

Professur für Prozessleittechnik & Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik
Leon Urbas

Human Factors 1:

Visuelles, Auditives, Haptisches und Kinästhetisches System

Wintersemester 2021/22

Ziele und Inhalt

Einführung

- Einordnung in die menschliche Informationsverarbeitung
- Wahrnehmungssystem des Menschen

Sehen

- Stimulus und Umwandlung in Sinneseindrücke
- 3D-Wahrnehmung

Hören

- Stimulus und Umwandlung in Sinneseindrücke

Fühlen (Haptik)

- Oberflächensensibilität
- Tiefensensibilität

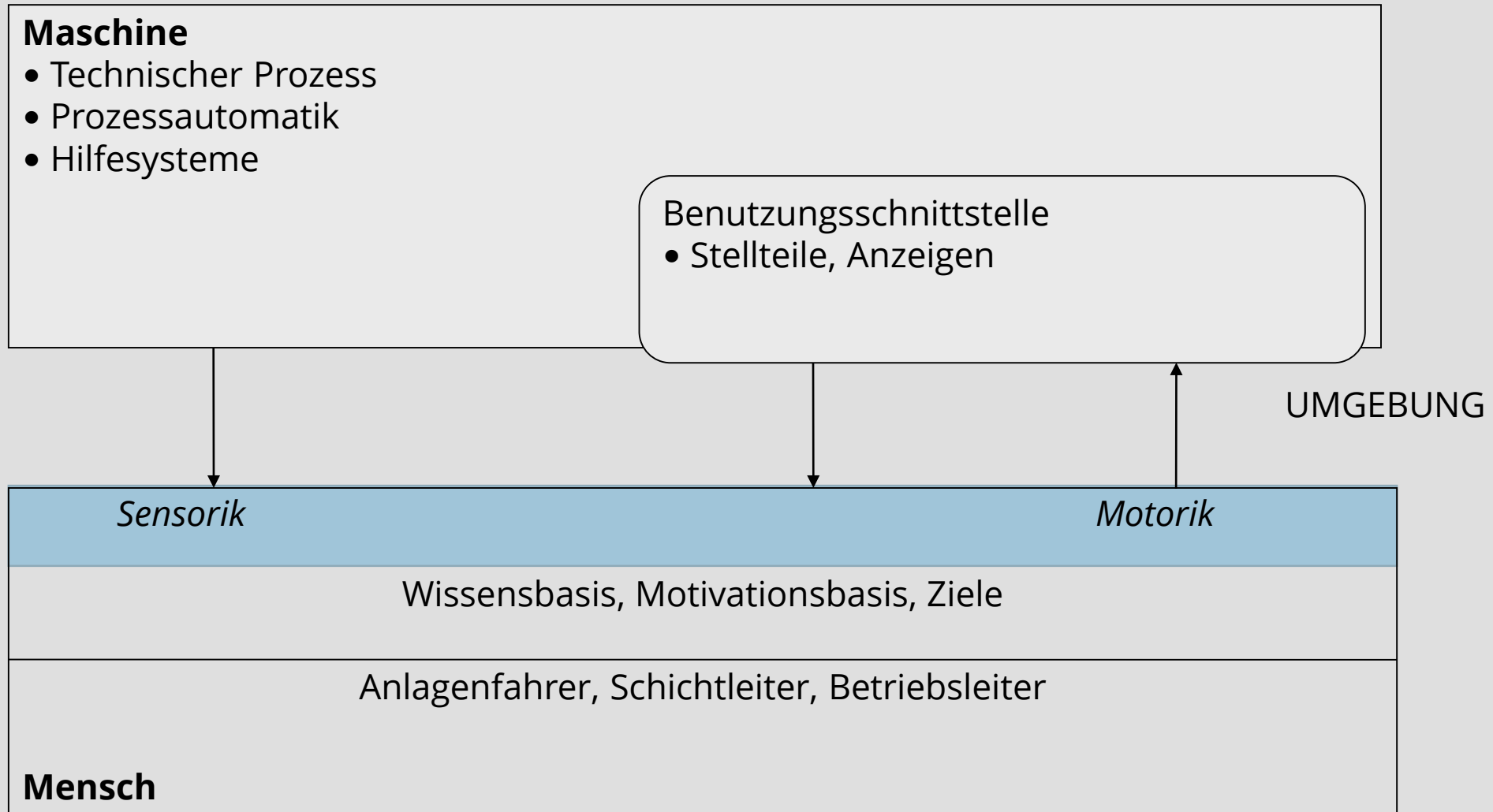
Ergonomische MMST-Gestaltung

- Berücksichtigung der Sinnesorgane

Einführung

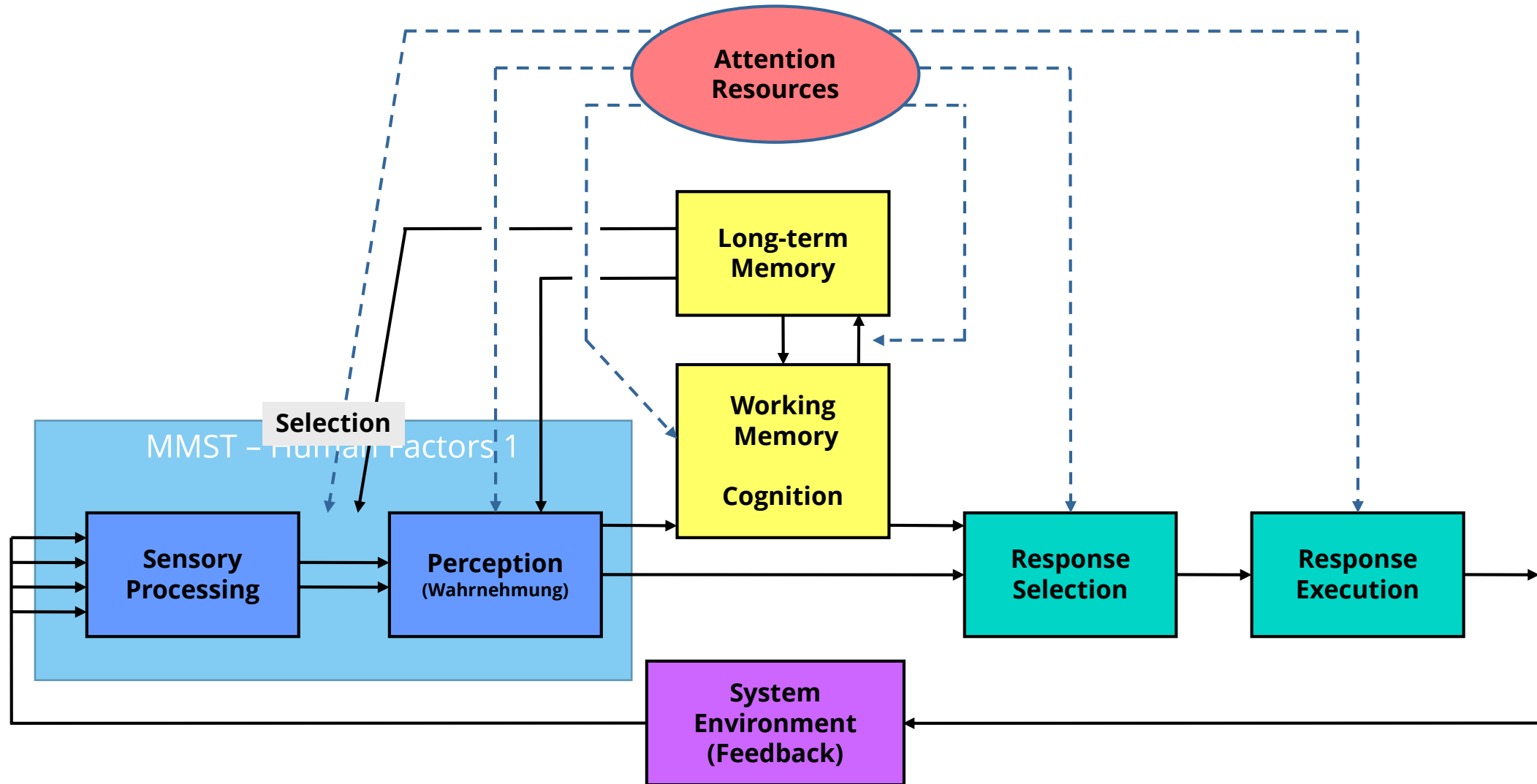
Struktur eines Mensch-Maschine-Systems

(nach Timpe et al. 2002, S.12)

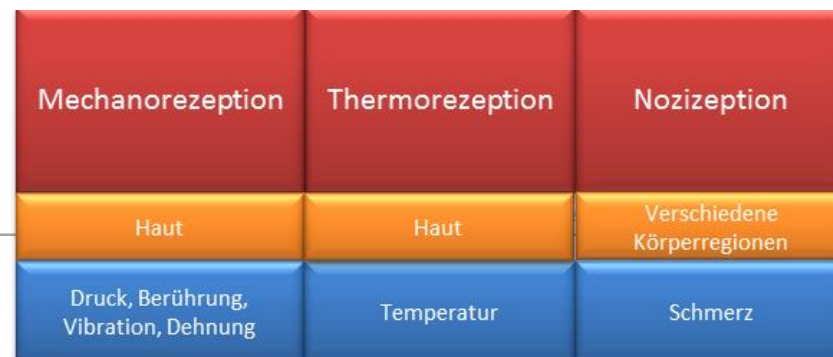
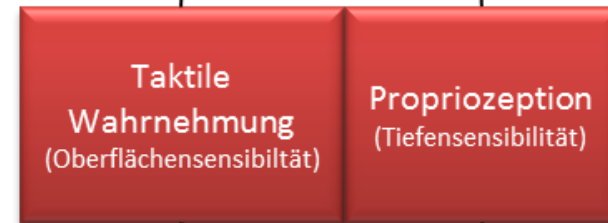


Allgemeines Modell der menschlichen Informationsverarbeitung

(Wickens 2006, S. 113)



Unsere 8-9 Sinne



dia.org



Ausgewählte menschliche Sinne in Zahlen

(nach Zühlke 2012, S.7)

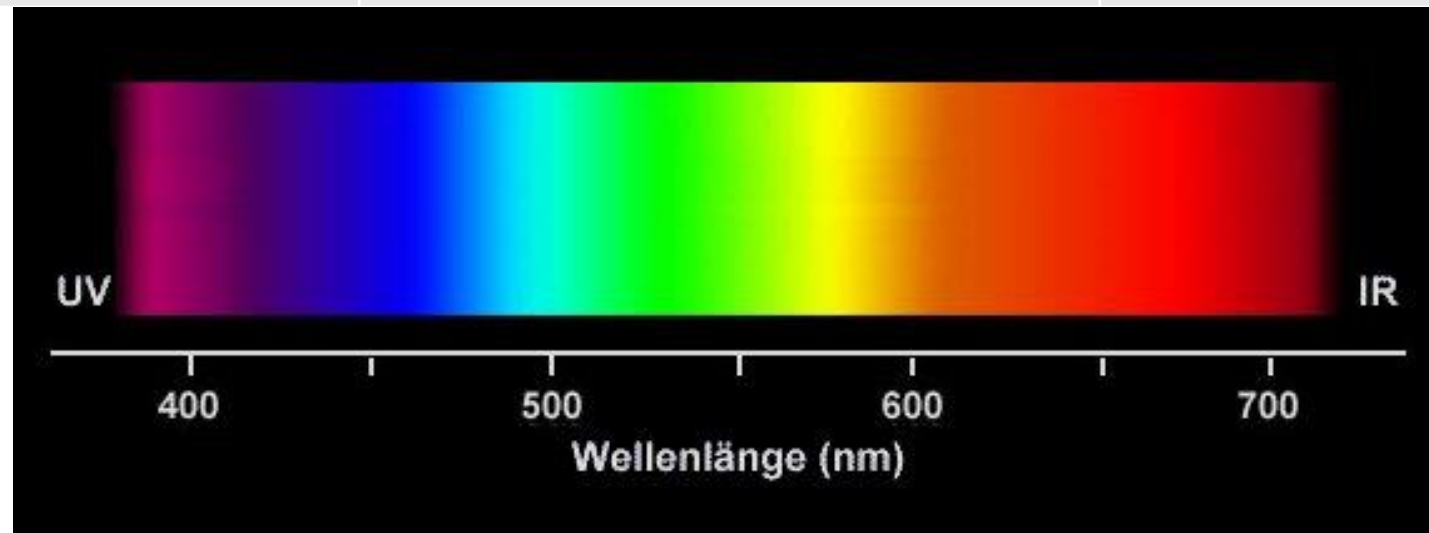
Sinn	Organ	Sinnesfläche in cm^2	Zahl der Rezeptoren	Zahl der Nervenfasern	Informations- fluss in bit/s
Licht	Augen	23,5	2.130.106	2×10^6	10.000.000
Schall	Ohr	20,08	215.000	2.000	50.000
Druck	Haut	17.000	500.000	10.000	200.000
Temperatur	Haut	17.000	200.000	10.000	2.000
Geruch	Nase	22,5	20.106	2.000	100
Geschmack	Mund	50	2.000	2.000	10

Sehen

Stimulus: Licht

(nach Zühlke 2012, S.8)

Physikalische Größe	Einheit	Physiologische Größe
Lichtstärke	cd	Helligkeit
Wellenlänge	nm	Farbe (Farbton)
Spektrale Zusammensetzung	-	Sättigung (Reinheit)
Intensität und Wellenlänge	-	Kontrast



(<https://bit.ly/2oUwvBG>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)

Organ: Auge

Blende (Iris)

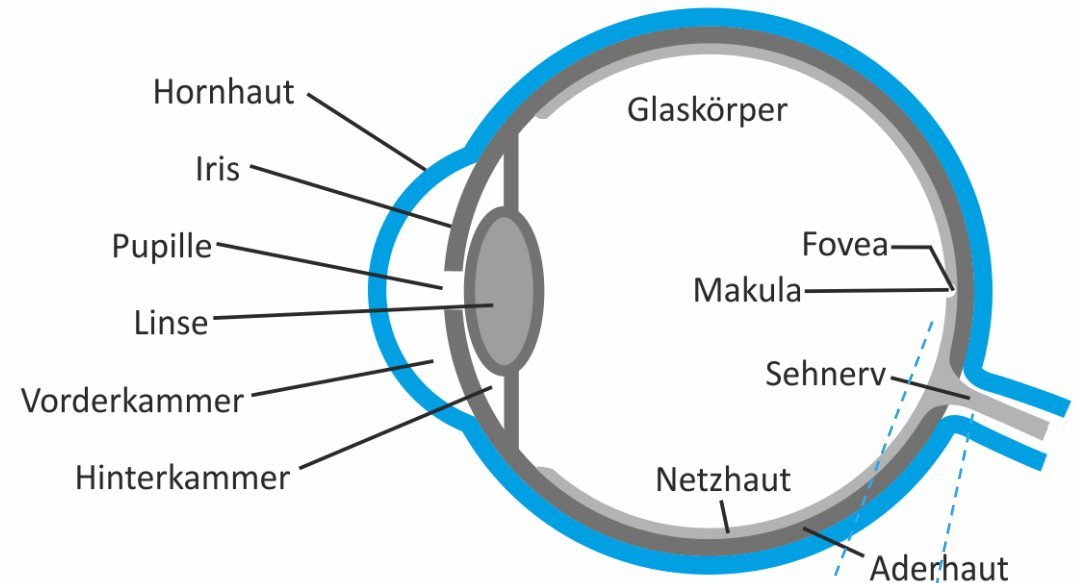
- Adaption Lichtmenge
- Öffnung: 2-8 mm

Optisch abbildende Elemente:

- Hornhaut, Kammerwasser, Linse, Glaskörper
- Linse: Akkomodation (Scharfeinstellung)
- fern: $f=17\text{mm}$, nah: $f=14\text{mm}$

Netzhaut (Retina)

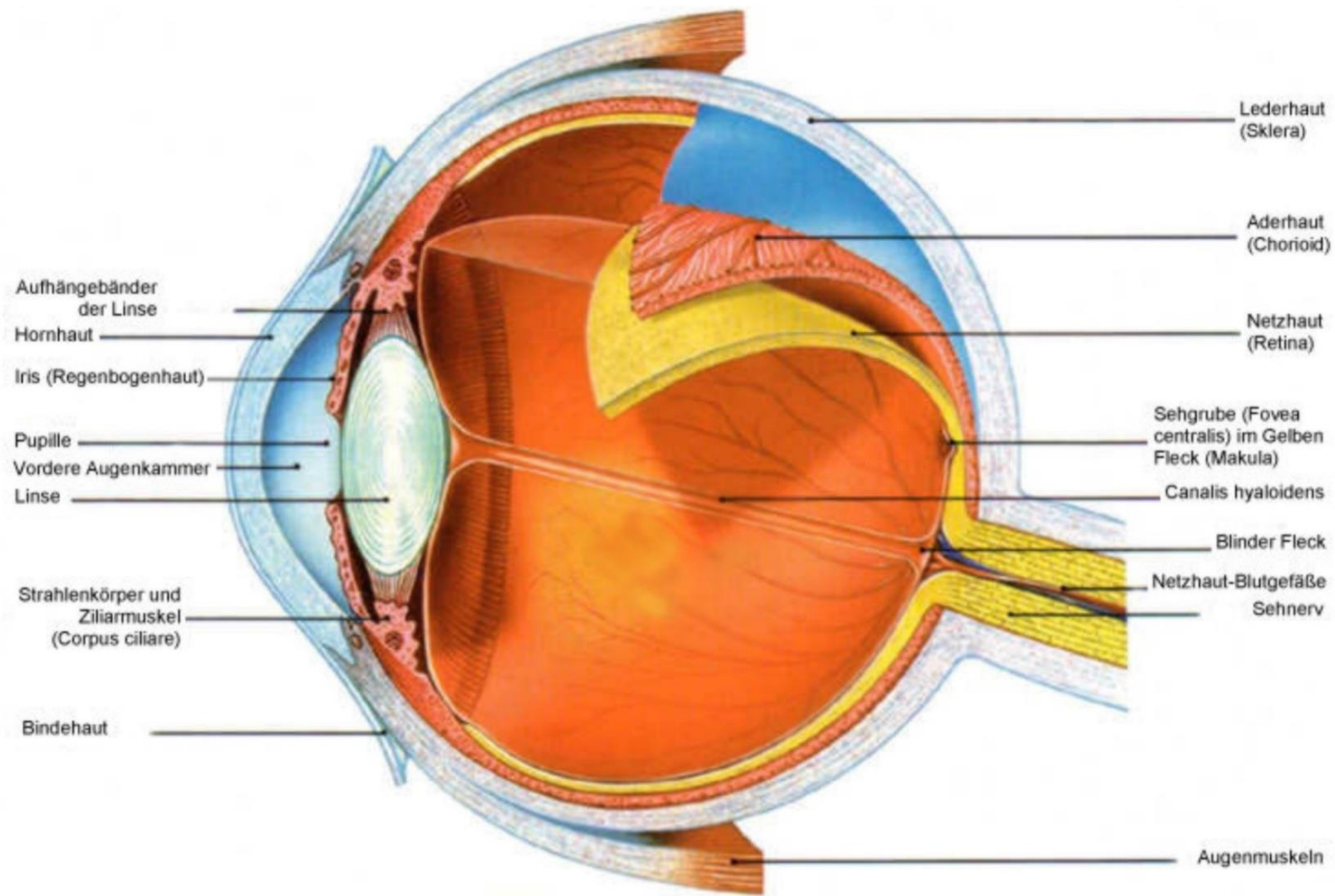
- Rezeptoren
- fovea centralis: Bereich der höchsten Auflösung, ca. 1° des Gesichtsfelds
- Erste Signalverarbeitung



(Bildquelle: www.techfak.uni-bielefeld.de/)



Das menschliche Auge im Detail



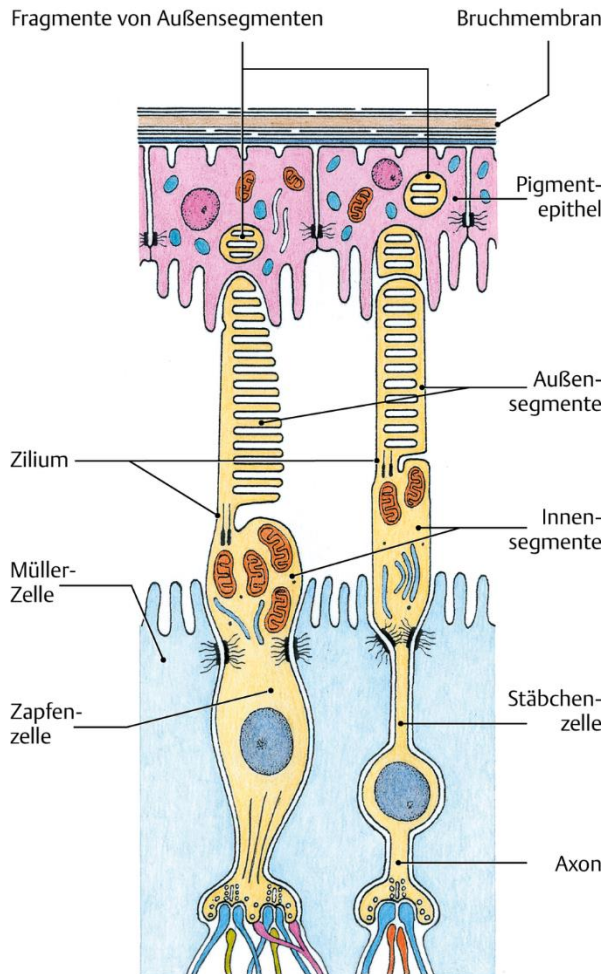
(Bildquelle: <http://rose-gesundheit.de/>)

Zapfen & Stäbchen

Als Fotorezeptoren spezialisierte Sinneszellen (1/2)

Zapfen (Cones) – Farbe

- 6-8 Mio., \varnothing ca. 0,006 mm
- 3 Photopigmente (Iodopsine) mit Empfindlichkeitsmaximum
 - 420 nm (blau)
 - 534 nm (grün)
 - 564 nm (rot)
- Konzentriert auf Fovea
- Weniger lichtempfindlich
- Tagsehsystem ($> 1 \text{ cd/m}^2$)
- Maximale Hellempfindlichkeit
- Grün-Gelb
- Zeitliche Auflösung $\sim 70 \text{ Hz}$



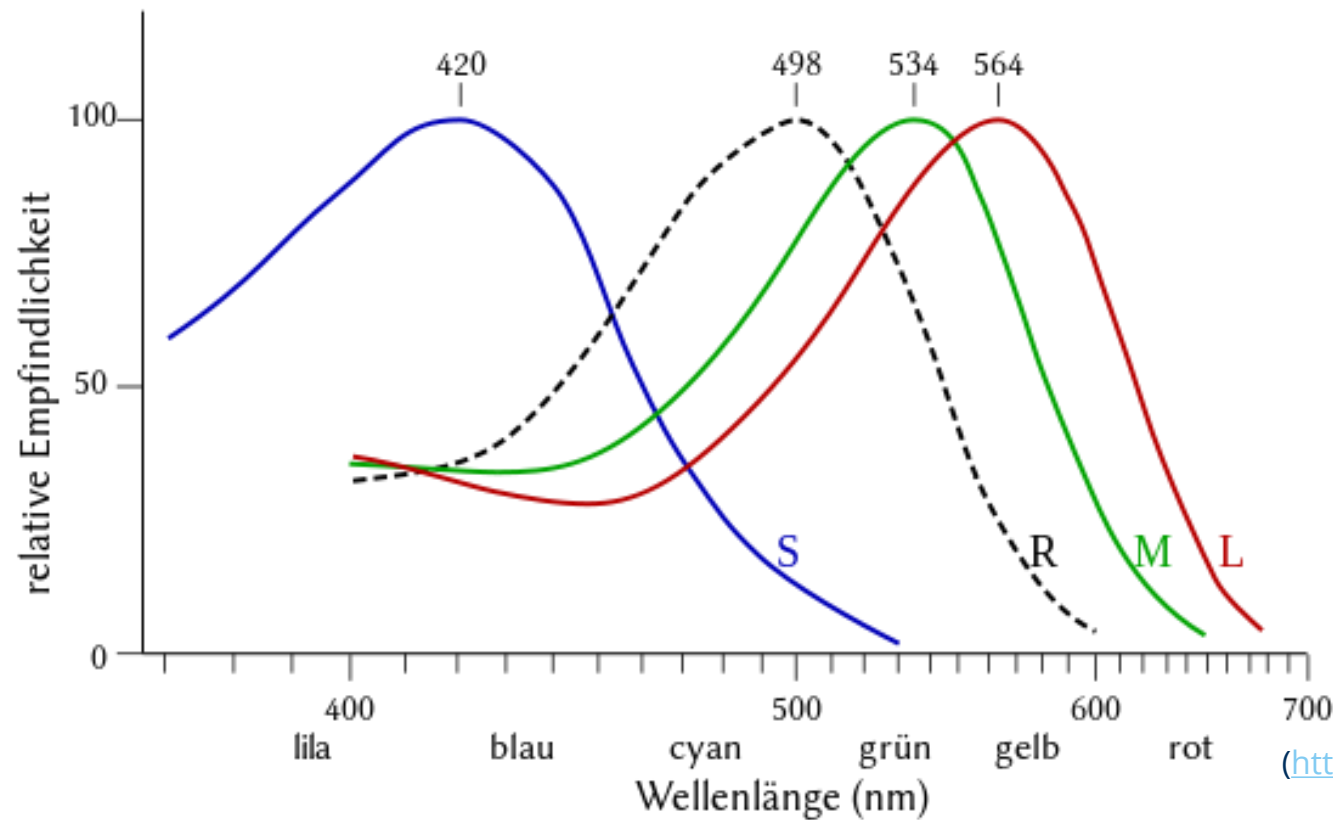
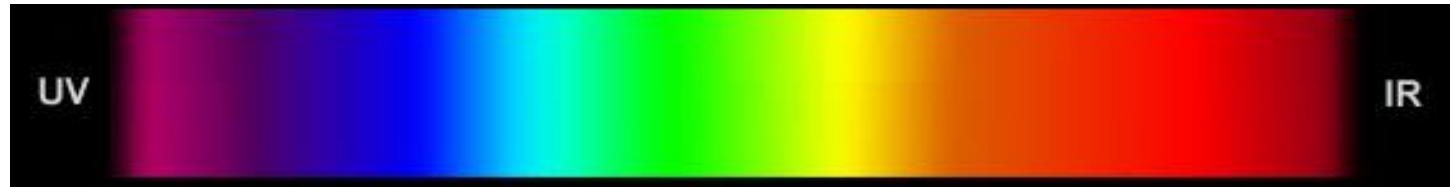
Stäbchen (Rods) – Helligkeit

- 100-120 Mio., \varnothing ca. 0,002 mm
- Rhodopsin mit Empfindlichkeitsmaximum von
 - 498 nm (grün)
- Hauptsächlich außerhalb Fovea (max. Dichte bei $15\text{-}20^\circ$)
- Höhere Lichtempfindlichkeit
- Dämmerungssehen
- Maximale Hellempfindlichkeit
- Blau-Grün
- Zeitliche Auflösung $\sim 20 \text{ Hz}$

(<https://bit.ly/2mAJA6w>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)

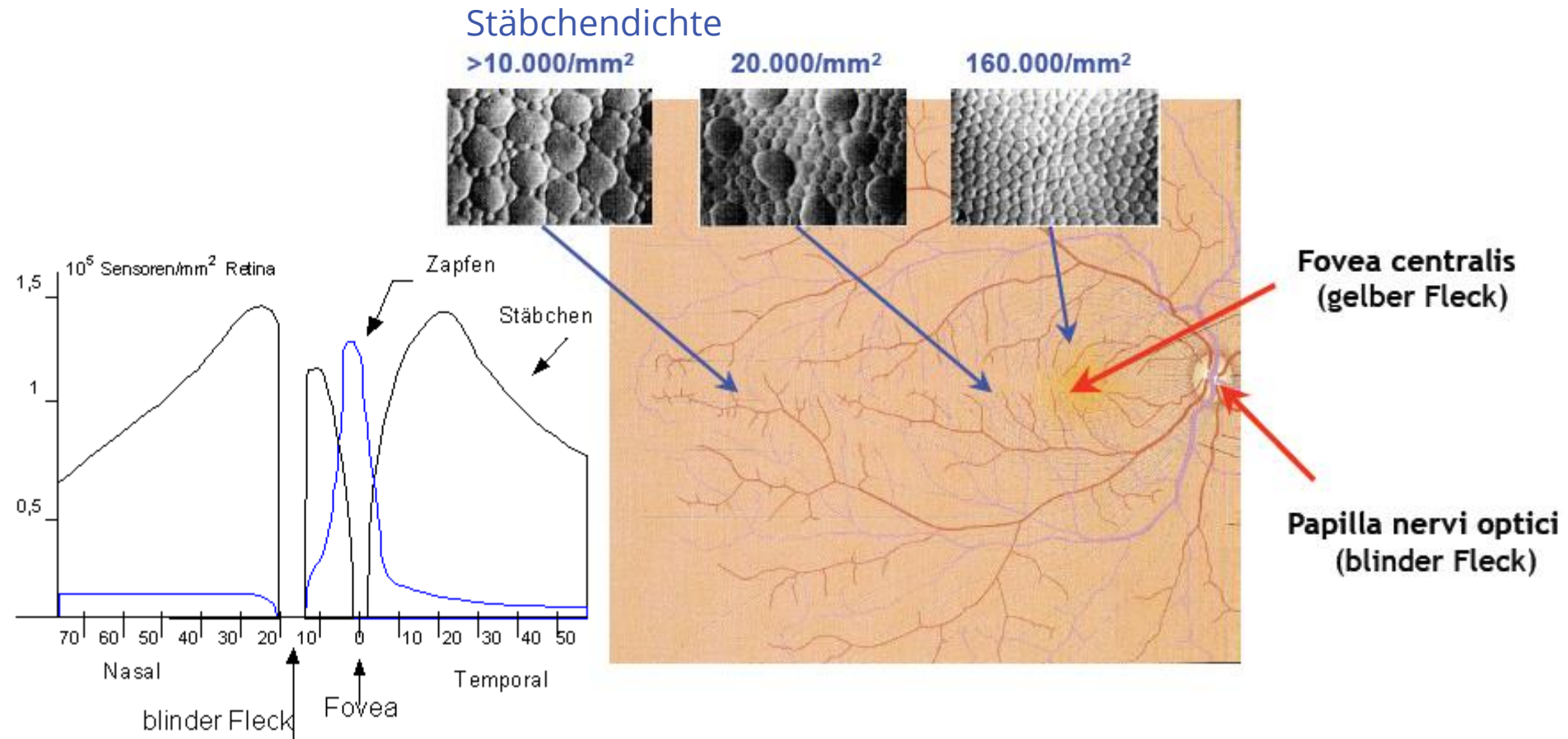
Zapfen & Stäbchen

Als Fotorezeptoren spezialisierte Sinneszellen (2/2)



(<https://bit.ly/2ntZEHD>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)

Verteilung von Zapfen & Stäbchen



Farbsehen

Typ M Zapfen

- Max. 534 nm (Grün: 490–550 nm)
- Abs. Empfindlichkeit 1/30 Typ S

Typ L Zapfen

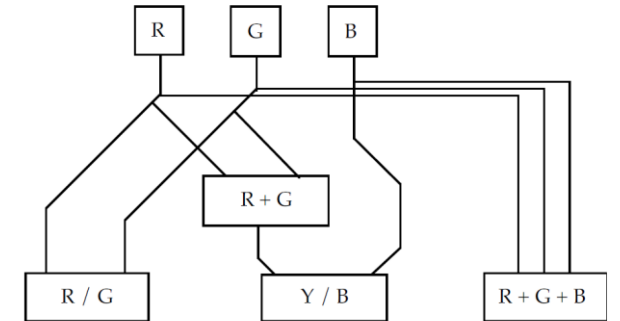
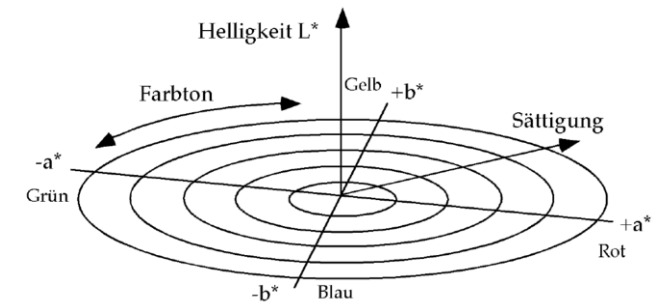
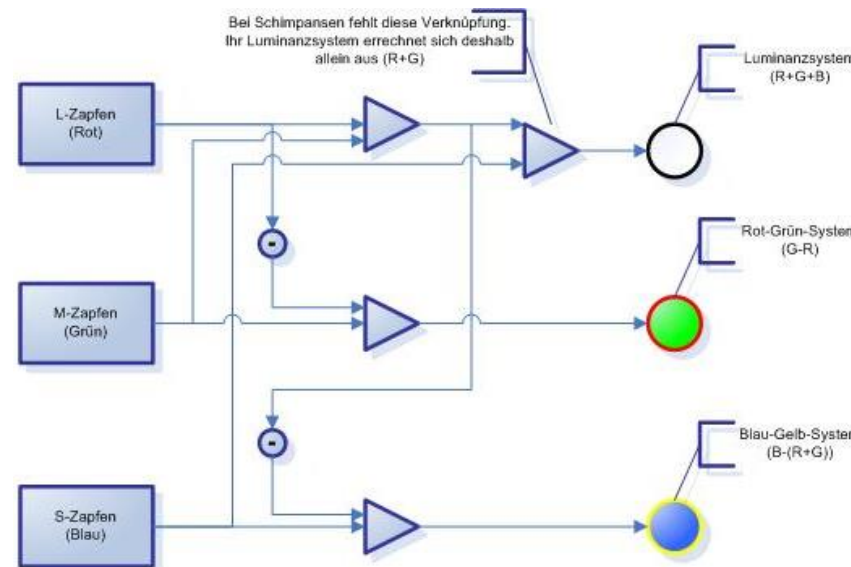
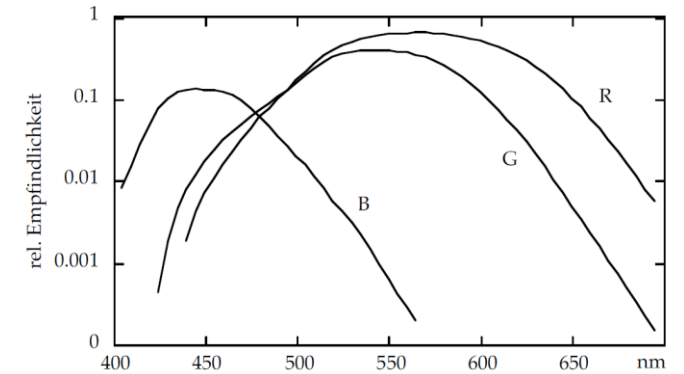
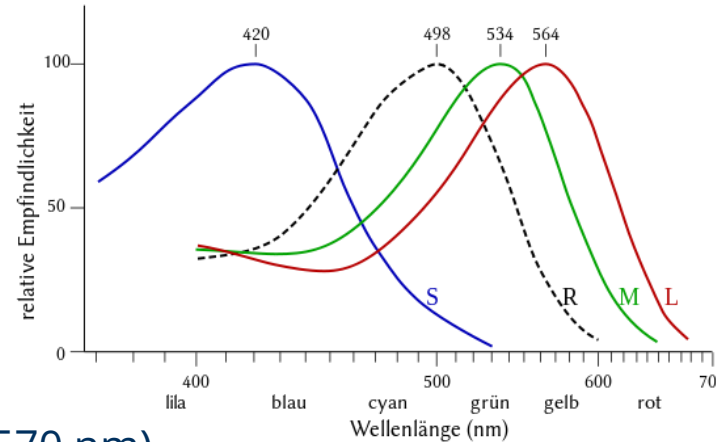
- Max. 564 nm (Gelb: 550–570 nm, Rot: >570 nm)
- Absolute Empfindlichkeit etwa 5% niedriger als Typ M

Typ S Zapfen

- Max. 420 nm (Violett: <450 nm)

Neuronale Verknüpfung

- Hell-Dunkel
- Gelb-Blau
- Rot-Grün



(Bildquelle:Wikipedia)

Chromatische Abberation

Sehschärfe = f (Farbe gleichzeitig zu betrachtender Objekte)

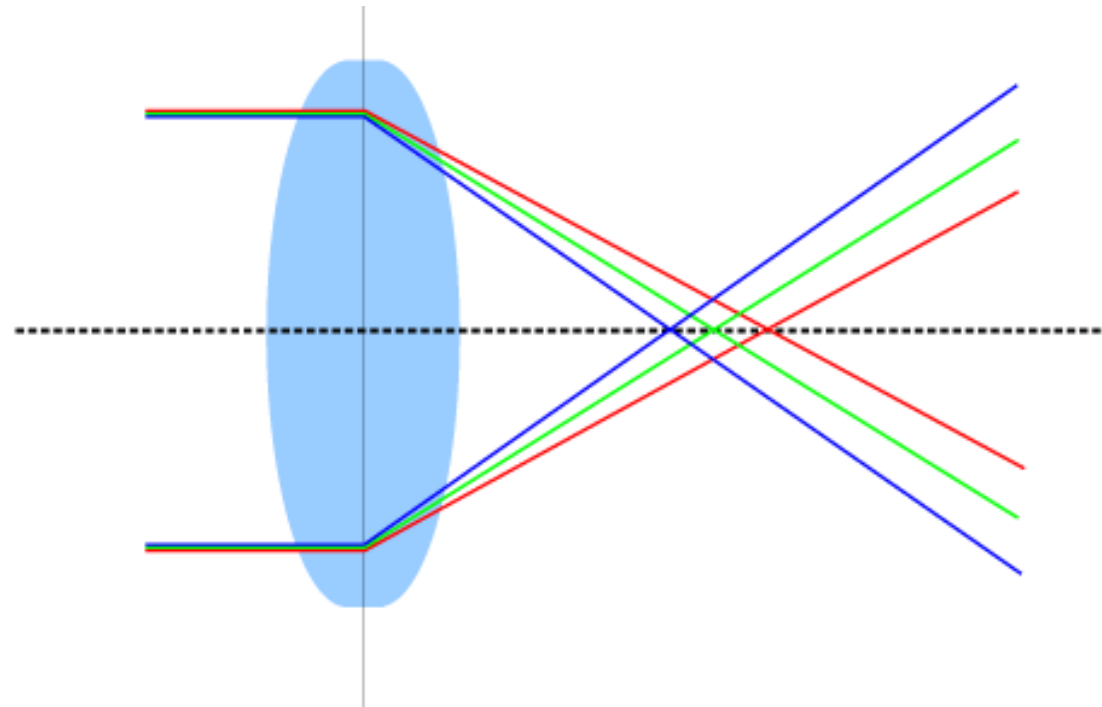
Grund: chromatische Aberration

- Lichtbrechung abhängig von der Wellenlänge des Lichtes

Für helladaptiertes Auge

- Blau: Vor der Netzhaut
- Grün-Gelb: genau auf Netzhaut scharf
- Rot: Hinter Netzhaut

ANSTRENGEND!



(<https://bit.ly/2nrPPdm>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)

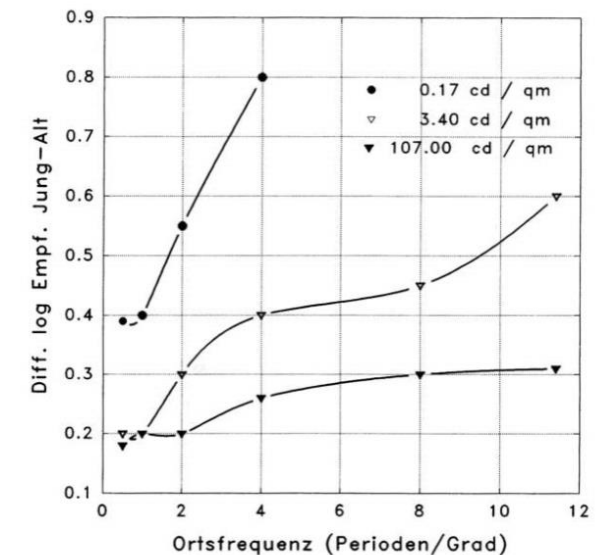
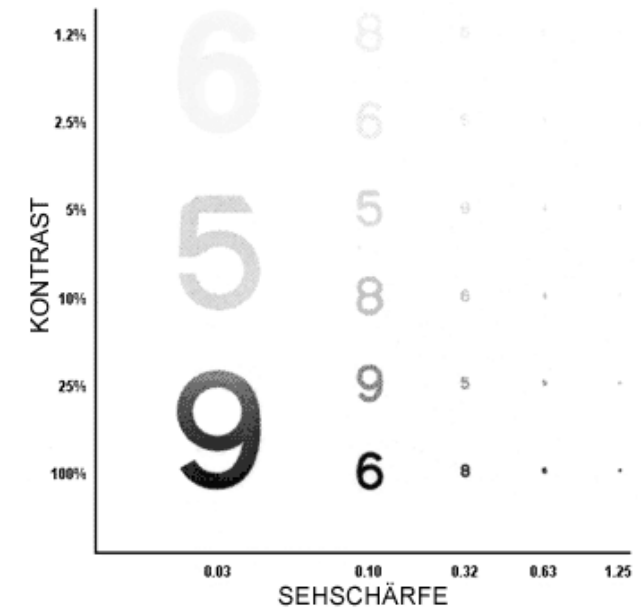
Kontrastempfindlichkeit

Fähigkeit des visuellen Systems, örtliche und/oder zeitliche Helligkeitsunterschiede zu erkennen

Ortsfrequenz = Anzahl der Farbwechsel bzgl. des Betrachtungswinkels

- Schwarz-Weiß-Sehen
- Maximum der Empfindlichkeit bei ca. 5 Farbwechseln/Grad.
- ~ Breite eines Objektes von 1,5 mm bei einer optimalen Betrachtungsdistanz von 500 mm.
- Farbsehen
- Maximum der Empfindlichkeit bei ca. 0,25 Farbwechsel/Grad (abhängig von den Farben)
- Große farbige Objekte werden besser wahrgenommen als kleine

Große Unterschiede zwischen Jungen und Alten insbesondere bei schwacher Beleuchtung!



(Guski, Rainer 1996)

Kontrastempfindlichkeit



Hell-Dunkel Adaption

Aktiver Vorgang

- dunkel-hell: wenige Sekunden
- Hell-dunkel: bis zu 30 Minuten
- Zapfen: 7 Minuten
- Stäbchen: >30 Minuten (Rhodopsinanreicherung)
- Mit sinkender Beleuchtungsstärke nimmt Adaptionfähigkeit ab (Herczeg 1994)

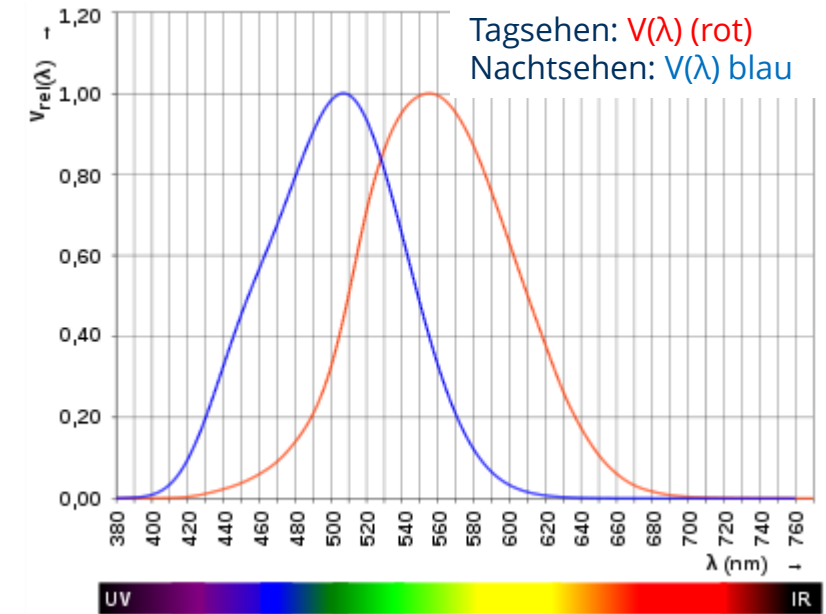
Verschiebung des Maximums

- Obergrenze Nachtsehen: 640 nm

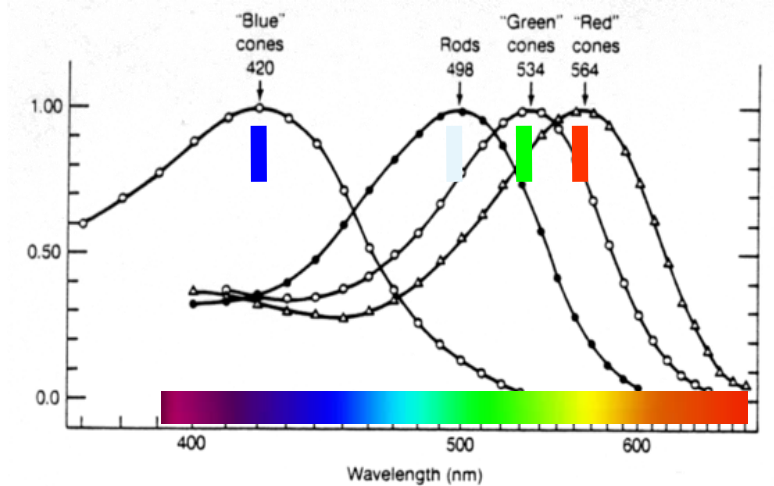
Rote Nachtbeleuchtung

- Keine Störung der Dunkeladaption an Leuchtdichten $< 0,034 \text{ cd/m}^2$, da nur Reaktion mit Iodopsin!

Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$



(<https://bit.ly/2nwi1vj>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)



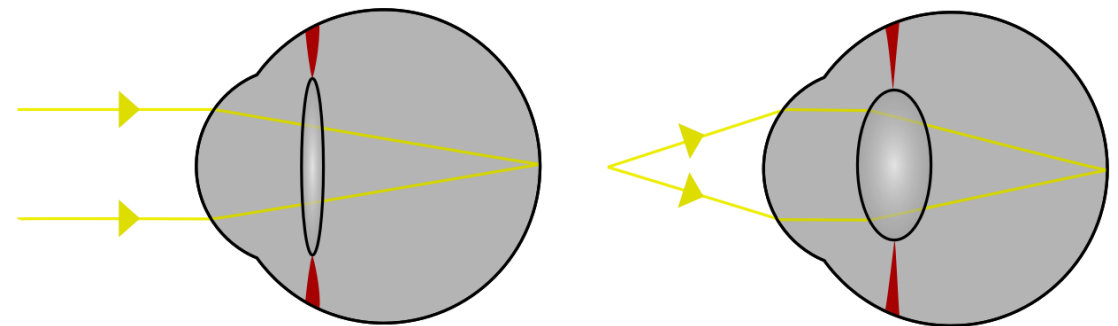
Akkomodation

Fokussierung auf Gegenstände

- Sehschärfe: Erkennen von zwei nebeneinander liegenden Punkten als getrennt
- Messmethoden: z.B. Landoltringe, Vernier, Snellen, ...

Bereich des scharfen Sehens $< 1^\circ$ (Snyder 1988)

- Abbildung auf Fovea
- Abhängig von Beleuchtungsstärke, Maximum bei 100 cd/m^2 , unsymmetrisch
- Nahpunkt altersabhängig (ab 50 $> 500\text{mm}$; Herczeg 1994)
- Fixationen (0,2 -0,3s)



(<https://bit.ly/2ofpclw>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)

Psychophysisches Auflösungsvermögen

Unterscheidung von

- ca. 200 Farbtönen
- 20 Sättigungsstufen (Menge Weiß, blass – kräftig)
- 500 Helligkeitsstufen

Ortsauflösung

- Auflösungsvermögen
 - 0,5´
 - 1 mm auf 6 Meter
 - 1,5 cm auf 100 Meter
- Sehwinkel für einzelnen Zapfen
 - 0,4"



(<https://bit.ly/2oSGV91>, zuletzt abgerufen am 01.10.2019)

3D-Wahrnehmung

Wieso können wir die Welt dreidimensional wahrnehmen?

Binokulare Perspektive (bis 10 Meter)

Positionsdifferenz der Augen

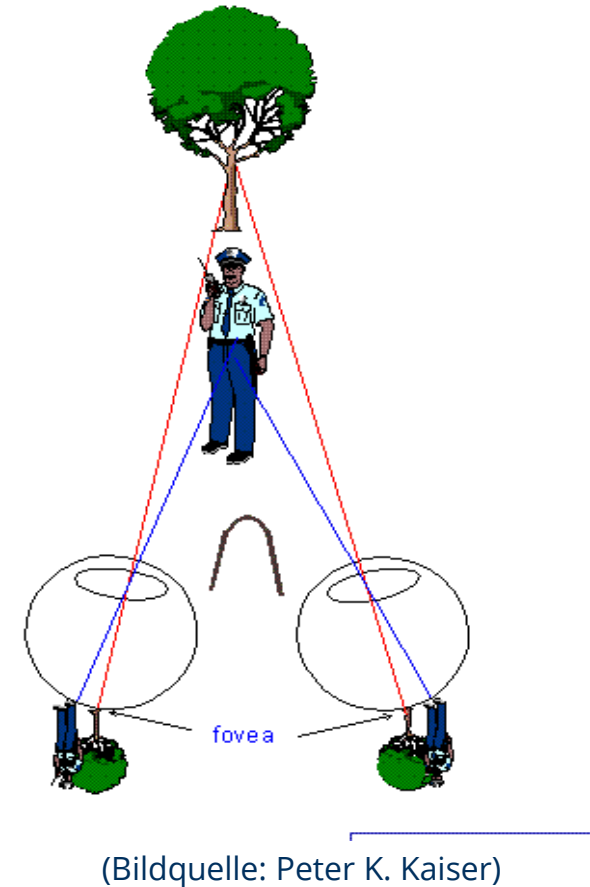
- Unterschiedliche Bilder
- Ausrichtung der Augen

Disparitäten

- Querdisparität
- Vertikale Disparität (außerhalb horizontale Ebene)
- Unterschiedliche Steigung von Linien
- Schattierungsdisparität
- Monokulare Verdeckung

Raumwahrnehmung aber auch mit einem Auge möglich

- 5-10% Stereoblind
- 20% Stereoschwäche



Kinetische Tiefenhinweise

Bewegungsparallaxe

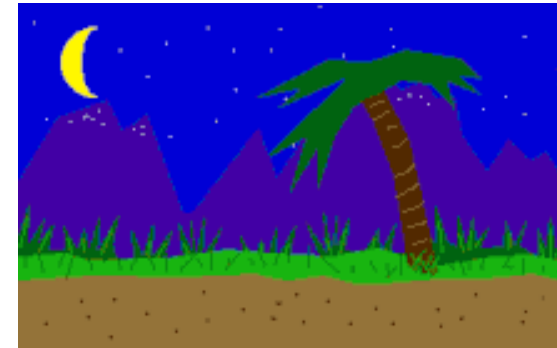
- Nahe Objekte scheinen sich schneller zu bewegen als weit entfernte

Bewegungsperspektive

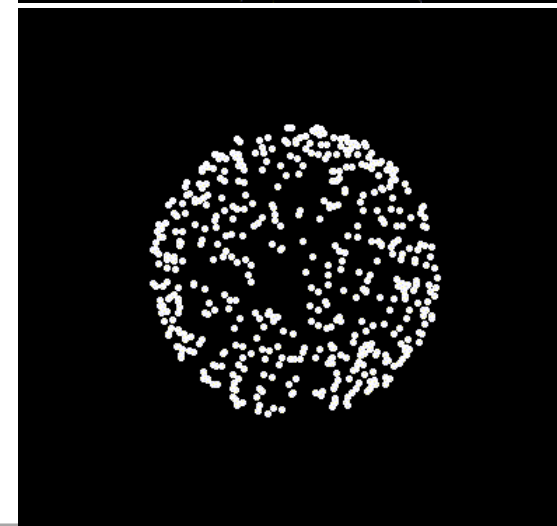
- Objekte am Rand scheinen sich schneller zu bewegen als die in der Mitte

Kinetischer Tiefeneffekt

- Prinzip des gemeinsamen Schicksals, Unterscheide in der Geschwindigkeit von Punkten auf rotierenden Körpern



(<https://bit.ly/2LU3WBK>,
zuletzt abgerufen
am 07.10.2019)



Bildliche Tiefenhinweise

Überlappung

Relative Höhe

Relative Größe

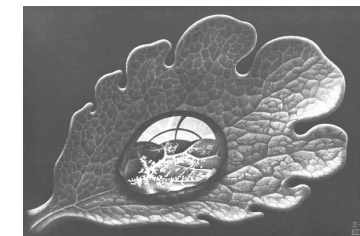
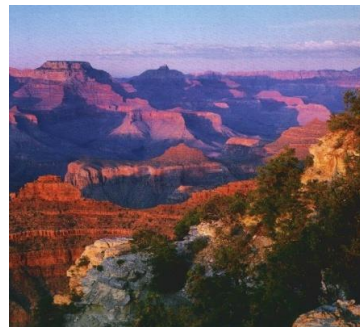
Lineare Perspektive

Texturgradient

Schatten

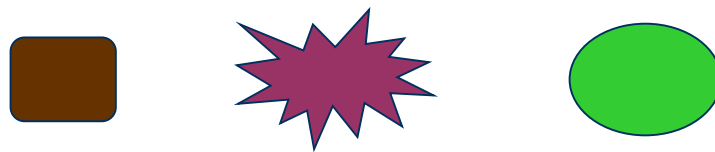
Luftperspektive

...



Überlappung (Interposition)

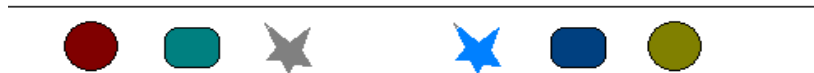
Objekte im Vordergrund überdecken Objekte im Hintergrund



(Bildquelle: John H. Krantz)

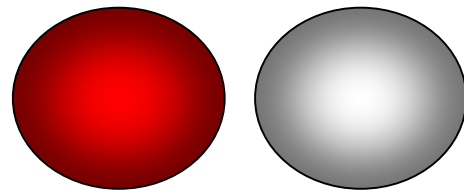
Relative Höhe (Relative Height)

Je näher ein Objekt sich am Horizont befindet, desto weiter entfernt scheint es



Relative Höhe (Relative Size/Size Constancy)

Kleinere Objekte scheinen weiter entfernt als größere, wenn die Objekte die gleiche Größe haben sollten



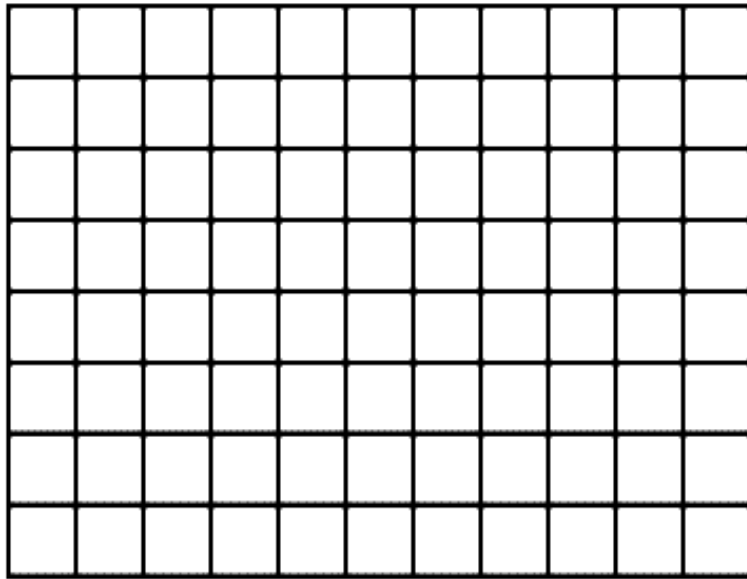
Lineare Perspektive (Linear Perspective)

Parallele Linien laufen in einer verschwindenden Unendlichkeit



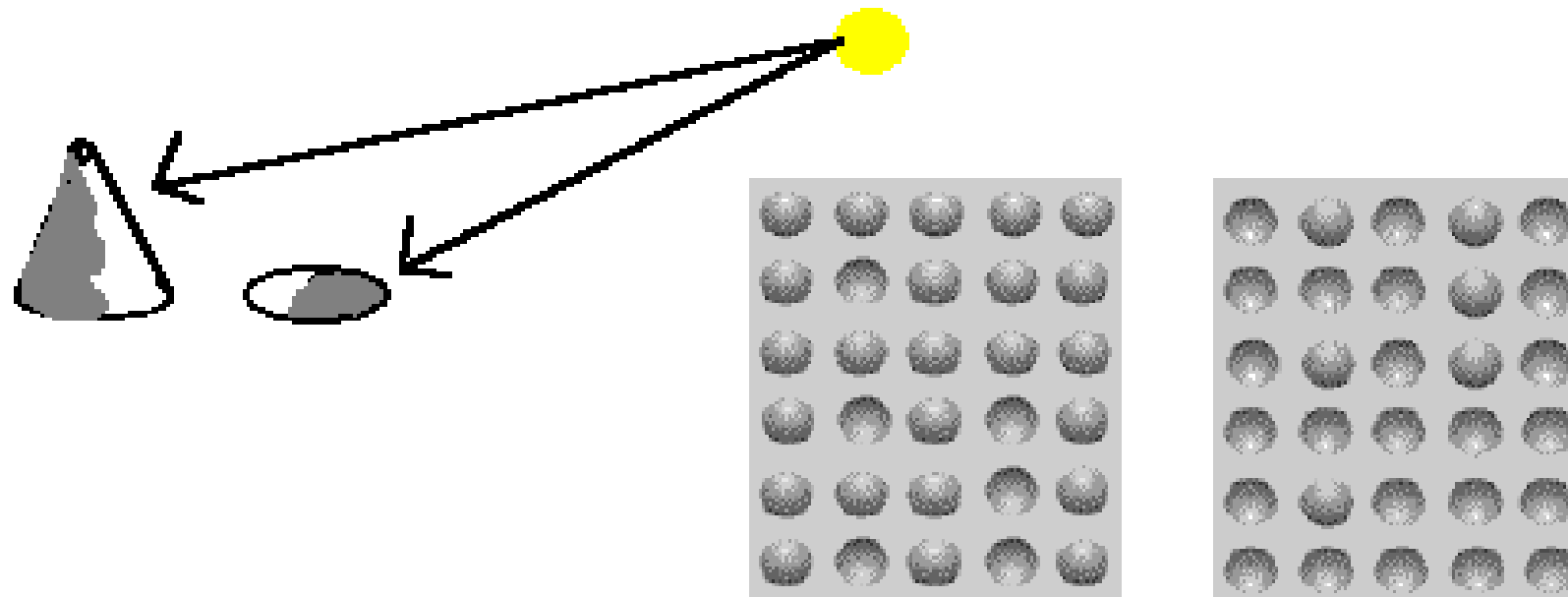
Texturgradient (Texture Gradient)

Die meisten Oberflächen wie Wände, Straßen oder ein Blumenfeld besitzen eine Textur. Je weiter die Oberfläche in den Bildhintergrund verläuft, desto feiner und glatter sieht die Textur aus.



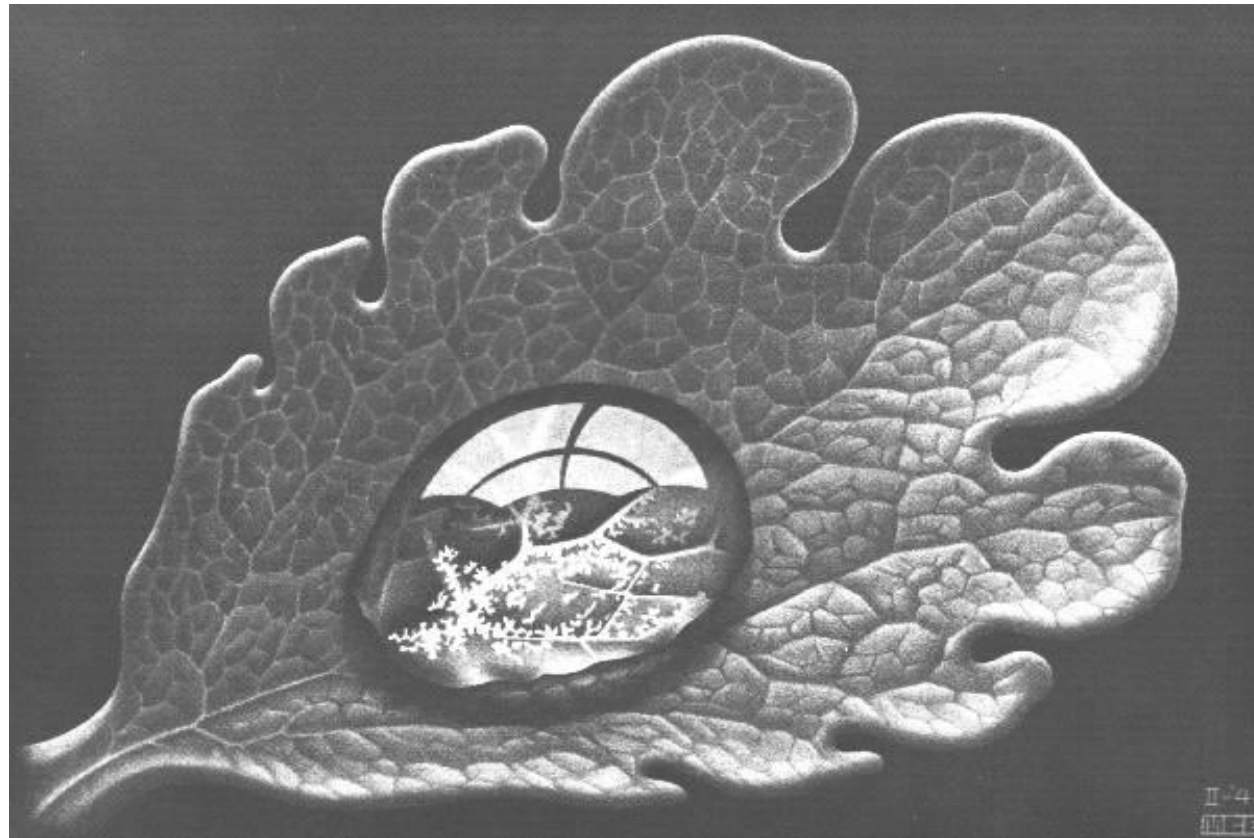
(Bildquelle: John H. Krantz)

Schatten (Shadows / Shading)



(Bildquelle: John H. Krantz)

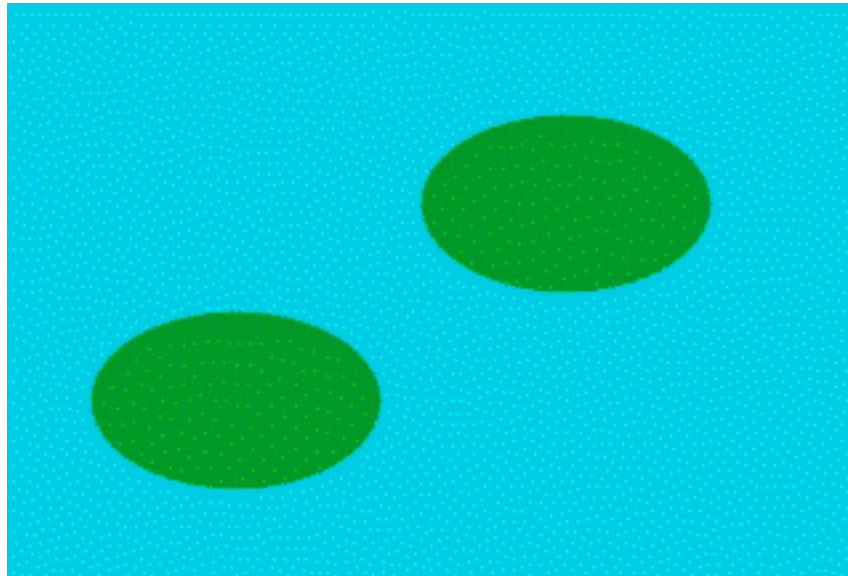
Schatten (Shadows / Shading)



(Bildquelle: John H. Krantz)

Aerial Perspective

Weit entfernte Objekte neigen dazu aufgrund der Atmosphäre verschwommen zu wirken



(Bildquelle: John H. Krantz)

Hören

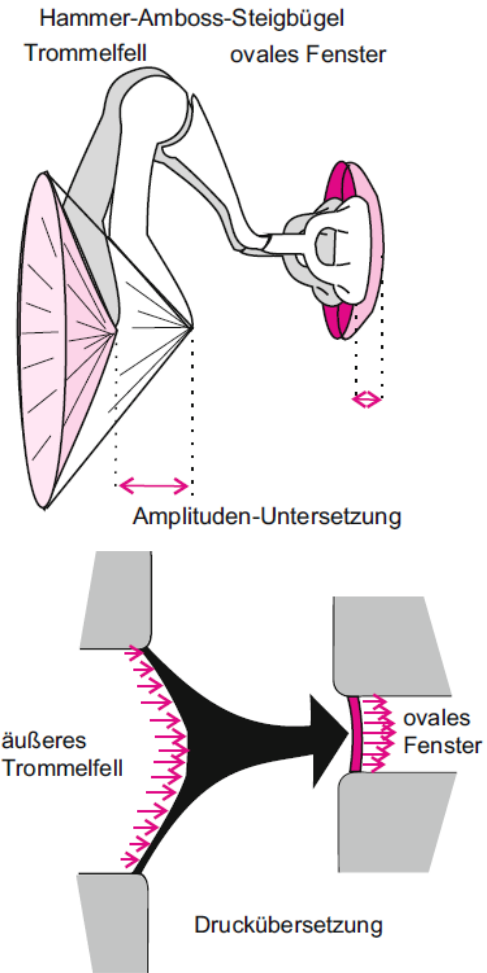
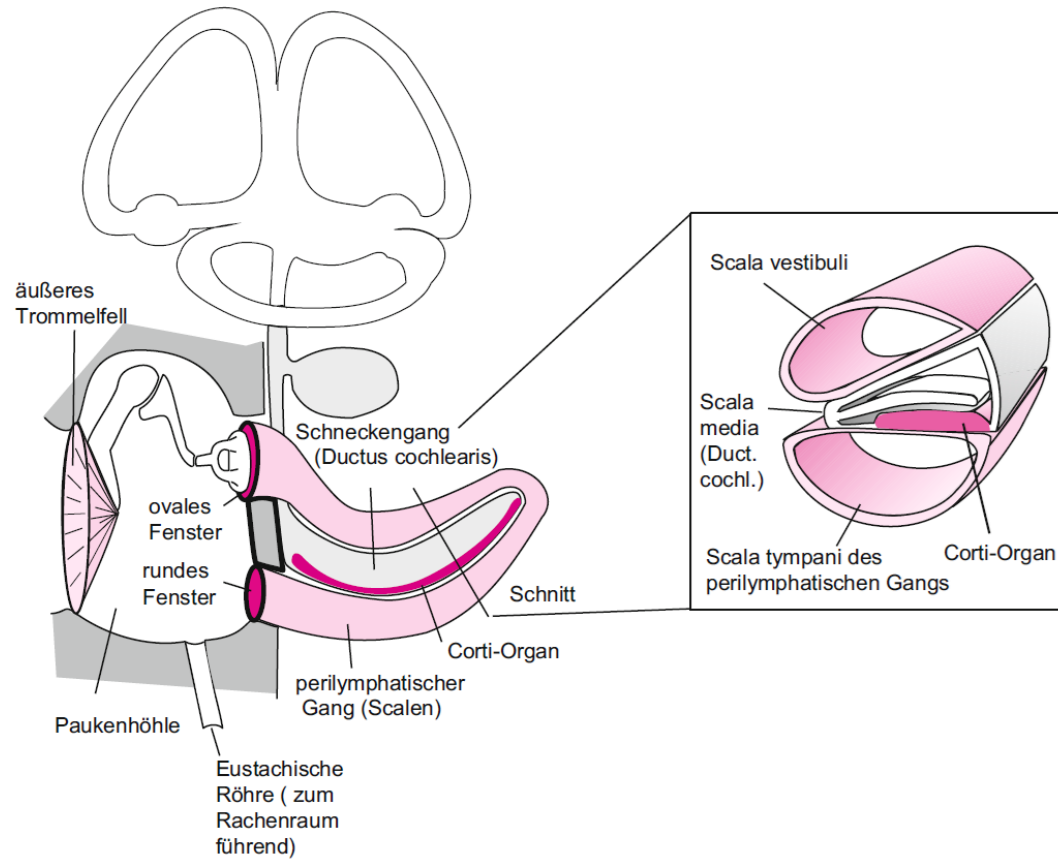
Stimulus: Schall

Schall:

- Druck- und Dichteschwankung
- Longitudinalwelle (Frequenz, Amplitude)

Physikalische Größe	Einheit	Physiologische Größe
Schalldruck	Pa	Lautstärke
Schallfrequenz	Hz	Tonhöhe
Niedrige Schallfrequenz		Tiefer Ton
Hohe Schallfrequenz		Hoher Ton

Organ: Ohr



(Bildquelle: Müller und Frings 2009)

Tonhöhe

Frequenz in Hz

Hörgrenzen:

- 16 Hz und 20.000 Hz (Mörrike 1989)

Obere Grenze stark abhängig von

- Alter
- Bereits erfolgter Belastung
- Verminderung bis auf 5.000 Hz

Lautstärke - akustisch

Schalldruck p

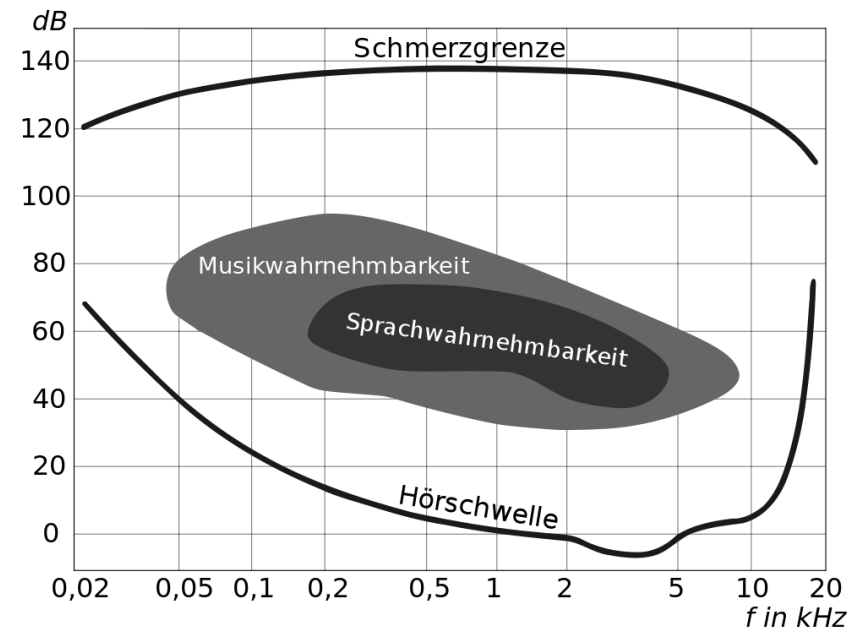
- Einheit: Pa

Schalldruckpegel L_p

- Sound Pressure Level (SPL)
- $L_p[\text{dB}] = 20 \log(p_1/p_0)$
- p_0 = Definierte Hörschwelle
 - $20\mu\text{Pa}$ in Luft (bei 1kHz)

reale Hörschwelle:

- 0 dB bei 2 kHz
- 3 dB bei 1 kHz
- 60 dB bei 30 Hz und 15 kHz
- -5 dB bei 3,5 - 4 kHz



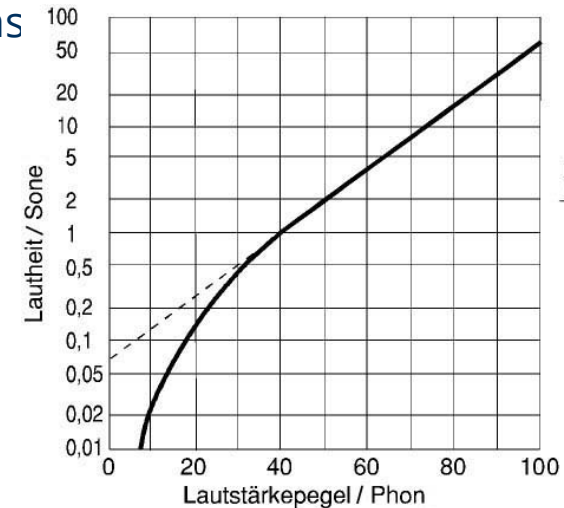
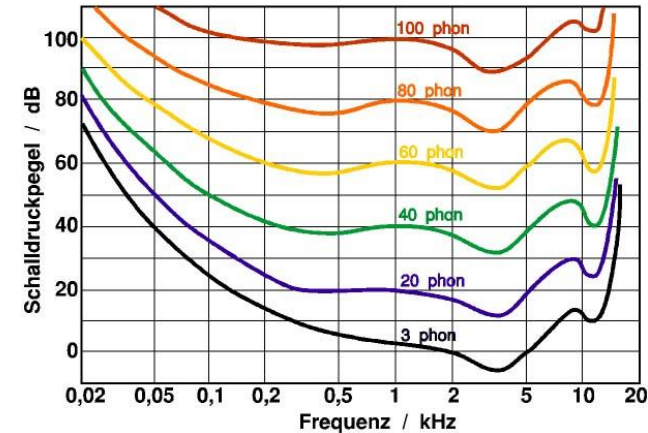
Lautstärke - psychoakustisch

Lautstärkepegel L

- Subjektive Lautstärke in phon
- frequenzunabhängige Lautstärke
- 1 phon = 1 dB bei 1 kHz
- reale Hörschwelle: 3 phon

Lautheit N

- Subjektive Lautheit in sone
- proportionalen Abbildung des menschlichen Lautstärkeempfindens
- 1 sone = 40 phon = 40 dB (bei 1 kHz)
- linear für $L > 40$ phon (Verdopplung von N alle 10 phon)



Messung von Schallereignissen

Schallpegelmessung (dB)

- Lärmmessung

Ohrgerichte Messung (dBA):

- Dämpfungsfilter → bewerteter Schallpegel db (A),dbA
→ DIN 45633

Lautheit (sone)

- Bewertung der Geräuschemissionen von Netzteilen/Computern

Lautstärkepegel (phon)

- Vergleich von Schalldruckpegel und Lautheit

HINWEIS: VL Akustik

Themen

- Physikalische Akustik
- Hör- und Sprachakustik
- Elektroakustik
- Raumakustik

→ Lehrstuhl für Kommunikationsakustik

- Prof. Ercan Altinsoy
- Sommersemester

Fühlen

Sensibilität (Fühlen)

Kein ausgezeichnetes Sinnesorgan

Unterscheidung in

- Oberflächensensibilität (Taktile Wahrnehmung)
- Tiefensensibilität (Propriozeption)

Haptisches System

- "Tastsinn"
- Aktive Bestimmung („Erführung“) von Objekteigenschaften
 - Größe
 - Kontur
 - Oberfläche
 - Gewicht
 - ...

Oberflächensensibilität

Sensoren der Haut

schnell, undifferenziert

- Temperaturwahrnehmung (Thermorezeption)
- Schmerzwahrnehmung (Nozizeption)

genau

- Mechanorezeptoren (Goldstein 1997)
 - Druck
 - Berührung
 - Vibration
 - Dehnung

passive Wahrnehmung = taktile Wahrnehmung

Tiefensensibilität (Propriozeption)

Schwere- und Kraftsinn, Kinästhetik (Bewegung)

integriert Sinneseindrücke von Muskel-, Sehnen- und Gelenkmechanorezeptoren sowie der äußeren Sinne

Auflösung

- Schultergelenk
 - Drehungen $> 0,2^\circ$
 - Geschwindigkeiten $> 0,3^\circ/s$
- Fingergelenk
 - Drehungen $> 1^\circ$
 - Geschwindigkeiten $> 12^\circ/s$.
- Vergleich von Gewichten und Kräfte in beiden Händen
 - Genauigkeit $\sim 3\%$ (Völz 1999, Rühmann u. Schmidtke 1992)

Gestaltung von MMST

Sehen: Akkomodationsgerechte Gestaltung

Umfokussierung anstrengend, Nahpunkt altersabhängig, ...

- Etwa gleiche Abstände von Bildschirm, Tastatur und sonstigen Bedienelementen
- Etwa gleiche Schriftgrößen bei unterschiedlich weit entfernten Anzeigeelementen
- Einstellbarer Abstand

Sehen: Abberationsgerechte Gestaltung

Aufeinander abgestimmte Farbschemata (weniger ist mehr)

Negativbeispiel

- rote Zeichen auf blauem Grund oder umgekehrt erfordern permanente Umfokussierung



Sehen: Berücksichtigung Ortsfrequenz

Farben

- für globale Markierungen
- keine einzelnen Buchstaben

Schwarz-Weiß

- feine Strukturen (einzelne Buchstaben, Schraffuren)

Farbe als Gestaltungsmittel nur sehr sparsam einsetzen

Gleichzeitige Verwendung von vielen Farben zur Informations-Codierung vermeiden

Sehen: Hell-Dunkel-Adaption

Möglichst wenig Adaptionsvorgänge bei Arbeit an Bediensystemen

- Intensive, gleichmäßige Arbeitsplatzbeleuchtung
- Angleichung der Helligkeit der Arbeitsmittel
 - Leitwarte: viel Papierarbeit -> weißer Bildschirm-Hintergrund
 - Feld/Anlage: nicht ausgeleuchtete Bereiche und dunkle Farben → evtl. schwarzer Bildschirm-Hintergrund
 - Auto: Tag/Nachtdesign

Hören: Gestaltungsrelevante Eigenschaften

(Zühlke 2012)

Eigenschaften des Ohres	Anforderungen an das Bediensystem
Wahrnehmbare Schallfrequenz zwischen 16 und 20.000 Hz, bzw. 5.000 Hz im Alter	Töne nur im Bereich von 250 bis 4.000 Hz einsetzen
Hörgrenze (4dBA) frequenzabhängig	Töne im Bereich zwischen 1.000 und 4.000 Hz einsetzen; hier liegt die größte Empfindlichkeit des Gehörs.
Hörbereich zwischen 4 dBA und (Hörgrenze) und 120 dBA (Schmerzgrenze)	Systeme auf Lautstärkepegel zwischen 30 dBA und 110 dBA auslegen

Fühlen: Gestaltungsrelevante Eigenschaften

Taktile Wahrnehmung

- Unterschiedliche Oberflächen von aktiven und passiven Elementen

Propriozeption

- Minimale Anzahl Rastungen in Drehschaltern

Temperatur und Schmerz

- nicht bzw. nur sehr bedingt für die MMI geeignet (Kurze 1998)

Zusammenfassung

Mensch wichtiger Teil eines MMST

- Kenntnisse über Menschen für Optimierung eines MMST notwendig
- Sensorik und Aktorik als Schnittstellen

Menschliche Sensorik

- Sehen bietet höchste Informationsdichte
- Hören für Stimulus Schall
- Fühlen als haptische Rückmeldung sehr direkt und genau

Ergonomische MMST-Gestaltung

- Berücksichtigt die naturgegebenen menschlichen Fähigkeiten

Literatur

- Mallot, H.A. (1998). Sehen und die Verarbeitung visueller Informationen. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- Müller, W. und Frings, S. (2009). Tier-und Humanphysiologie: Eine Einführung. Springer-Verlag.
- Wickens, C. D., & Carswell, C. M. (2006). Information processing. Handbook of human factors and ergonomics, 4.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., & Gordon-Becker, S. (2004). Introduction to human factors engineering, 2. Auflage.
- Zühlke, D. (2012). Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-22074-6>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Leon Urbas, leon.urbas@tu-dresden.de