert und beobachtet, wie er die Wahrnehmung der ganzen Anordnung beeinflusste,
 - Resultat: eine Reihe von Gesetzen

Gestaltgesetze (-prinzipien)

- Gesetz der Nähe
 - gruppiert Dinge zusammen, die räumlich oder zeitlich nah sind
- Gesetz der Ähnlichkeit/Gleichheit
 - gruppiert Bildteile, die nach Farbe, Form, Helligkeit, Größe, Orientierung ähnlich sind
- Gesetz der guten Fortsetzung
 - präferiert räumliche oder zeitliche Einfachheit
- Gesetz der Geschlossenheit
 - neigt dazu, kleine Lücken aufzufüllen
- Gesetz des gemeinsamen Schicksals
 - Objekte werden gerne als Gruppen wahrgenommen
- Weiterhin komplexere Prinzipien
 - Gesetz der Symmetrie
 - Unterscheidung von Vorder- und Hintergrund

Gesetz der Nähe

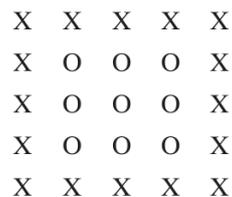
Das Gesetz der Nähe: Menschen nehmen die einander am nächsten liegenden Elemente als Gruppe wahr. Deshalb sehen Sie diese Abbildung als fünf Spalten von Objekten anstatt als vier Zeilen.



Source: [Gerrig and Zimbardo \(2008\)](#)

Gesetz der Ähnlichkeit

Das Gesetz der Ähnlichkeit: Menschen nehmen die einander ähnlichsten Elemente als Gruppe wahr. Deshalb sehen Sie hier ein Viereck aus Os vor einem Feld von Xen und nicht Spalten aus vermischten Xen und Os.



Source: [Gerrig and Zimbardo \(2008\)](#)

Gesetz der guten Fortsetzung

Das Gesetz der guten Fortsetzung: Menschen sehen Linien als durchgehend, selbst wenn sie unterbrochen sind. Deshalb sehen Sie hier einen Pfeil, der ein Herz durchbohrt anstatt eines Musters mit drei verschiedenen Teilen.



Source: [Gerrig and Zimbardo \(2008\)](#)

Gesetz der Geschlossenheit

Das Gesetz der Geschlossenheit: Menschen neigen dazu, kleine Lücken aufzufüllen, um Objekte als Ganzes sehen zu können. Deshalb füllen Sie hier automatisch das fehlende Stück auf, um einen geschlossenen Kreis zu sehen.



Source: [Gerrig and Zimbardo \(2008\)](#)

Gesetz des gemeinsamen Schicksals

Das Gesetz des gemeinsamen Schicksals: Menschen neigen dazu, Objekte als Gruppe zu sehen, die sich scheinbar in dieselbe Richtung bewegen. Deshalb sehen Sie diese Grafik als abwechselnde Zeilen, die sich auseinander bewegen.



Source: [Gerrig and Zimbardo \(2008\)](#)

Konkurrenz

Prinzipien können miteinander konkurrieren

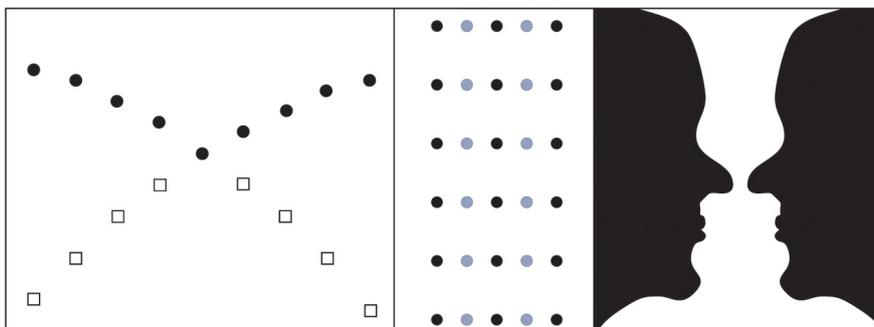


Abbildung 1.3: Konkurrenz von Gestaltgesetzen. Links: Gesetz der Gleichheit vs. Gesetz der guten Fortsetzung. Mitte: Gesetz der Gleichheit vs. Gesetz der Nähe. Rechts: Gesetz der Symmetrie und Unterscheidung Vorder-/Hintergrund

Source: [Malaka et al. \(2009\)](#)

Zeit

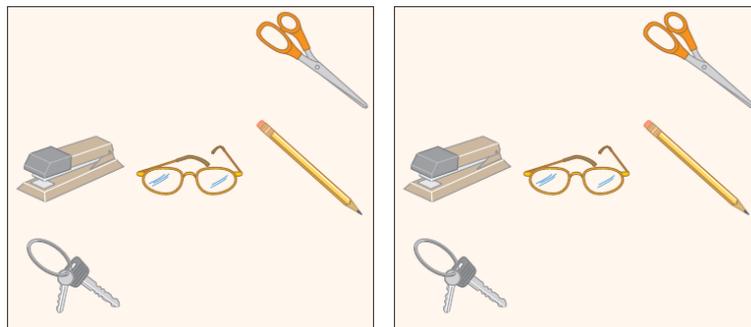
- Oftmals können wir die gesamte Anordnung nicht auf einen Blick oder mit einer Fixation wahrnehmen
- Was wir zu einem bestimmten Zeitpunkt wahrnehmen, ist oft ein Bildausschnitt aus einer großen visuellen Welt, die sich in alle Richtungen in nicht gesehene Bereiche der Umgebung ausdehnt
- Um eine vollständige Vorstellung dessen zu erhalten, was uns umgibt, müssen wir Informationen aus Fixationen verschiedener räumlicher Regionen und unterschiedlicher Zeitpunkte kombinieren
- Wir sprechen hier von *räumlicher* Integration und *zeitlicher* Integration

Assignment 4.1: Integration

- I will show an image for about 2 seconds
- Then we wait for about 4 seconds
- Then we look at an image again for about 2 seconds
- Your task: Write down, whether the configurations were the same?

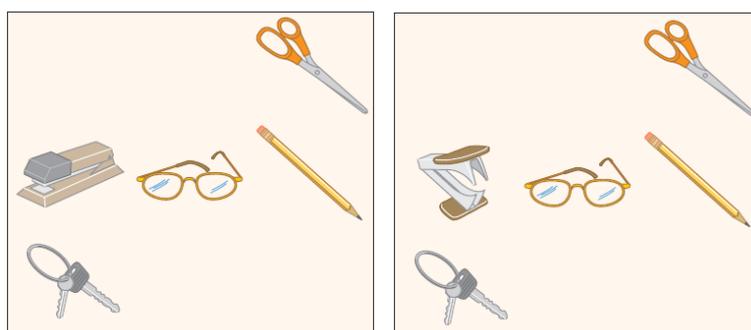
Assignment 4.1: Integration I

- Resultat: Gleich
- Gleiches Bild
- Wer hatte es richtig?



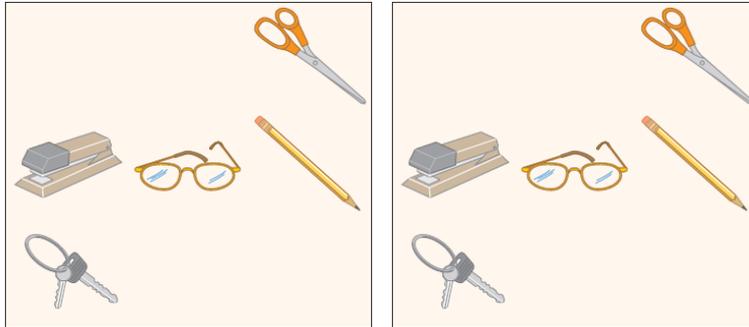
Assignment 4.1: Integration II

- Resultat: Ungleich
- Identitätswechsel
- Wer hatte es richtig?



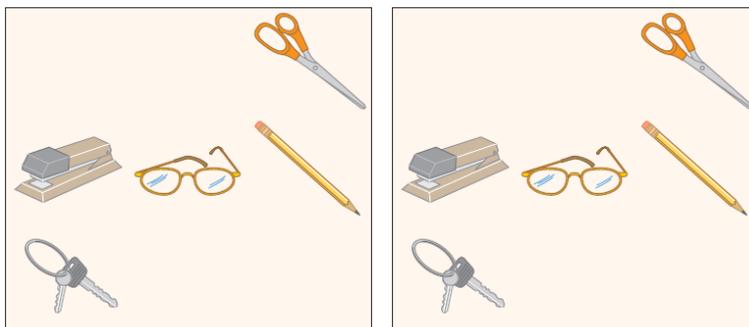
Assignment 4.1: Integration III

- Resultat: Gleich
- Gleiches Bild
- Wer hatte es richtig?



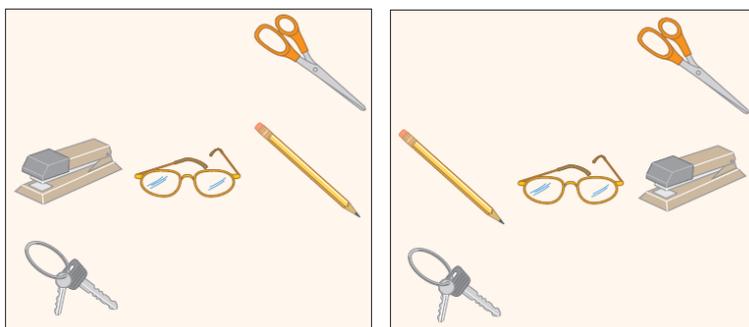
Assignment 4.1: Integration IV

- Resultat: Gleich
- Gleiches Bild
- Wer hatte es richtig?



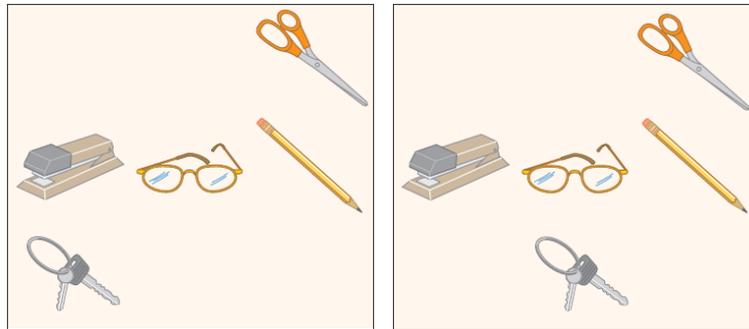
Assignment 4.1: Integration V

- Resultat: Ungleich
- Vertauschung
- Wer hatte es richtig?

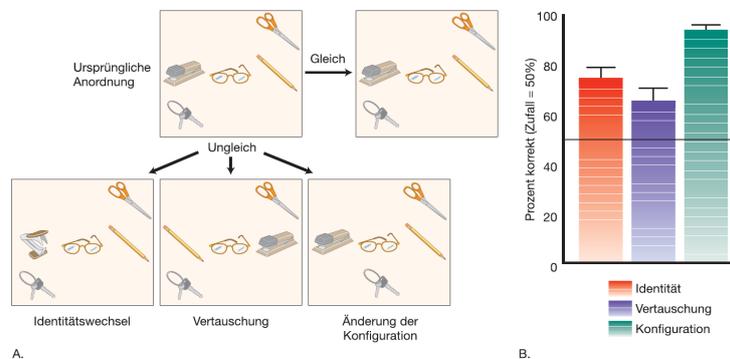


Assignment 4.1: Integration VI

- Resultat: Ungleich
- Änderung der Konfiguration
- Wer hatte es richtig?



Zeitliche und Räumliche Integration



- Hinweise darauf, dass unser visuelles Gedächtnis bei jeder Fixation in der Welt keine sehr präzisen Details abspeichert
- Betrachter sind manchmal nicht einmal in der Lage, die Veränderung eines kompletten Objekts von einer Fixation zur nächsten zu bemerken (Gerrig and Zimbardo, 2008)

Notwendigkeit

- Wieso bemerken wir nicht, dass aus einem Klammerhefter ein Bleistift wurde?
- Teil der Antwort könnte darin liegen, daß die Welt selbst im Allgemeinen eine stabile Quelle von Informationen darstellt
- Es ist einfach unnötig, Informationen, die stets in der externen Umgebung verfügbar sind, an das Gedächtnis zu übergeben – und daher verfügen wir über keine Prozesse, die dies gewöhnlich tun (Gerrig and Zimbardo, 2008)

5 Tutorial

Assignment 4.2: Examples Revisited

- Without consulting the slides, sketch what you can remember of
 - Minard's record,
 - Nightingale's diagram and
 - Snow's Soho map.
- In other words, externalize your mental models of those representations.
- By means of sketches explore alternative ways of representing the data encoded in the representations of Minard, Nightingale, Snow and Beck.

Assignment 4.3: Wechselblindheit

- Warum ist die Leistung der Probanden im Experiment zur Wechselblindheit am besten, wenn sich die Anordnung der Gegenstände ändert?

Assignment 4.4: Lecture Material

- How would you represent the information from the lectures and why
- What kind of material would support you learning
 - Slides
 - Handouts
 - Text
 - Graphical representation
- Is there any (other) visualization or knowledge representation that would be helpful?

References

Literatur

- Anstis, S. (1974). A chart demonstrating variations in acuity with retinal position. *Vision Research*, 14:589–592.
- Gerrig, R. J. and Zimbardo, P. G. (2008). *Psychologie*, 18. Auflage. Pearson, München.
- Jänicke, H. (2016). Vorlesung visualisierung. online.
- Malaka, R., Butz, A., and Hussmann, H. (2009). *Medieninformatik – Eine Einführung*. Pearson Studium, Munich.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., LaMantia, A.-S., McNamara, J. O., and Williams, S. M., editors (2001). *Neuroscience*, 2nd Edition. Sinauer Associates, Sunderland (MA).
- Ware, C. (2004). *Information Visualization – Perception for Design*, 2nd Edition. Morgan Kaufman/Elsevier, San Francisco, USA.
- Yau, N. (2013). *Data Points – Visualization that means something*. Wiley.
- Zimbardo, P. G., Johnson, R. L., and McCann, V. (2012). *Psychology – Core Concepts*, 7th Edition. Pearson, Boston, USA.