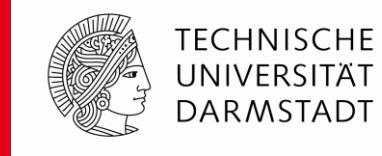


Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung

**Visual Computing
Winter Semester 2025-2026**



Prof. Dr. A. Kuijper

Mathematical and Applied Visual Computing (MAVC)
TU Darmstadt & Fraunhofer IGD
Fraunhoferstrasse 5
D - 64283 Darmstadt

E-Mail: office@gris.tu-darmstadt.de
<http://www.gris.tu-darmstadt.de>
<https://www.igd.fraunhofer.de>

Semesterplan



Datum	Thema
24. Okt	Einführung + Visual Computing
31. Okt	Wahrnehmung
07. Nov	Objekterkennung und Bayes
14. Nov	Fourier Theorie
21. Nov	Bilder
28. Nov	Bildverarbeitung
05. Dez	Grafikpipeline & Eingabemodalitäten & VR+AR
12. Dez	Transformationen & 2D/3D Ausgabe
19. Dez	3D-Visualisierung
16. Jan	X3D – 3D in HTML
23. Jan	Informationsvisualisierung
30. Jan	Farbe
06. Feb	User Interfaces + Multimedia Retrieval
13. Feb	Puffer



Heute

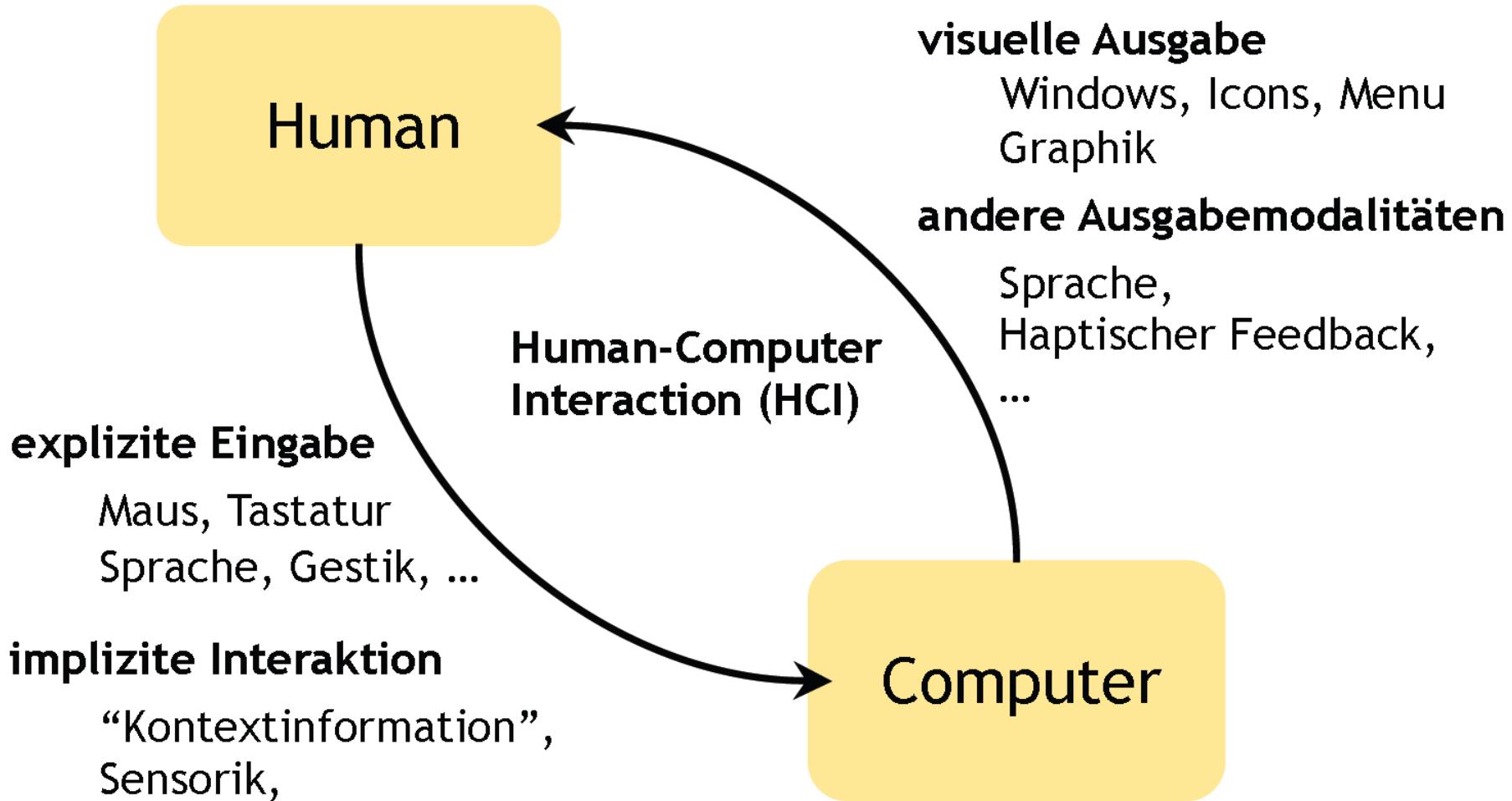


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- My toddlers train track is freaking me out right now
What is going on here!



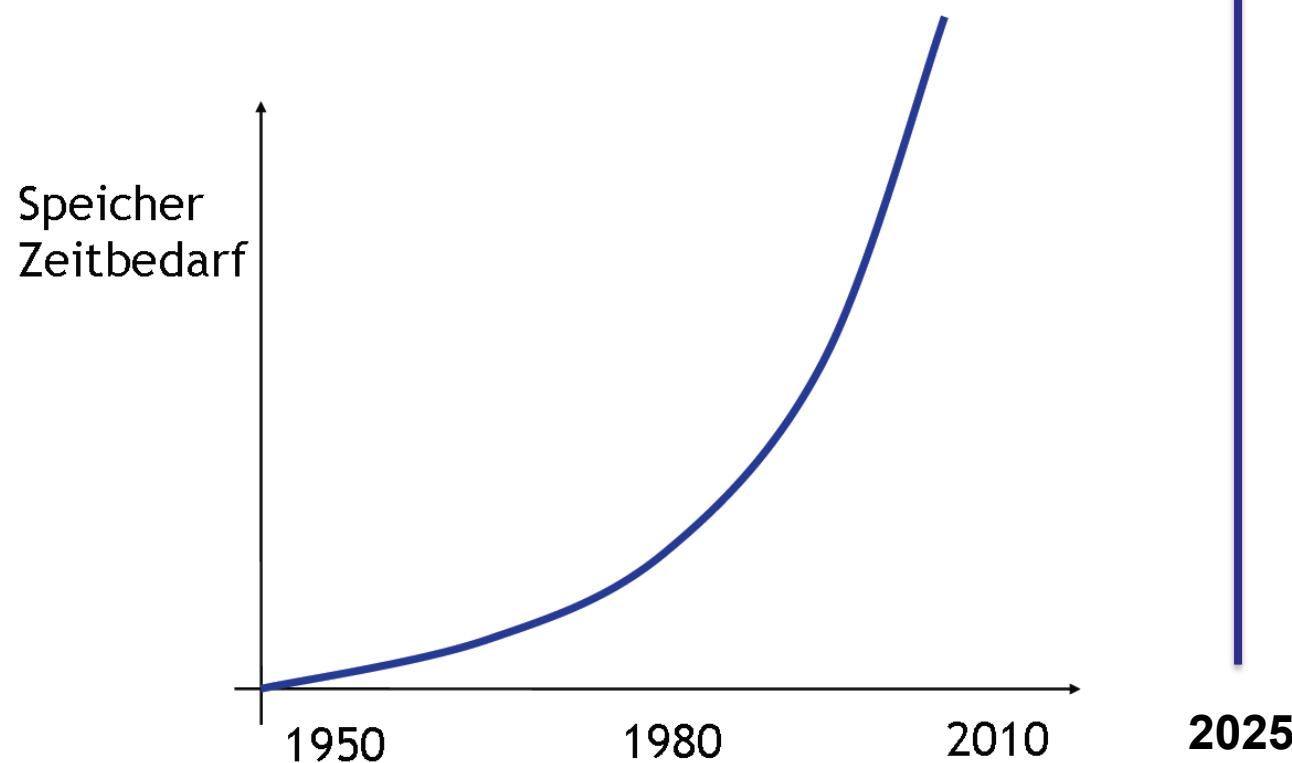
- http://www.magicmgmt.com/gary/oi_drag_arc/
- <http://www.michaelbach.de/ot/geom-Jastrow/capp/index.html>



Warum überhaupt VC?

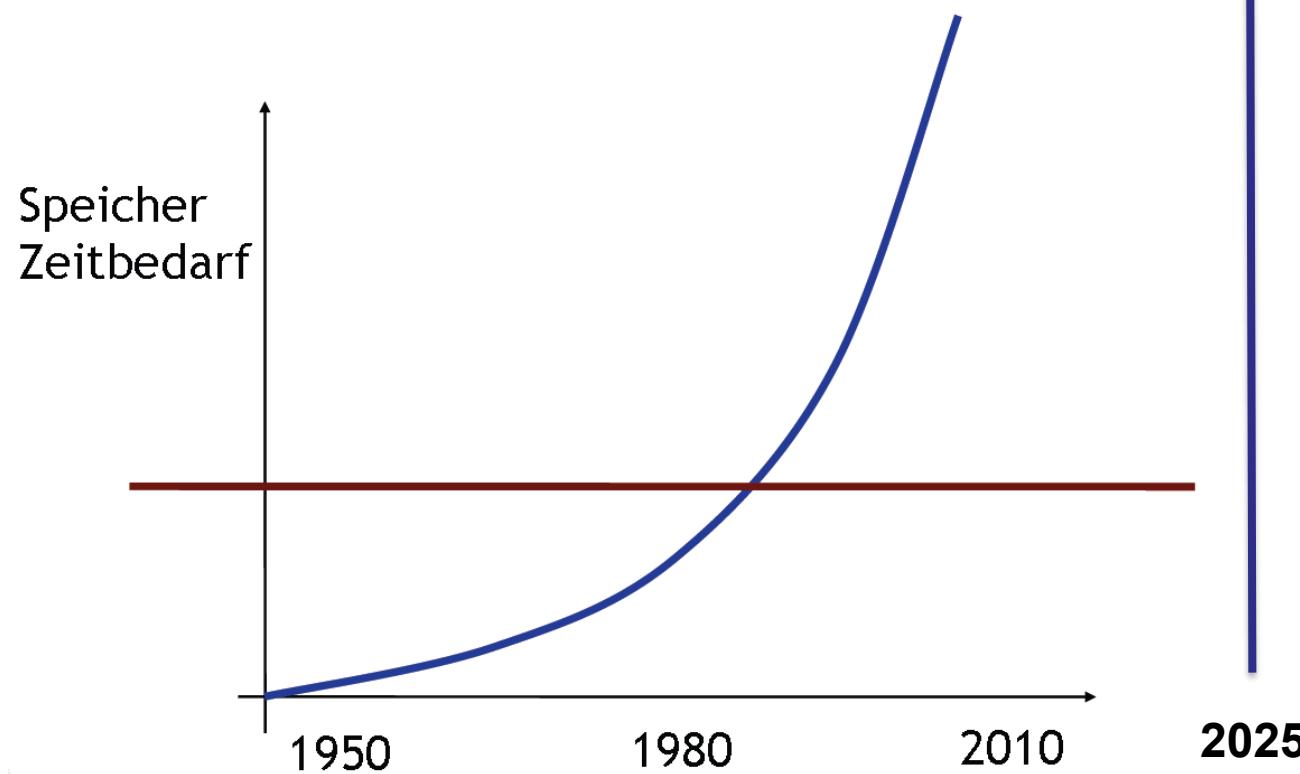


- Moore's Law:
 - Leistungsfähigkeit der elektronischen Rechner wächst exponentiell mit der Zeit

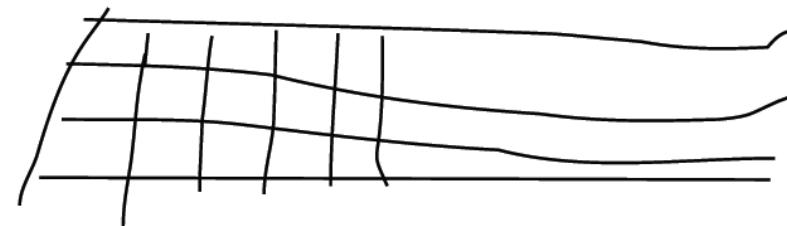
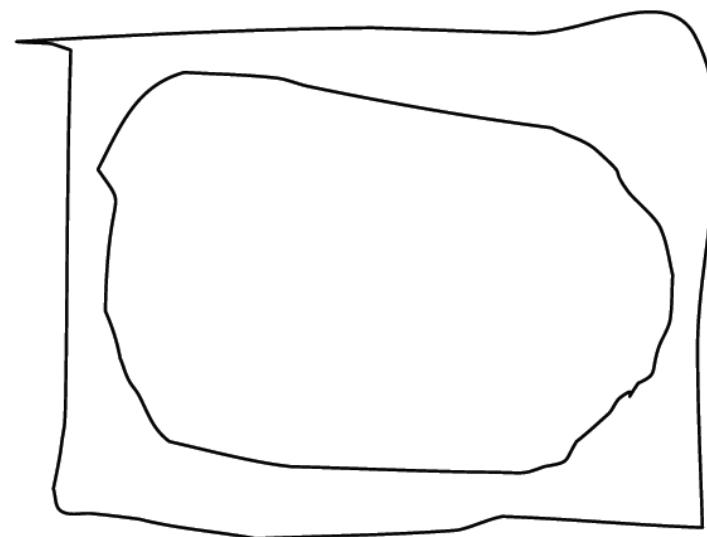


Warum überhaupt VC?

- **Darwin's Law:**
 - Die Kapazität von Menschen ist (fast) konstant



- Malen Sie einen Computer in 15 Sekunden!





Im Wesentlichen: Visuelle Interaktion und Kommunikation

Das Auge – das Fenster zur Seele – ist das Hauptmittel, durch welches der Verstand die unendlich vielen Werke der Natur in der vielfältigsten Weise betrachten kann.

Leonardo da Vinci
(1452 - 1519)

Das kann mal schief gehen: Der Sandmann (1816) – E.T.A. Hoffmann!

Zentral:

- Das Augenmotiv
- Das Verhältnis Mensch – Maschine

Wahr-nehmung?



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Don't believe what you hear

Don't believe what you see

U2 – Acrobat (Achtung Baby, 1991)

Was ist Wahrheit?

Pontius Pilatus – Joh. 18,38 (ca. 33)

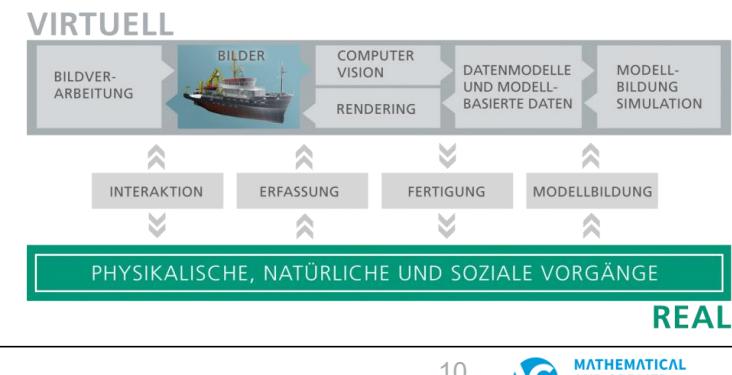
„*Hier stehe ich, ich kann nicht anders*“

Martin Luther im Jahr (1521, Reichstags in Worms)

Überblick

■ Allgemeiner Überblick und Kognition

- Wichtige Elemente bei der Modellierung der menschlichen Informationsverarbeitung
- Wahrnehmung
 - Das Auge
 - Vorverarbeitung visueller Information
 - Informationsextraktion, z.B. Tiefenwahrnehmung
- Aufmerksamkeit
 - „Gateway to Memory“
- Gedächtnis





Motivation

- 5 Sinne des Menschen:
 - Sehen, Hören, Fühlen, Schmecken, Riechen
 - Sehen, Hören, Fühlen derzeit dominant
- **Sehen** und das menschliche Auge
 - Heute sicherlich der *relevanteste* Sinn beim User Interface Design
 - Die meisten Bilder, die wir erzeugen, sollen der Kommunikation von und zum Menschen dienen
 - Man sollte das menschliche visuelle System kennen, um den Informationstransfer optimal zu gestalten.
 - Das menschliche visuelle System ist ein entscheidendes Glied in der Kette der Bilderzeugung (am Monitorausgang ist nicht das Ende des Informationsflusses!)
- **Hören und Fühlen**
 - Essentiell für Informationsaufnahme und Interaktion mit der *realen* Welt und dem *realen* Leben (d.h. außerhalb der Mensch-Maschine-Interaktion)
 - Essentiell für gute User Experience (d.h. innerhalb der Mensch-Maschine-Interaktion, z.B. Gaming, virtuelle Realität)
- **Schmecken, Riechen**
 - Oft auch (sehr!) wichtig



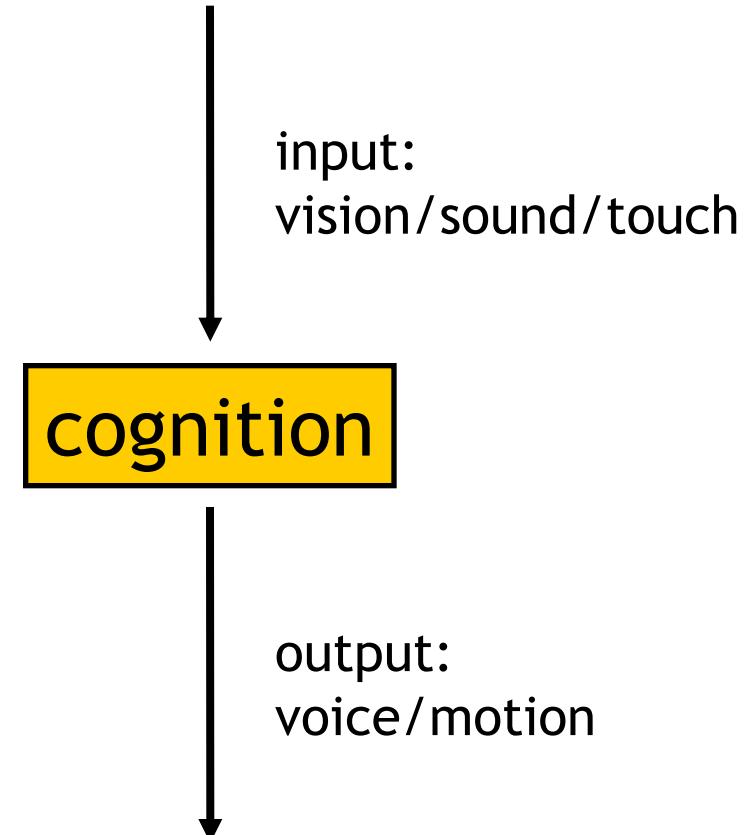
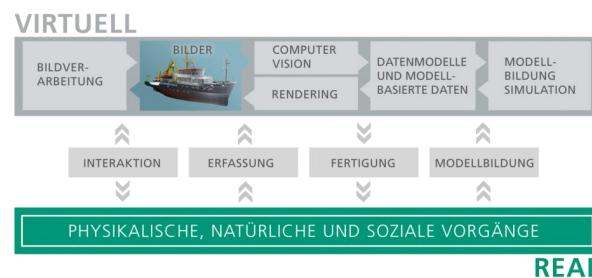
Ziele

- Vermittlung der wichtigsten psycho-physischen Grundlagen, um technische Systeme zu gestalten.
- Problembewusstsein:
 - Unsere Wahrnehmung ist nicht objektiv!
 - Das visuelle System ist stark nichtlinear:
 - Keine einfache Interpolation oder Extrapolation von Versuchsergebnissen.

Kognition

- Definitionen von Kognition:

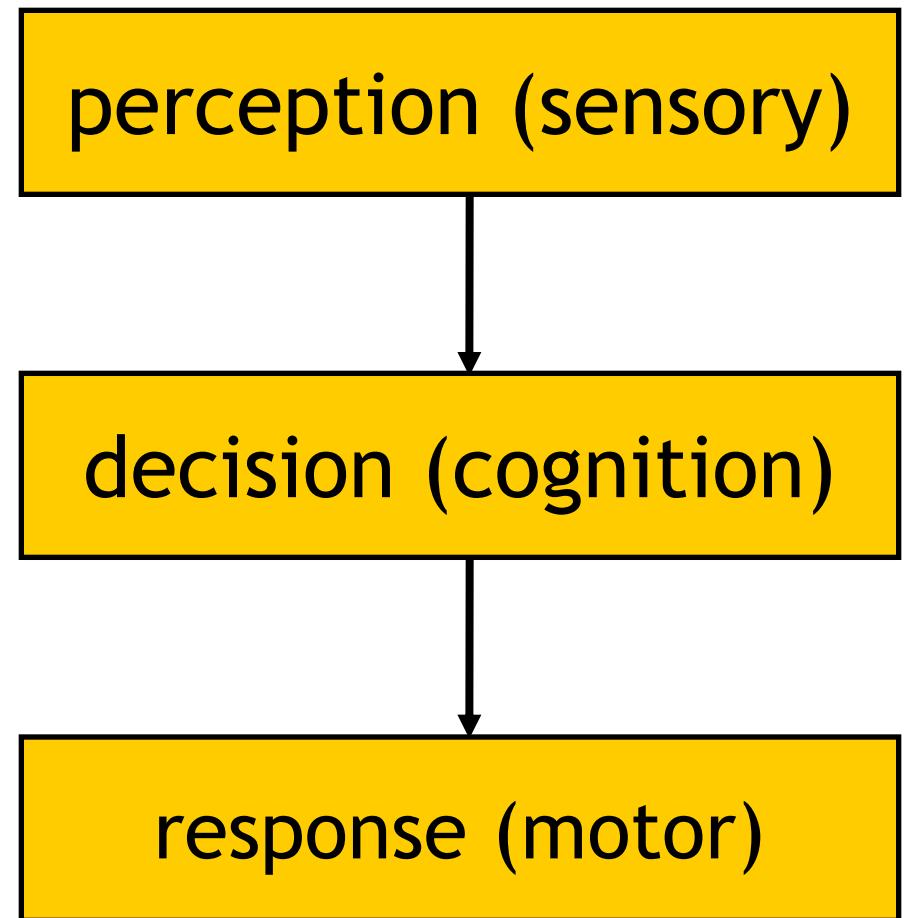
- **Brockhaus:** Kognition [lat. ‘das Erkennen’, ‘Kennen lernen’]: Sammelbegriff für alle Prozesse und Strukturen, die mit dem Wahrnehmen und Erkennen zusammenhängen (Denken, Erinnern, Vorstellen, Gedächtnis, Lernen, Planen u. a.)
- **Bertelsmann Lexikon der Psychologie:** Kognition: Überbegriff für alle Prozesse, die mit dem Erkennen einer Situation zusammenhängen: Wahrnehmung, Erkennen, Beurteilen, Bewerten, Verstehen, Erwarten



Modulares 3-Stufenmodell der menschlichen Informationsverarbeitung (model of mind)



- 3 Stufen
 - **Wahrnehmung** von Eindrücken durch die Sinne
 - **Entscheidungsfindung** im Gehirn
 - **Reaktion** durch den Körper
- Die Ausführungszeiten der Blöcke verhalten sich additiv
- Funktionen werden in neurologisch voneinander getrennten Gehirnteilen ausgeführt, die durch elektrische Pfade miteinander verbunden sind



Untersysteme der Wahrnehmung und Reaktion



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Untersysteme können (theoretisch) parallel arbeiten:
- Eingabe (Wahrnehmung / Perception):
 - Visuelles Untersystem für das Sehen (am besten erforscht)
 - Akustisches Untersystem für das Hören
 - Haptisches Untersystem für das Fühlen
- Ausgabe (Reaktion / Action):
 - Stimmliches (Artikulations-) Untersystem für das Sprechen
 - Motorisches Untersystem für die körperliche Bewegung



Bearbeitungszeiten

- Jedes Untersystem benötigt eine gewisse Zeit zur Bearbeitung

<i>Untersystem</i>	<i>Durchschnitt</i>	<i>Bereich</i>
Wahrnehmung (Perception)	100 ms	50-200 ms
Entscheidung (Cognition)	70 ms	25-170 ms
Reaktion (Motor)	70 ms	30-100 ms

- Diese Zeiten können dazu verwendet werden, um Performanz abzuschätzen bzw. vorherzusagen
 - Bildfrequenz in Filmen, sodass diese flüssig aussehen
 - Maximale Morsecode-Rate
 - ...



Klangwahrnehmung (audition)

- Hauptkomponenten von Klängen:
 - Klangfarbe (timbre)
 - Tonlage (pitch)
 - Lautstärke (loudness)
- Verschiedene Mechanismen zur Wahrnehmung und Interpretation
 - Z.B. Finden des Ursprungs durch zwei voneinander entfernte Ohren
- Spezialisierte und komplexe Wahrnehmung von verbalen Äußerungen
- Viele verschiedene Informationsarten werden durch nicht-sprachliche Geräusche mitgeteilt

Berührungswahrnehmung (touch / haptic sense)



- Komponenten:
 - Fühl- und Tastsinn (tactile): Temperatur, Schmerz, Druck, Oberflächenbeschaffenheit
 - Propriozeption (proprioception): Wahrnehmung der Bewegung und Lage der eigenen Körperteile
- Aktive und passive Berührungswahrnehmung:
 - Abtastung von Objekten durch gezielte Manipulation um bestimmte Eigenschaften der berührten Objekte abzuleiten.
- Starke Interaktionen mit Sehen und Hören:
 - Illusionen: System von komplexen Dominanzfaktoren im Falle sich widersprechender Informationen
 - User-Interface-Designer nutzen Illusionen gezielt aus, um bestimmte Informationen zu vermitteln



Motorische Benutzeroberfläche

- Kann auf verschiedene Weisen angewandt werden
 - Diskret (Schalter / Buttons): Tastatur, Lesen von Magnetstreifenkarten, ...
 - Kontinuierlich (Hebel / Handles): Maus, Lenkung, Geige, ...
- Beschränkt durch Geschwindigkeit, Stärke, Koordinationsvermögen, Wendigkeit, Größe, ...
- Neurologisch mit dem haptischen System verbunden (Reflexe)
- Muskelgedächtnis: Relevante Positionen im Raum werden gelernt z.B. unbewusstes Greifen nach der Gangschaltung im Auto; ihre Stellung verrät zudem den aktuell eingelegten Gang

Von der Wahrnehmung zur Reaktion: S-R (stimulus-response) compatibility



- Die Schwierigkeit einer Aufgabe ist teilweise bestimmt durch:
 - Die spezifischen Stimuli und angewandten Reaktionen
 - Die Art und Weise in welcher einzelne Stimuli und Reaktionen paarweise verbunden werden
- Kleines Experiment:
 - Die folgenden drei Folien enthalten jeweils eine Aufgabe:
 - Die **Farben** der Wörter sollen so **schnell wie möglich** benannt werden
 - Nach der dritten Aufgabe wird ausgewertet:
 - Welche Aufgabe war am schwierigsten zu lösen, welche am einfachsten?

Blau

Rot

Schwarz

Weiß

Grün

Gelb

Papier

Rücken

Haus

Plan

Punkt

Seite

Grün

Weiß

Gelb

Rot

Schwarz

Blau

Von der Wahrnehmung zur Reaktion: S-R (stimulus-response) compatibility



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Die Schwierigkeit einer Aufgabe ist teilweise bestimmt durch:
 - Die spezifischen Stimuli und angewandten Reaktionen
 - Die Art und Weise in welcher einzelne Stimuli und Reaktionen paarweise verbunden werden
- Kleines Experiment:
 - Die folgenden drei Folien enthalten jeweils eine Aufgabe:
 - Die **Farben** der Wörter sollen so **schnell wie möglich** benannt werden
 - Nach der dritten Aufgabe wird ausgewertet:
 - Welche Aufgabe war am schwierigsten zu lösen, welche am einfachsten?

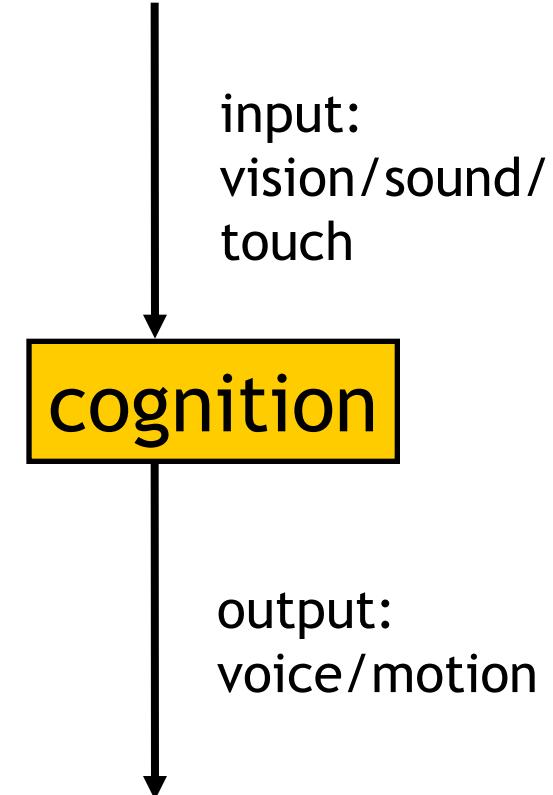


Überblick

- Allgemeiner Überblick und Kognition
 - Wichtige Elemente bei der Modellierung der menschlichen Informationsverarbeitung
- **Wahrnehmung**
 - **Das Auge**
 - Vorverarbeitung visueller Information
 - Informationsextraktion, z.B. Tiefenwahrnehmung
- Aufmerksamkeit
 - „Gateway to Memory“
- Gedächtnis

Reiz: Interpretation

- Ein äußerer visueller Reiz (Licht) erzeugt beim Menschen eine physikalische Rezeption des äußeren Reizes (Input)
 - Sensor (z.B. das Auge)
 - Physikalische Reizung produziert ein neuro-physiologisches Signal
- Interpretation (Kognition)
 - Verarbeitung und Interpretation des Reizes
 - mentale Verarbeitung, nicht objektiv, ...





Reiz: Elektromagnetische Strahlung

- Monochromatisches (einfarbiges) Licht wird beschrieben durch Angabe der Frequenz ν bzw. der Wellenlänge λ . Beide Größen sind durch die Beziehung

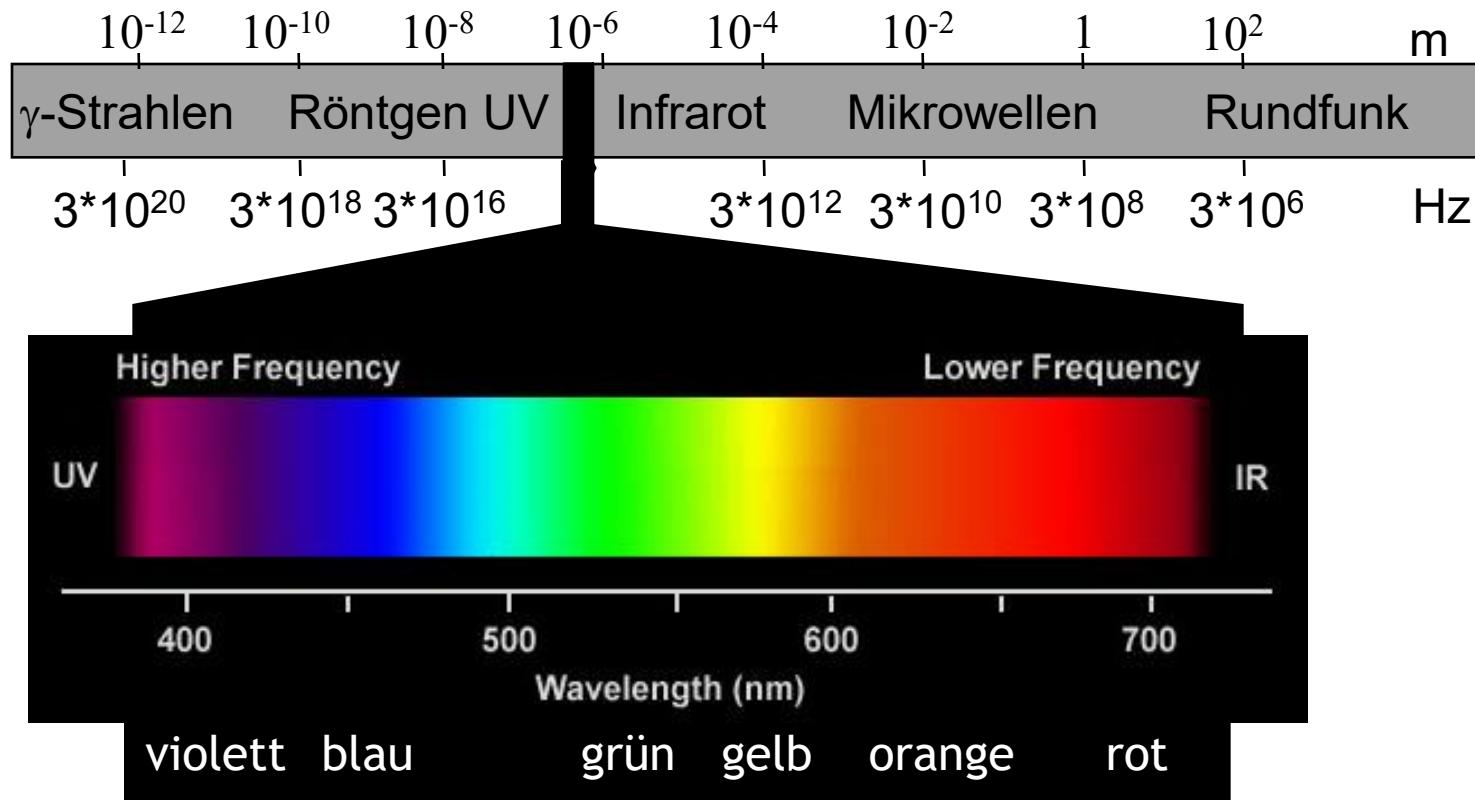
$$\nu \cdot \lambda = c$$

Frequenz • Wellenlänge = Ausbreitungsgeschwindigkeit
miteinander verknüpft, wobei

$$c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im Vakuum ist.

Reiz: Das Spektrum der EM Strahlung





Das visuelle System

- Aufbau und Funktion
 - Auge
 - Optischer Weg
 - Retina (Rezeptoren & frühe Verarbeitung)
 - Sehnerv
 - Sehrinde (visual cortex)

Der Aufbau des menschlichen Auges

- Optisch abbildende Elemente:

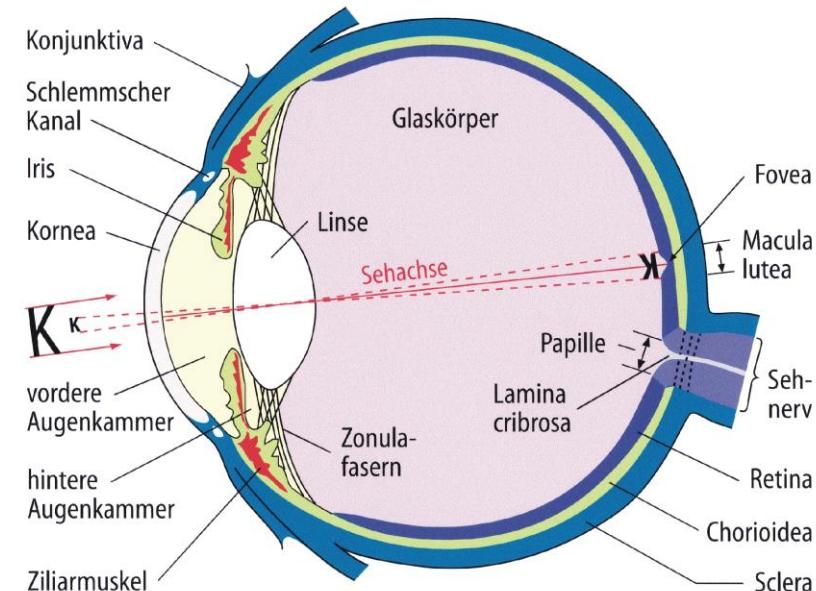
- Hornhaut (Kornea), Kammerwasser, Linse, Glaskörper
- Linse: Akkomodation (Scharfeinstellung)
fern: $f=17\text{mm}$, nah: $f=14\text{mm}$

- Iris

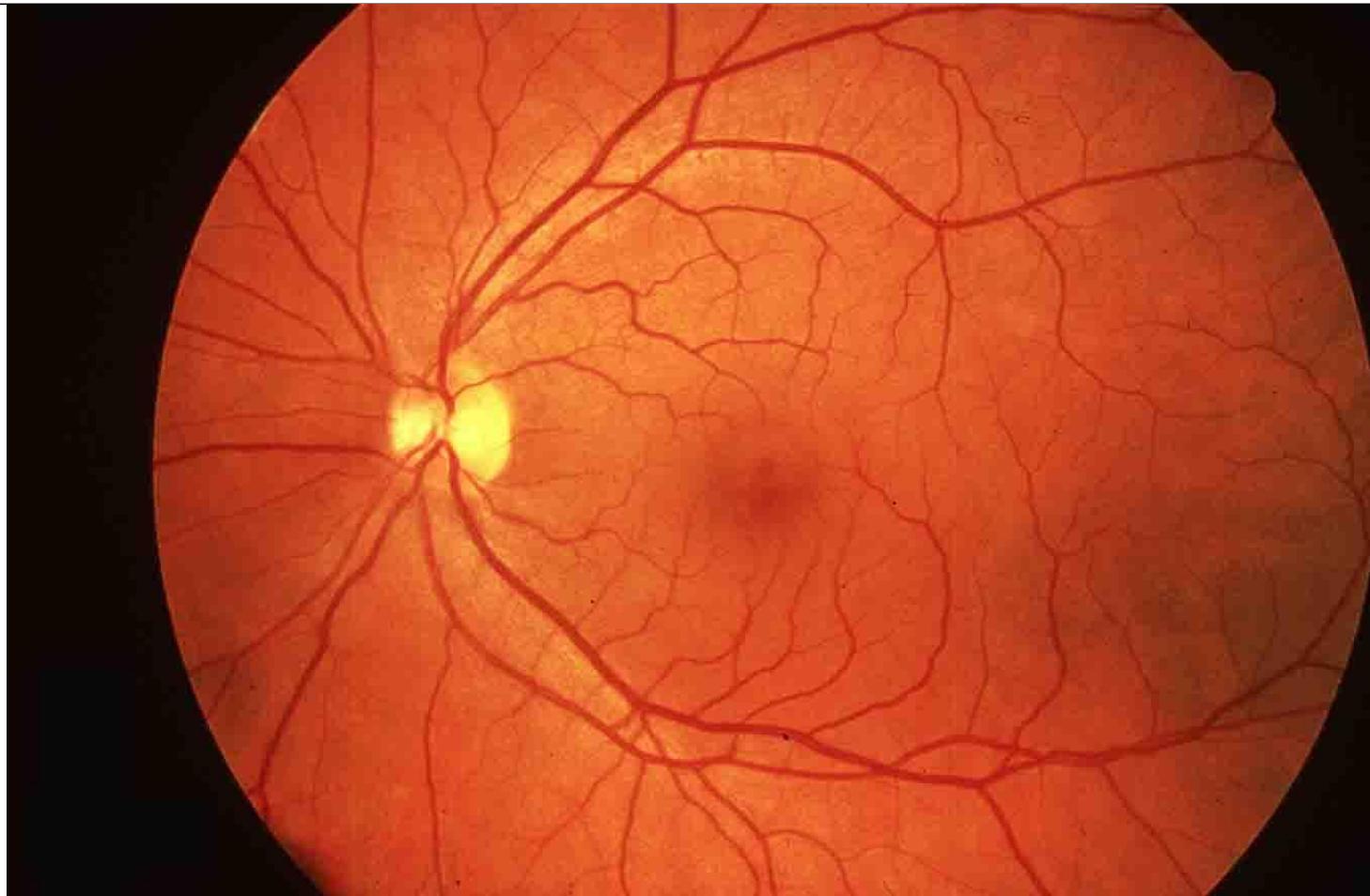
- Blendenmechanismus (2-8mm Öffnung)

- Retina (Netzhaut) mit Rezeptoren

- Blinder Fleck (papilla nervi optici) – 1.6mm Durchmesser (Sehnerv)
- fovea centralis: Bereich der höchsten Auflösung - 1,5mm Durchmesser (im gelben Fleck, macula lutea)

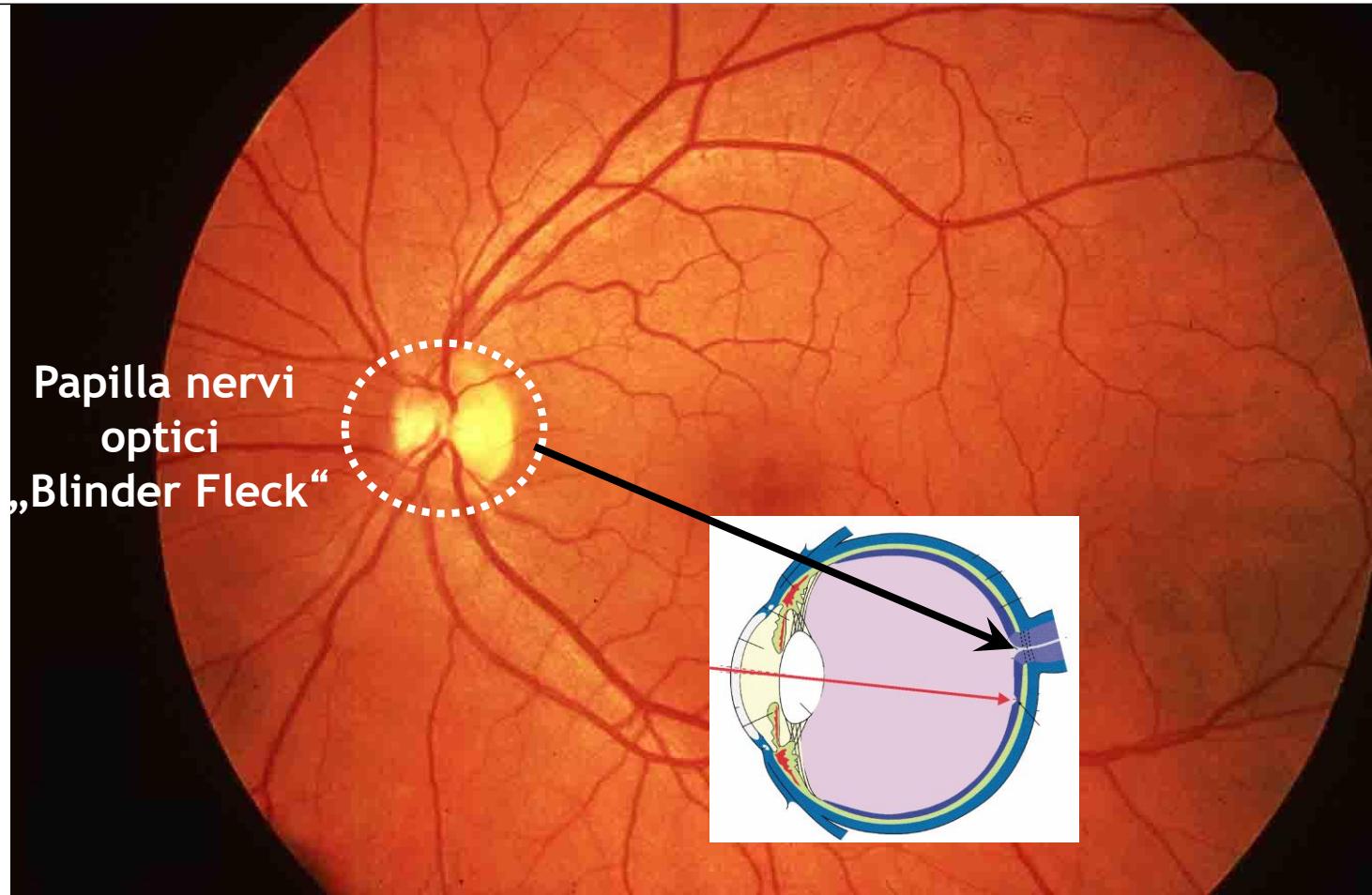


Blick auf die Netzhaut



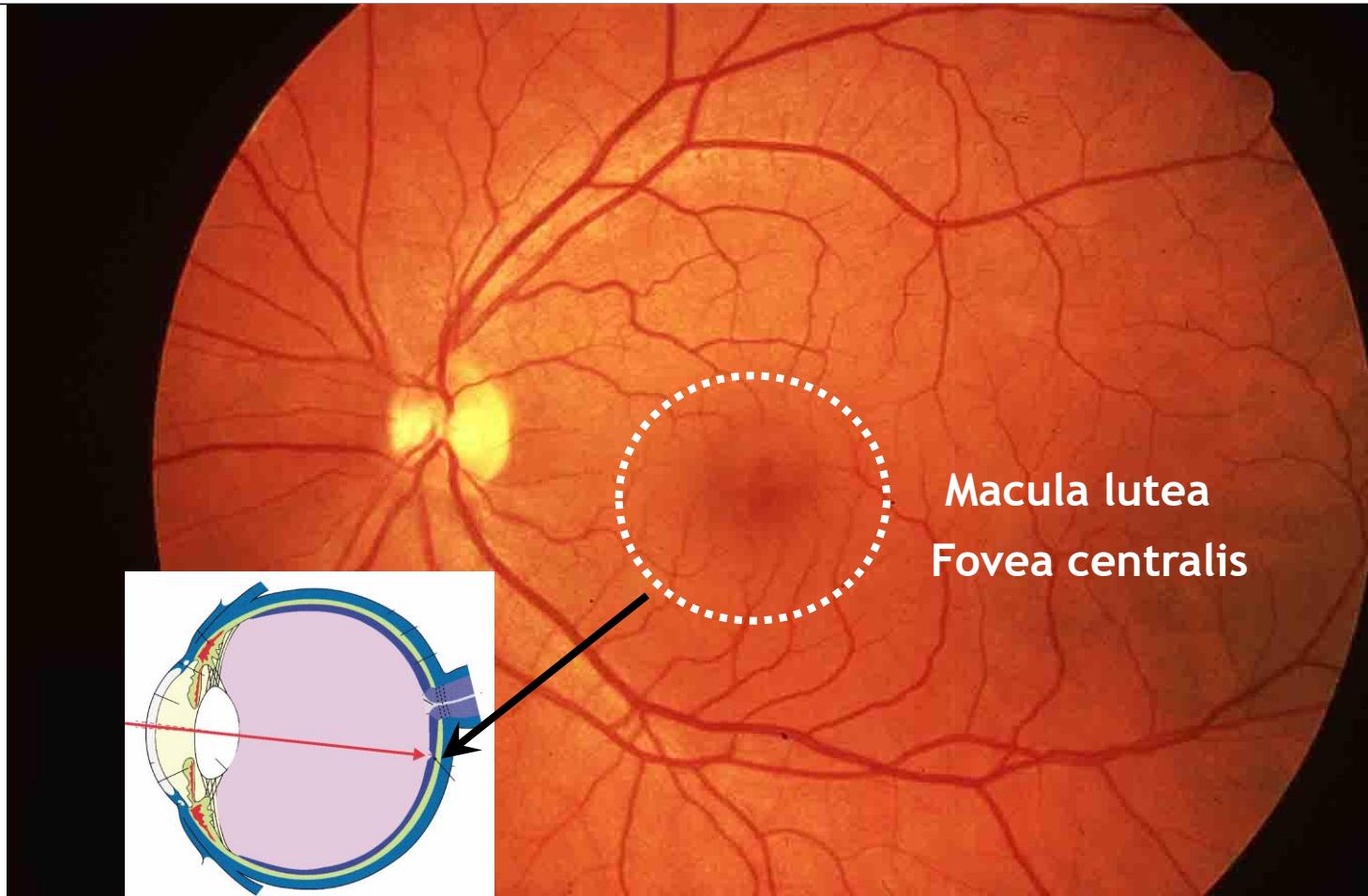
http://www.penneye.com/html/retina_vitreous.html

Blick auf die Netzhaut



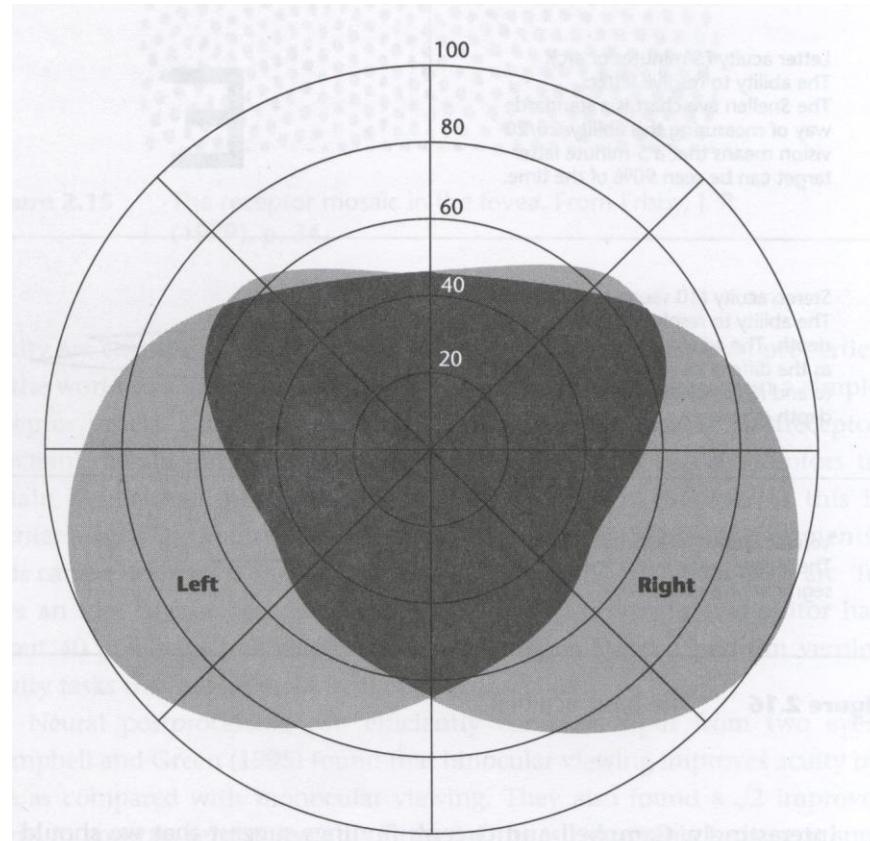
http://www.penneye.com/html/retina_vitreous.html

Blick auf die Netzhaut

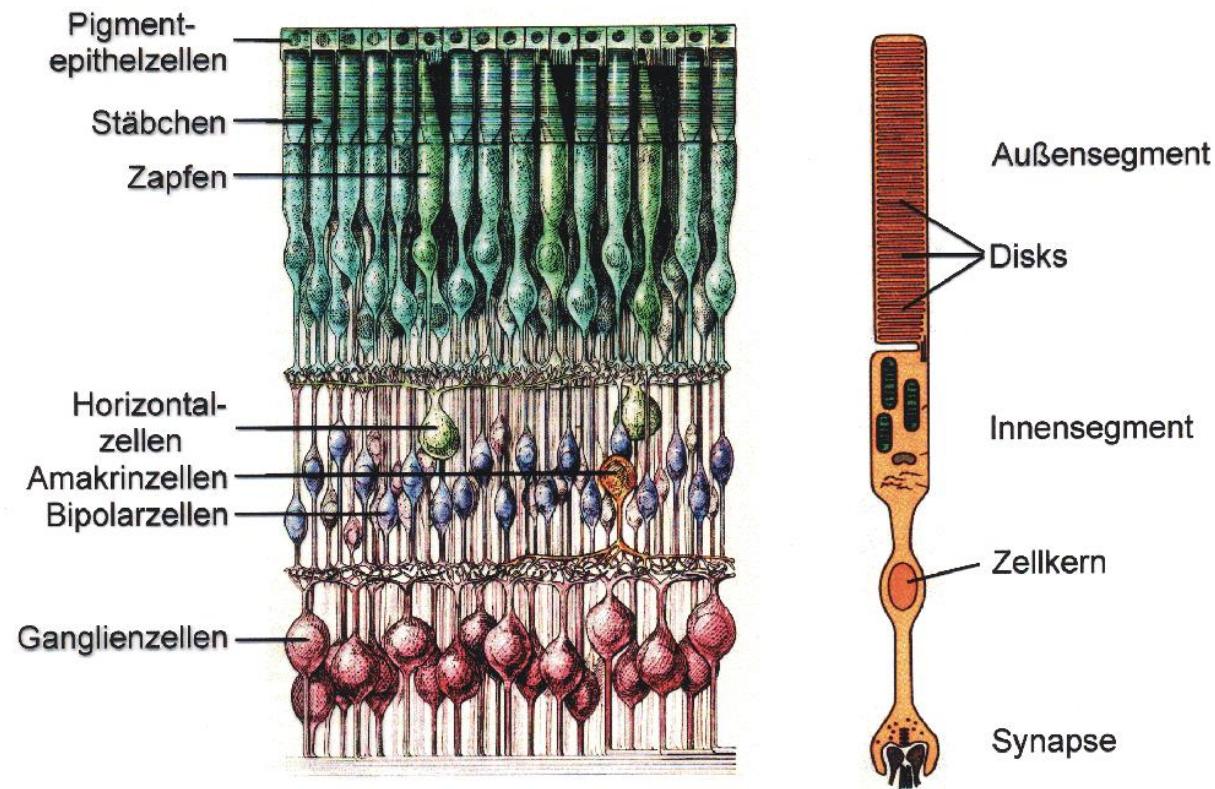
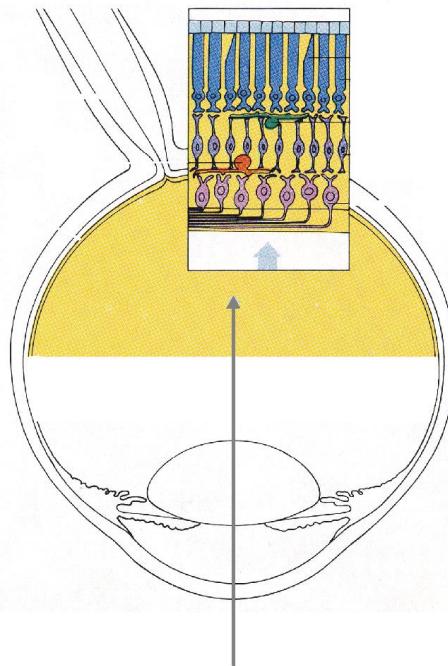


http://www.penneye.com/html/retina_vitreous.html

Gesamtsehfeld



Photorezeptoren (phos = Licht)

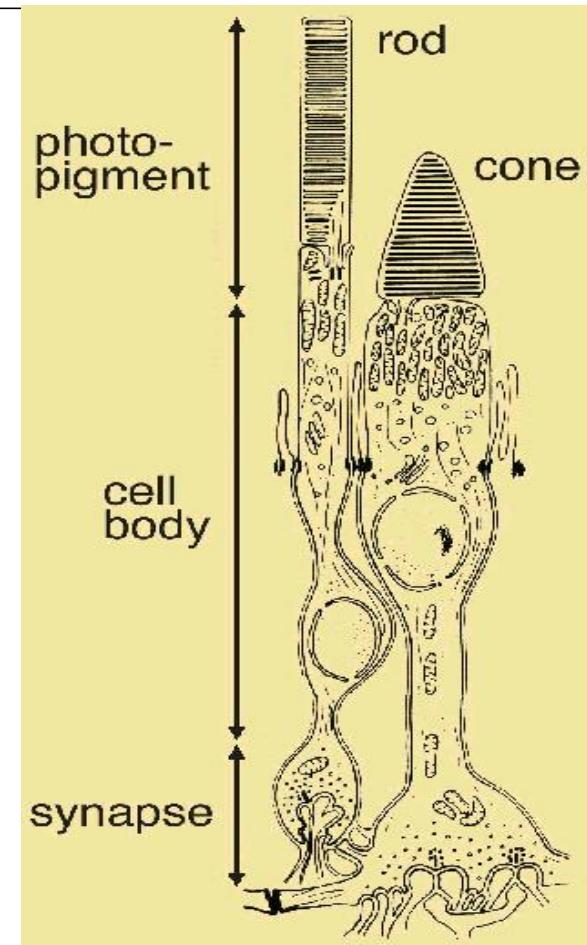


Quelle: Hubel, D.H. (1989) Auge und Gehirn. Spektrum Verlag, Heidelberg

Photorezeptoren

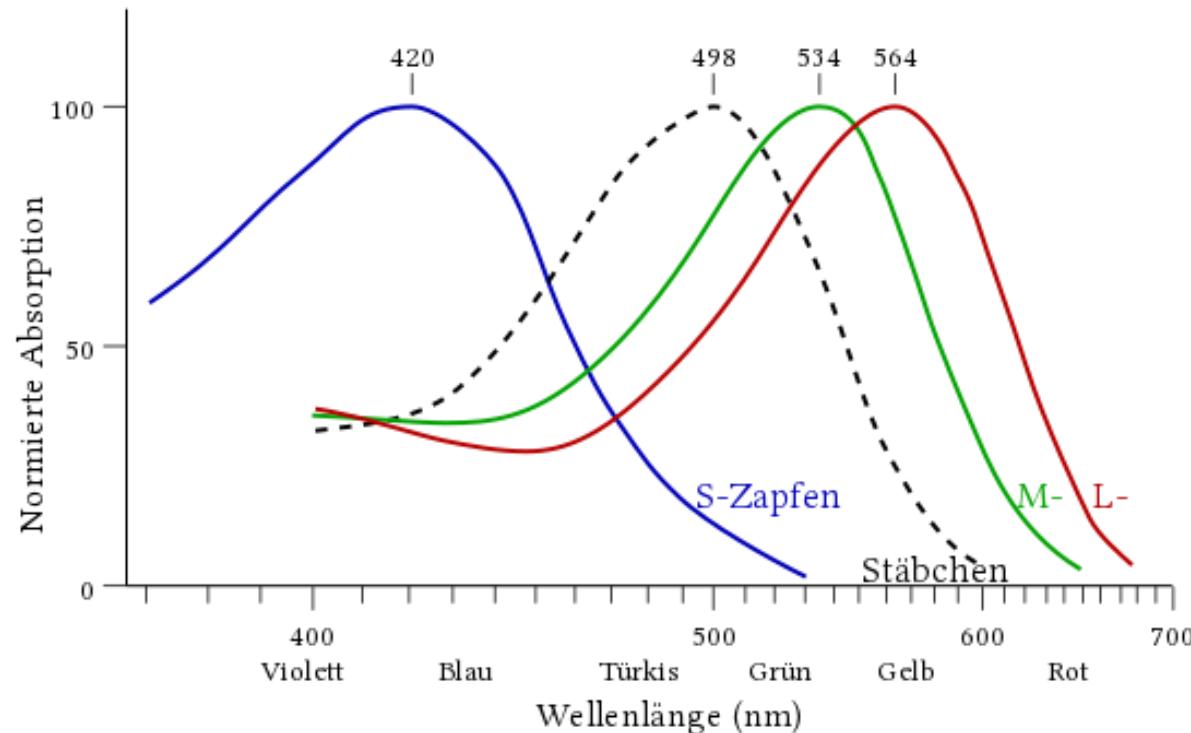
- Stäbchen (Rods)
 - 100 - 120 Mio.
 - Hauptsächlich ausserhalb der Fovea
 - Empfindlichkeitsmaximum bei 498 nm ("grün")

- Zapfen (Cones)
 - 7 - 8 Mio.
 - vor allem in der Fovea
 - 3 Zapfentypen (für Farbsehen)
 - Empfindlichkeitsmaxima bei 420 nm, 534 nm, 564 nm
 - Grob: blau, grün, rot

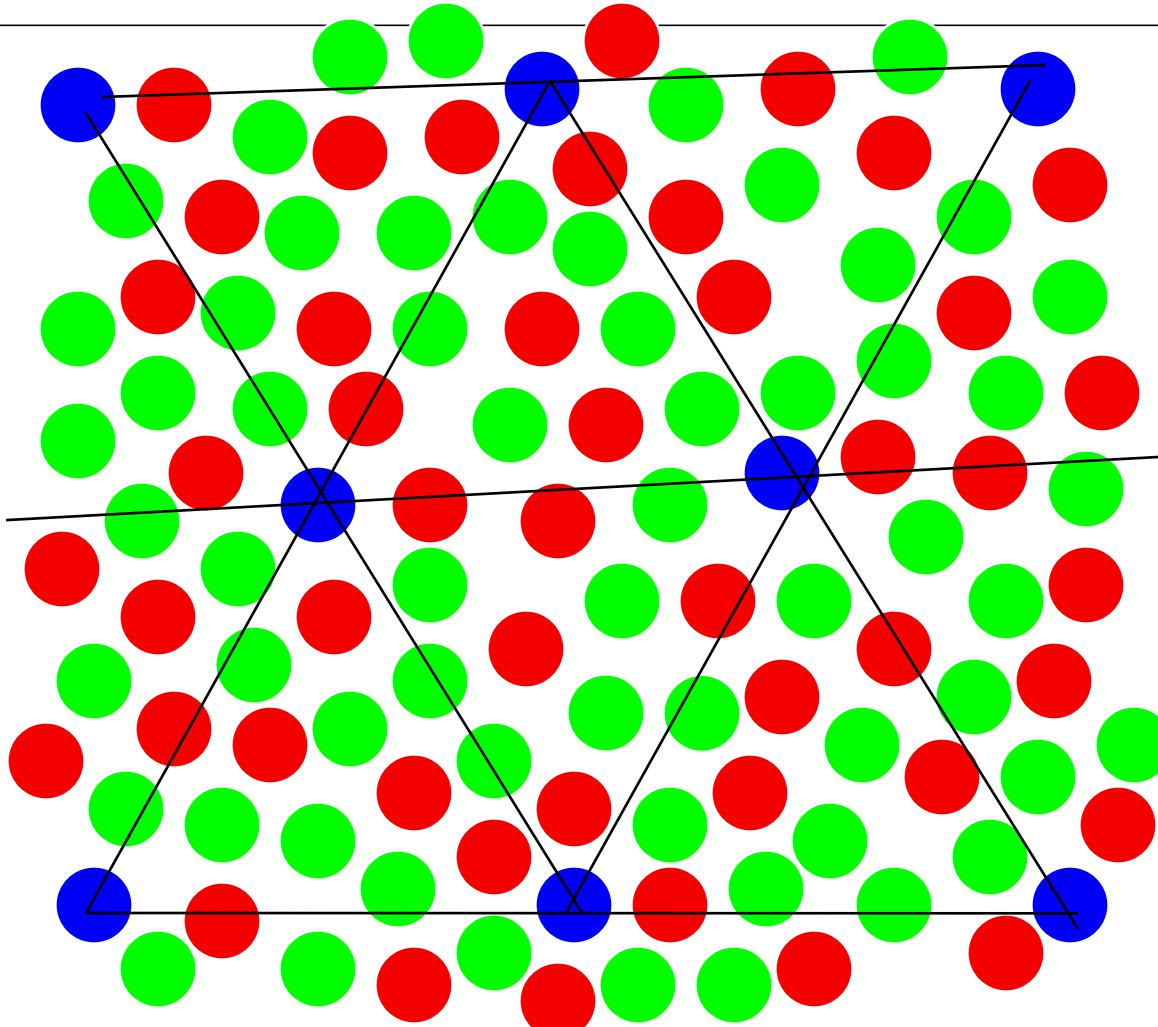


Skotopisches und photopisches Sehen

- Nachtsehen (skotopisch): Stäbchen (Rods) (R)
- Tagsehen (photopisch): Zapfen (Cones) (S,M,L)



Zapfenmosaik in der Fovea Centralis



10% S-Rezeptoren
B-blau

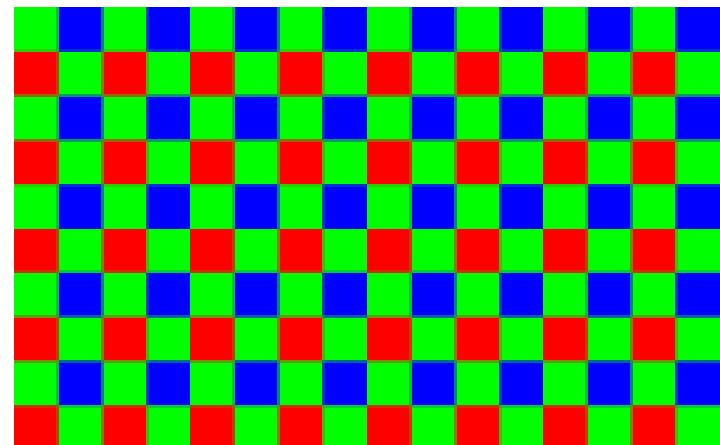
48% M-Rezeptoren
G-grün

42% L-Rezeptoren
R-rot

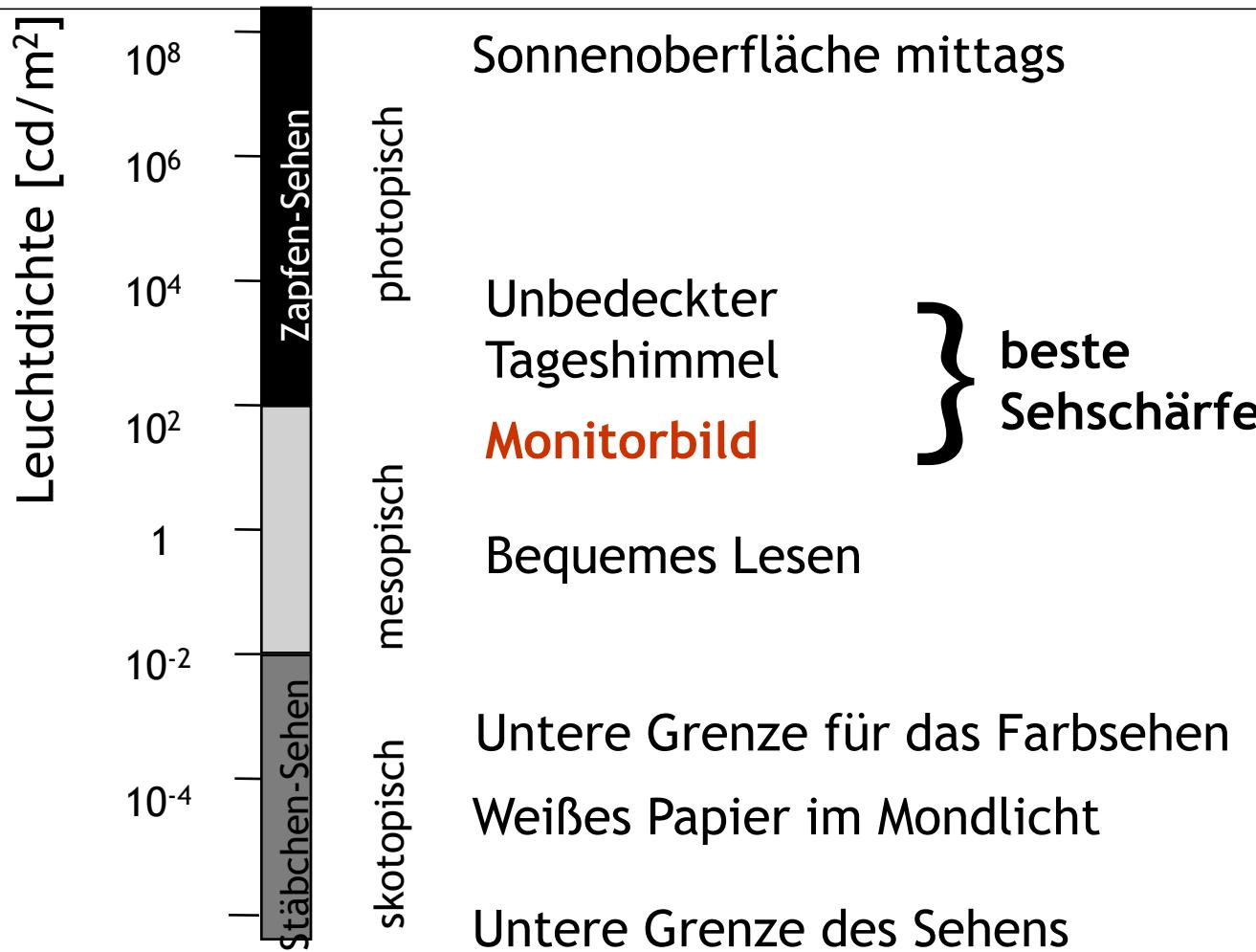
Intermezzo: Bayer Muster



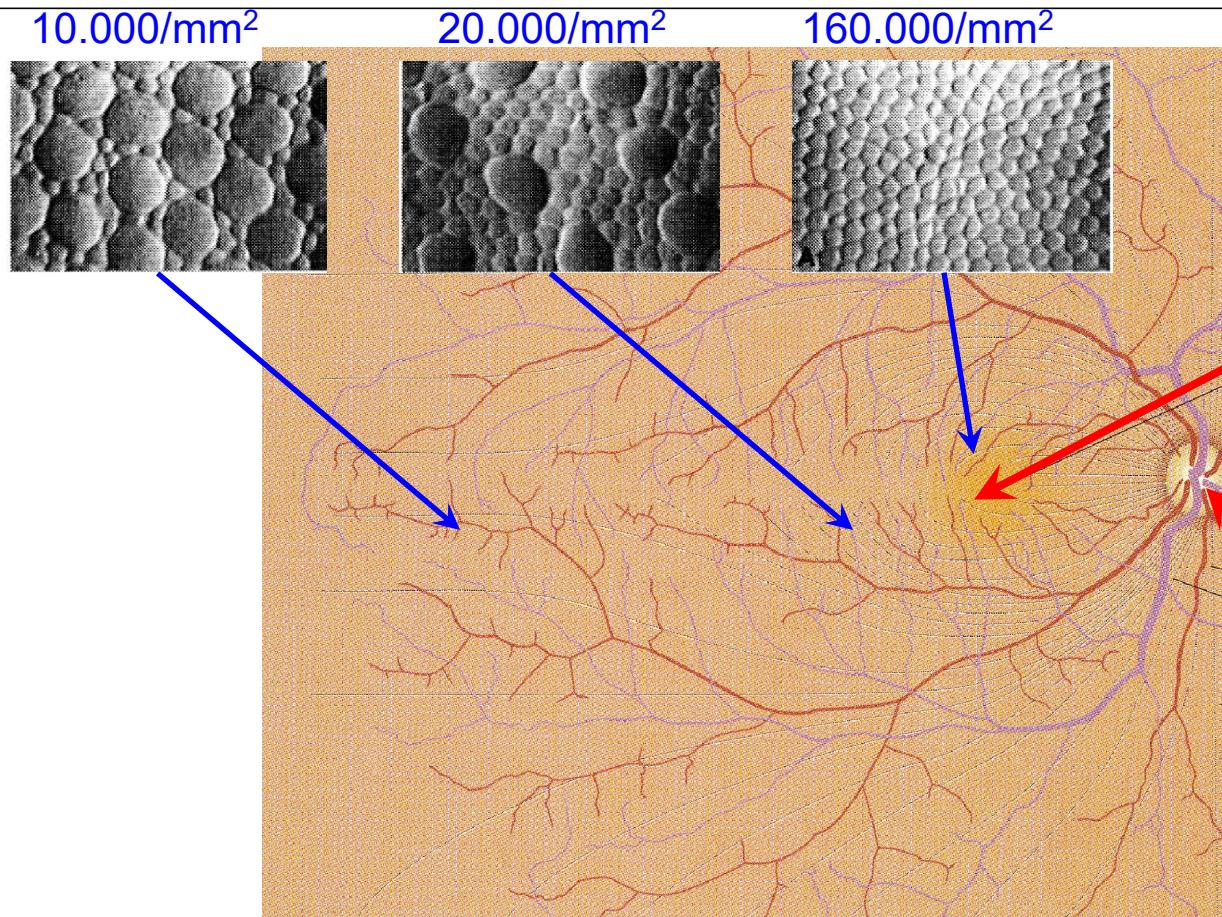
- Als **Bayer-Sensor** bezeichnet man einen Fotosensor, der – ähnlich einem Schachbrett – mit einem Farbfilter überzogen ist, welcher meist zu 50 % aus Grün und je 25 % aus Rot und Blau besteht.
- Grün ist in der Flächenzuweisung (und somit in der Auflösungsfähigkeit) privilegiert, da Grün (bzw. der Grün-Anteil in Grautönen) beim menschlichen Auge den größten Beitrag zur Helligkeitswahrnehmung und somit auch zur Kontrast- und Schärfe-Wahrnehmung leistet: 72 % der Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung von Grautönen wird durch deren Grünanteil verursacht, dagegen leistet Rot nur 21 % und Blau nur 7 %.
- Zudem ist Grün, als die mittlere Farbe im Farbspektrum, diejenige, für die Objektive i. d. R. die höchste Abbildungsleistung (Schärfe, Auflösung) liefern.
- Nach diesem Konzept der **Bayer-Matrix** (engl. *Bayer-Pattern*) arbeiten fast alle gebräuchlichen Bildsensoren in digitalen Foto- und Filmkameras.
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor>



Typische Leuchtdichtebereiche



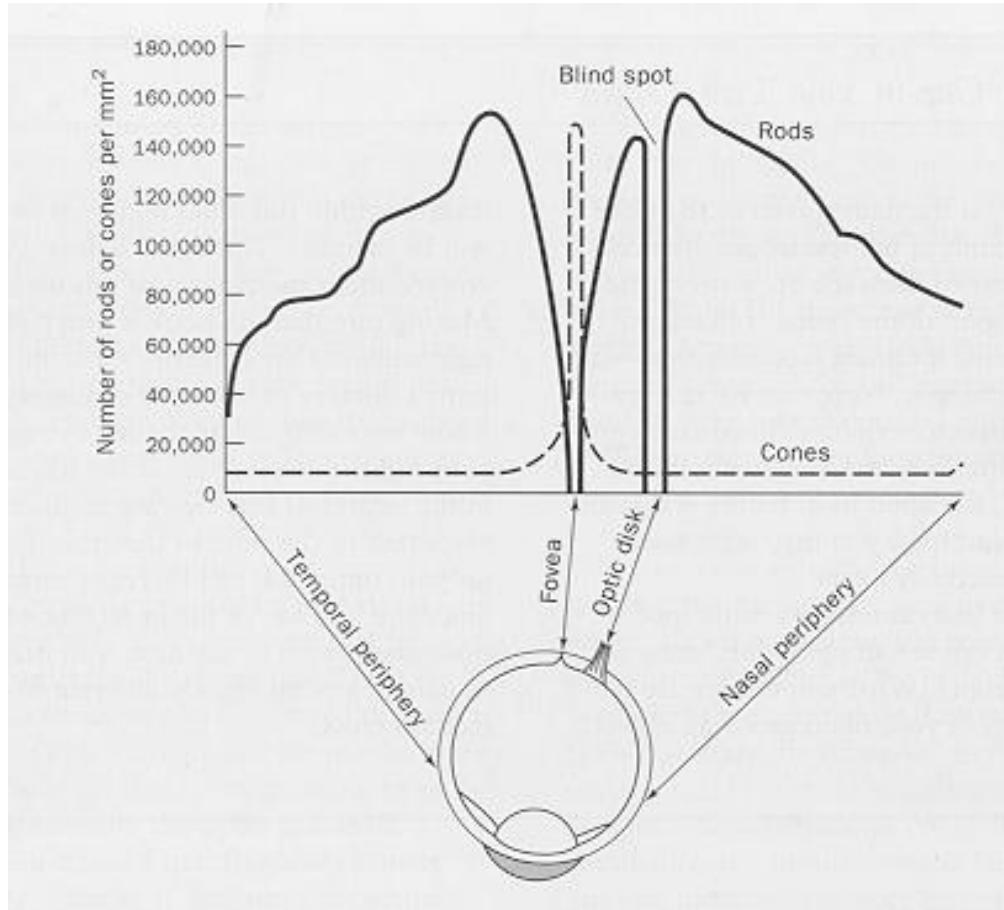
Zapfen sind nicht gleichmäßig verteilt



25 mm

Quelle: Rodieck, R.W. (1998) The first steps in seeing. Sinauer Ass.

Verteilung der Rezeptortypen



Zapfen - cones

Stäbchen - rods



Periphere Auflösung

X A D F G Q R S G H K L M B G U T H T R Y V H N U O G P O Q



Periphere Auflösung

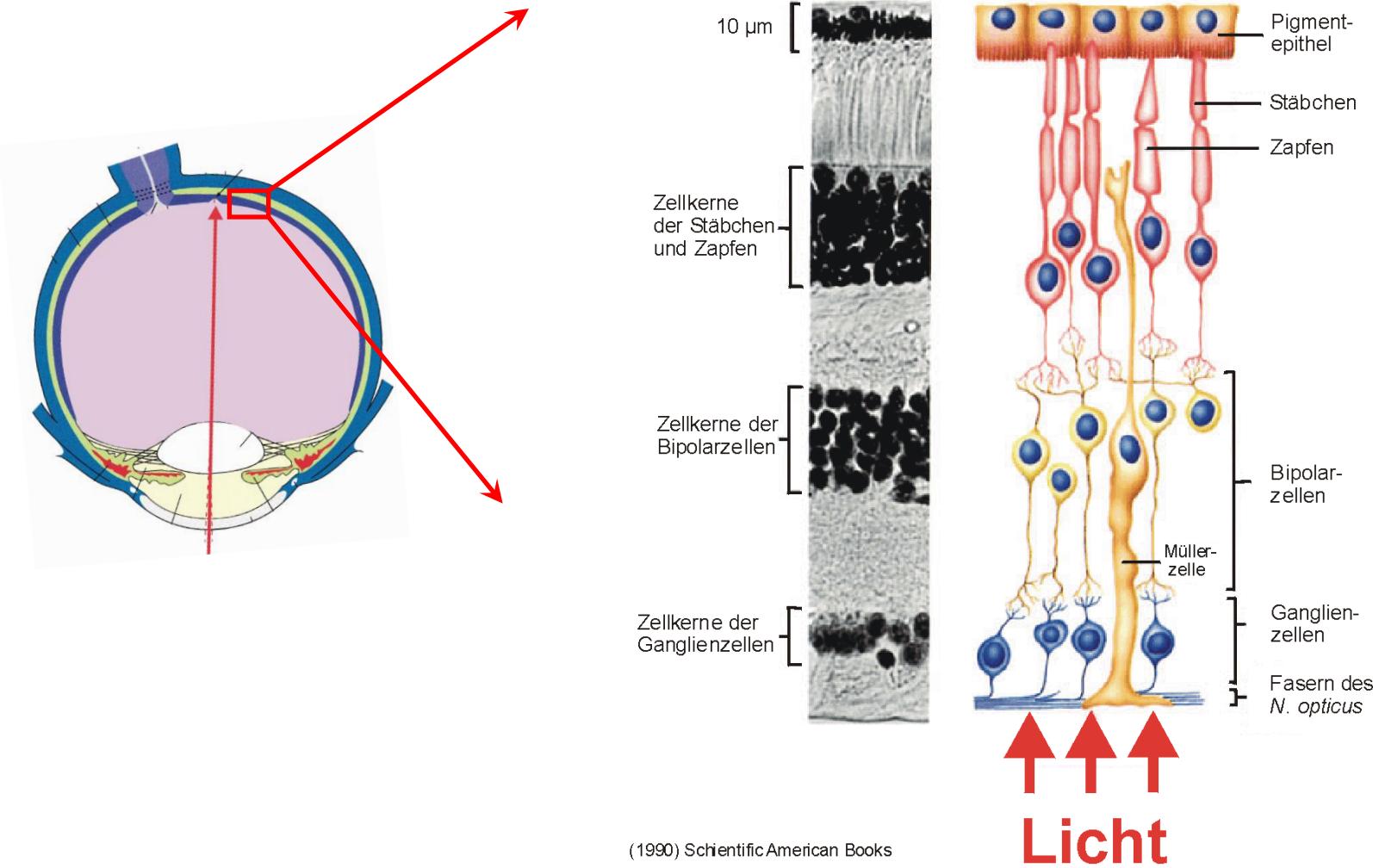
L C M O
C X A T
A I I E S R
T Y • A
F U C
C F N O N T
I I T



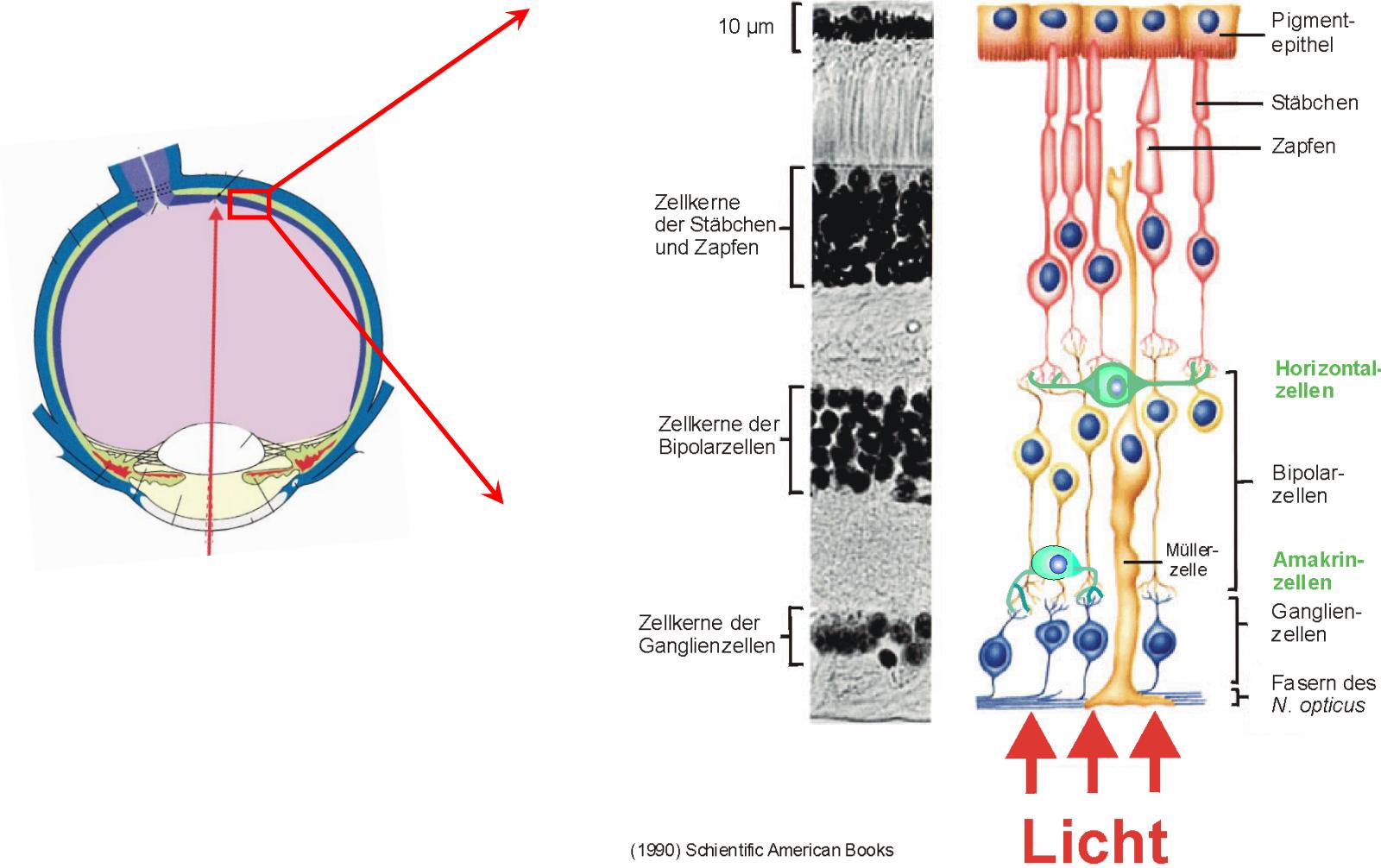
Überblick

- Allgemeiner Überblick und Kognition
 - Wichtige Elemente bei der Modellierung der menschlichen Informationsverarbeitung
- Wahrnehmung
 - Das Auge
 - **Vorverarbeitung visueller Information**
 - Informationsextraktion, z.B. Tiefenwahrnehmung
- Aufmerksamkeit
 - „Gateway to memory“
- Gedächtnis

Die Zellen der Netzhaut



Die Zellen der Netzhaut

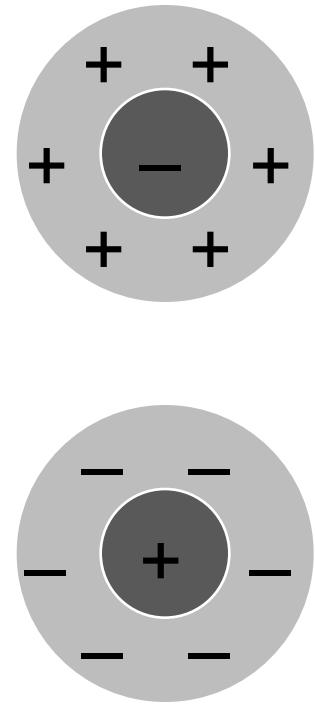
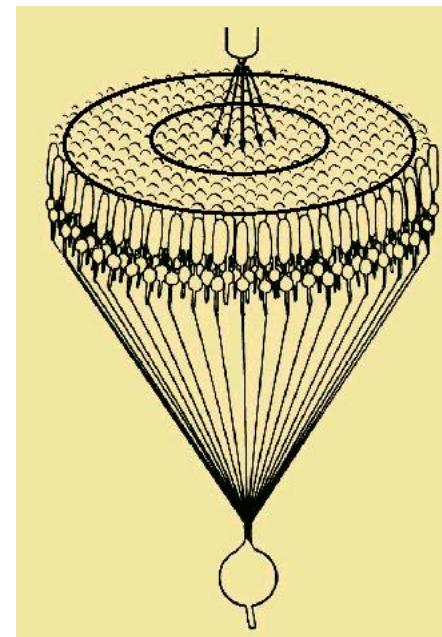


Signalverarbeitung in der Retina Vereinfacht

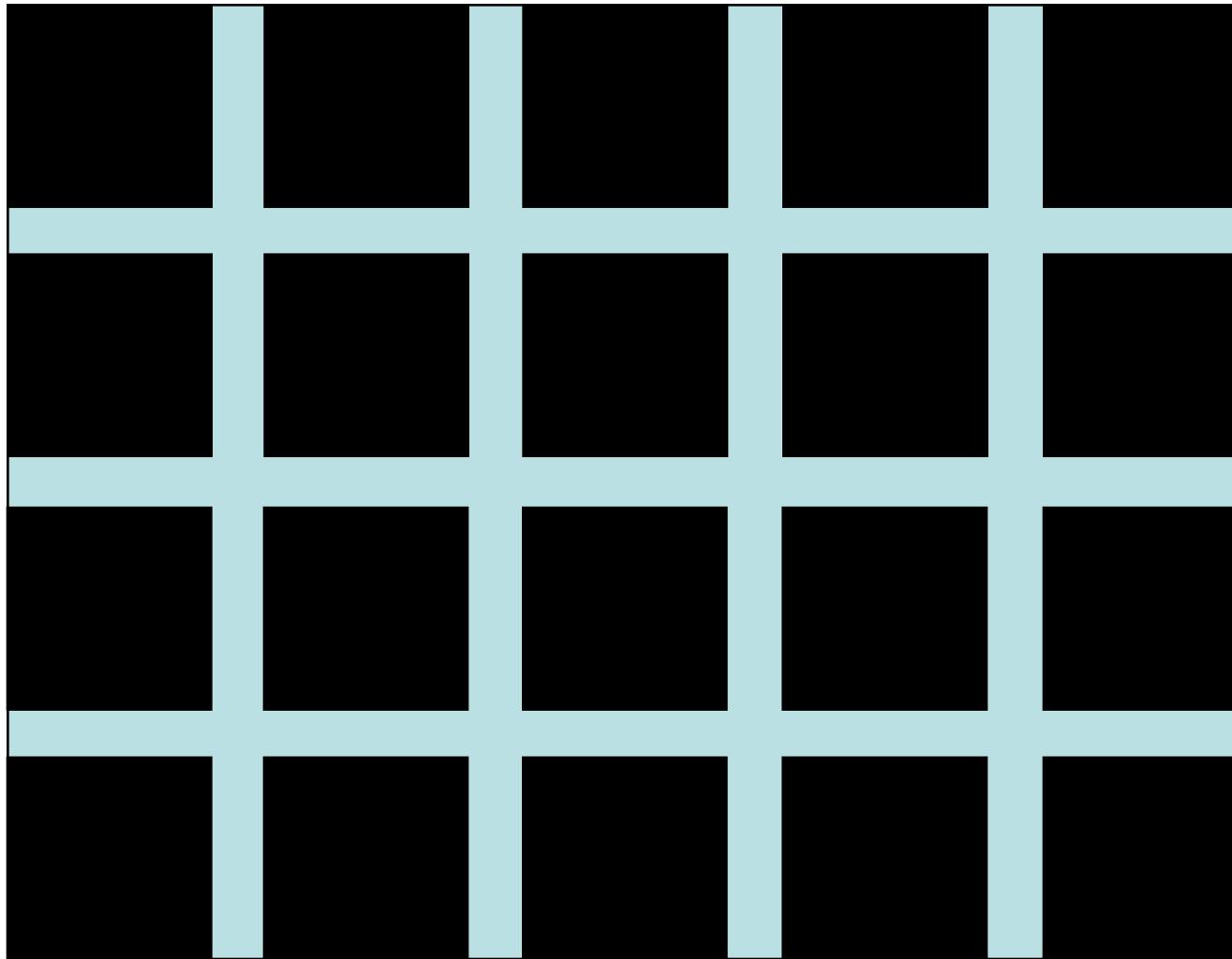


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

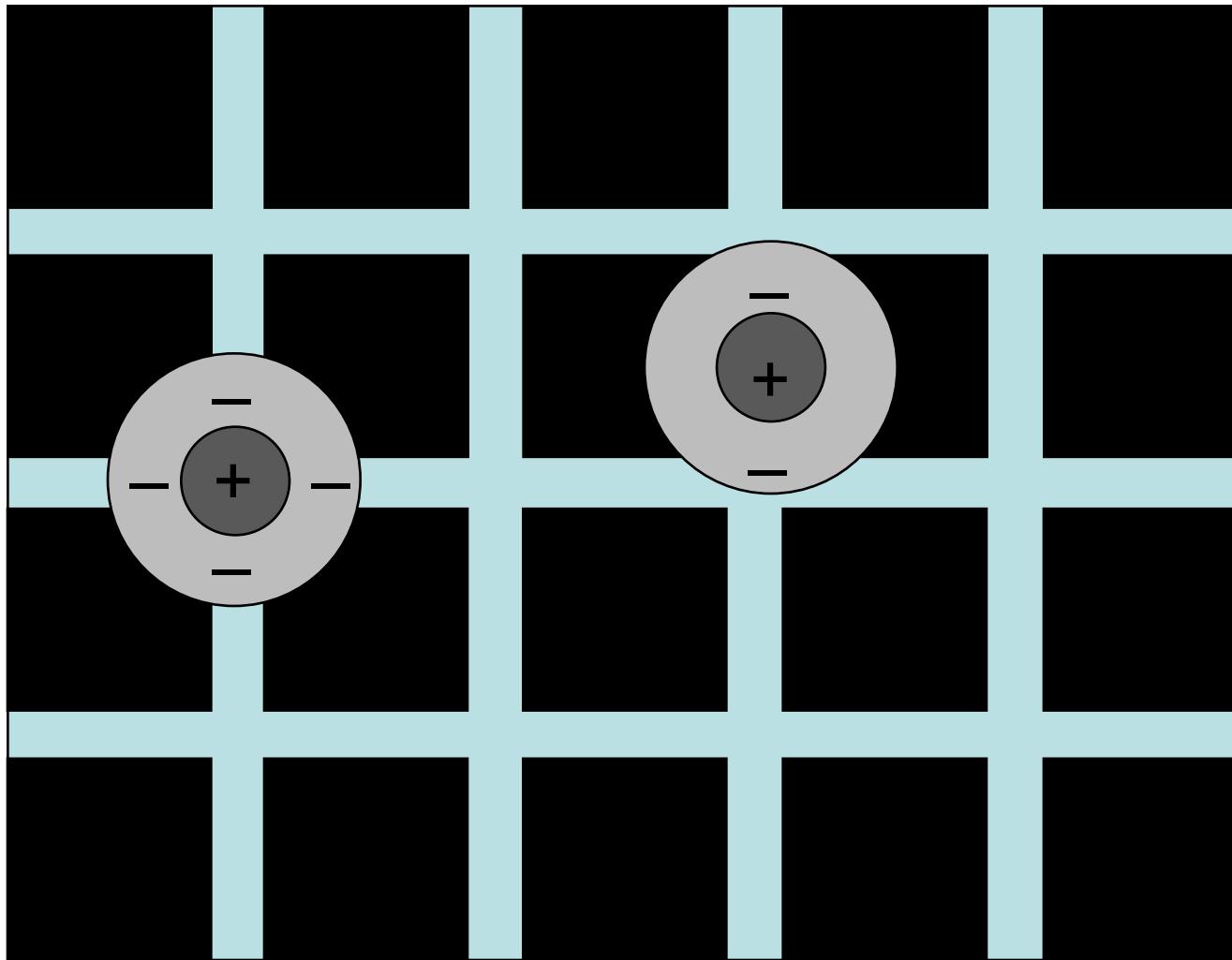
- Horizontal Zellen
 - Kombinieren mehrere Rezeptoren einer Region
- Amakrin-Zellen
 - Zeitliche Verarbeitung
- Bipolar-Zellen
 - Informationsfilter:
sammeln, gewichten, weiterleiten
- Ganglien-Zellen
 - Integrieren Informationen
 - Z.B. Kontrastwahrnehmung:
Unterschied Zentrum und Peripherie
 - Weitere Effekte, hier nicht diskutiert



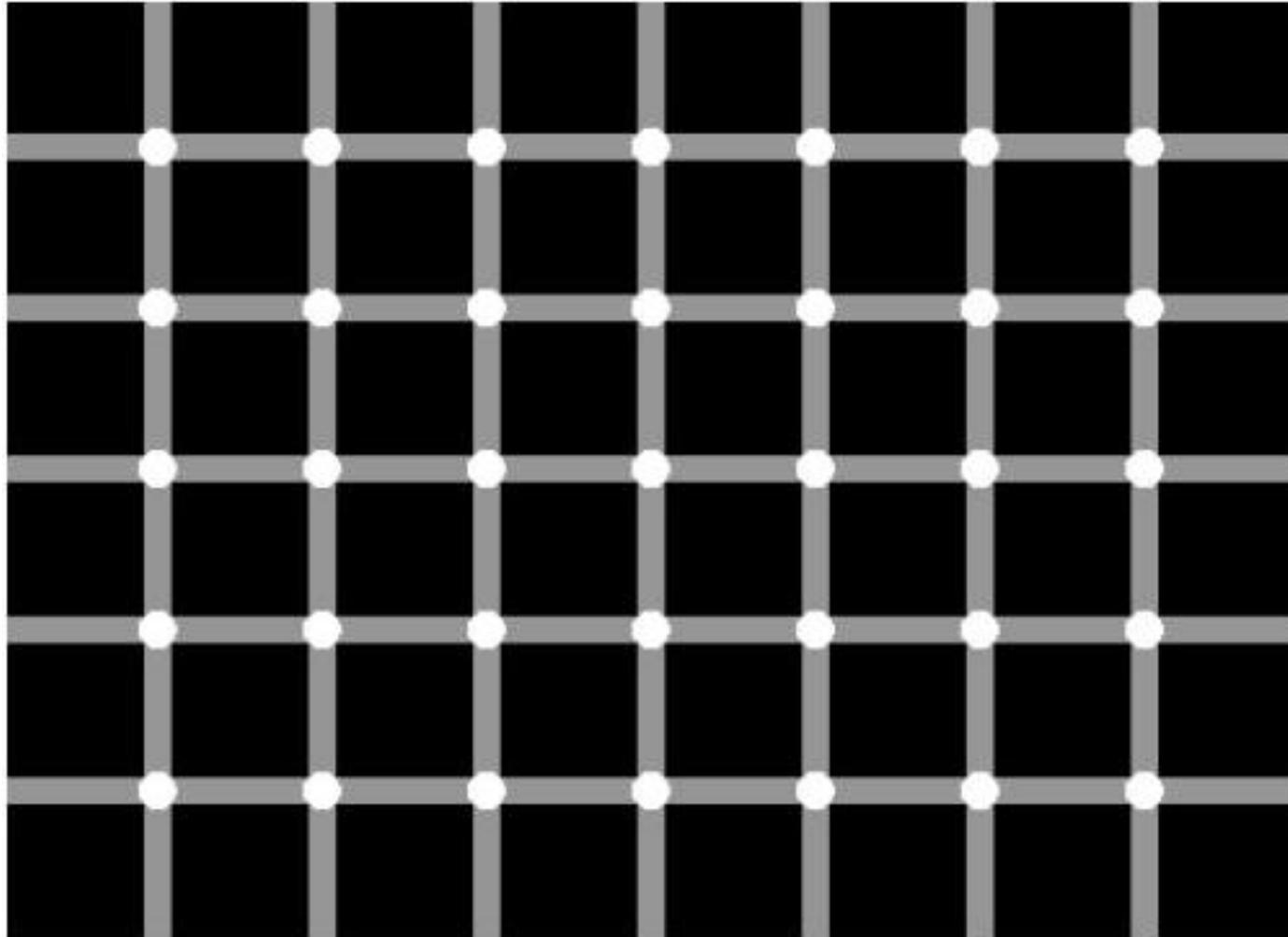
Beispiel: Hermann Gitter



Beispiel: Hermann Gitter

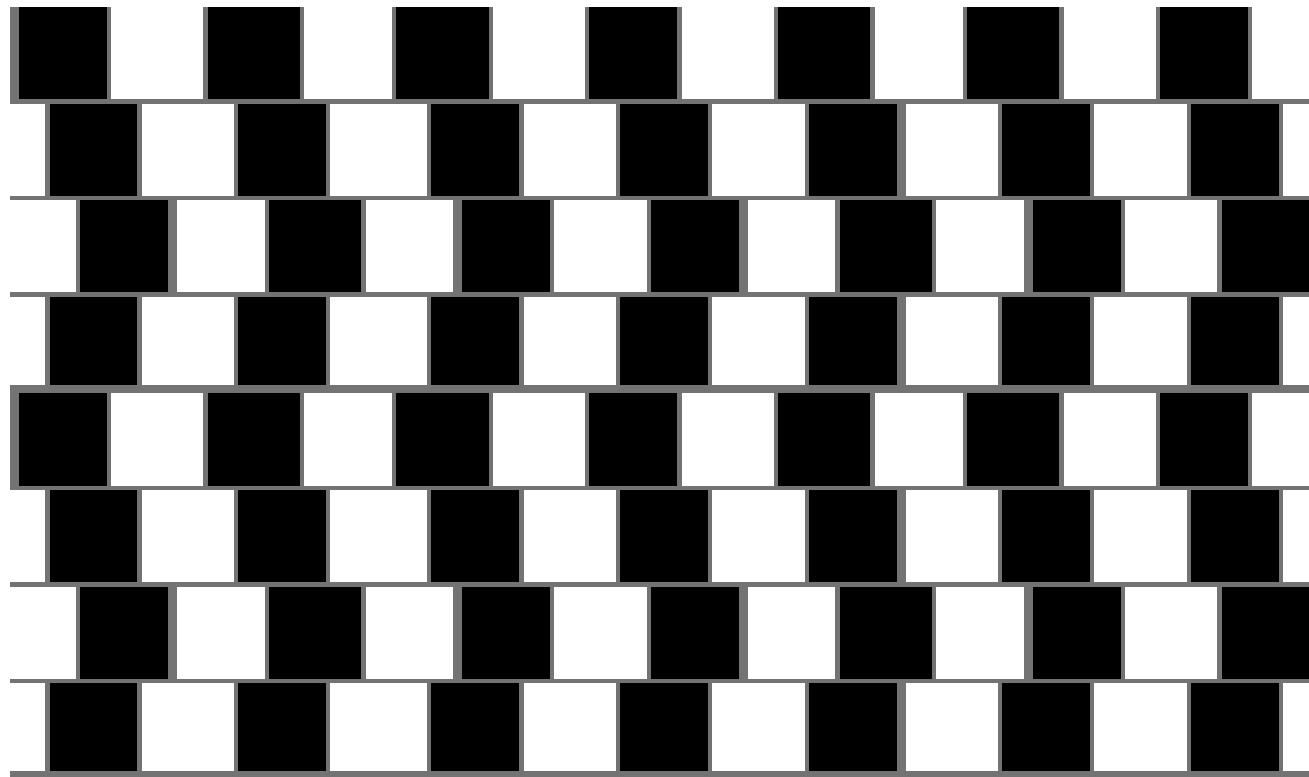


Zählen Sie die schwarzen Punkte!

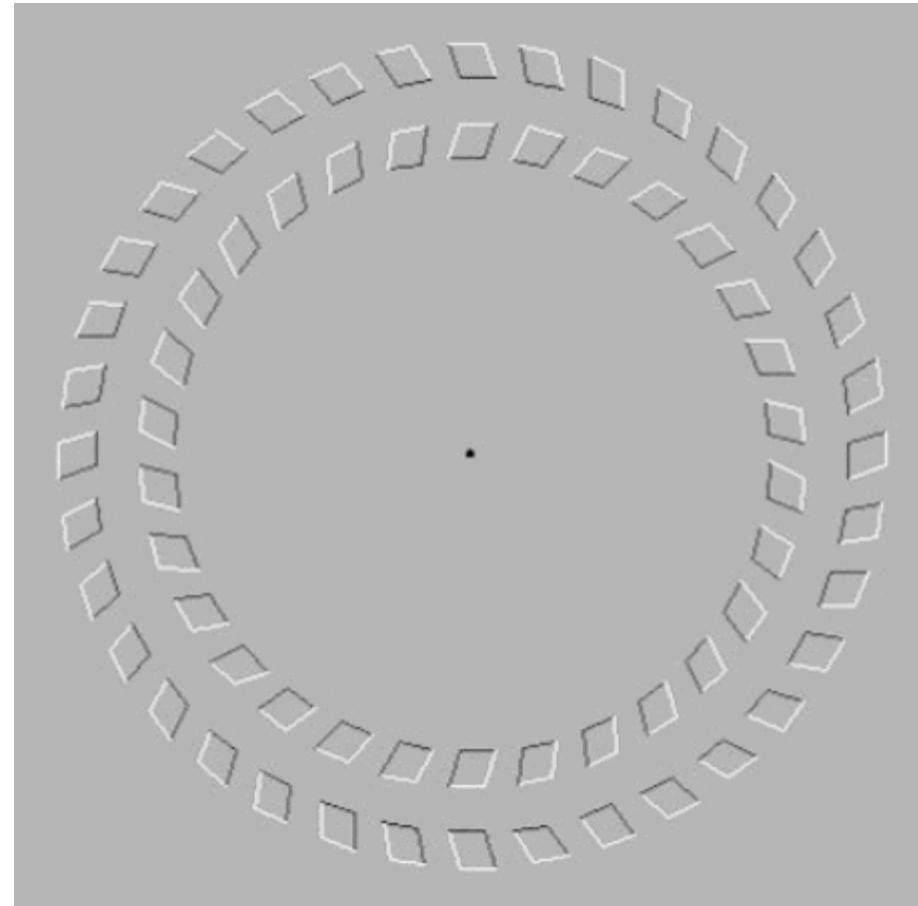


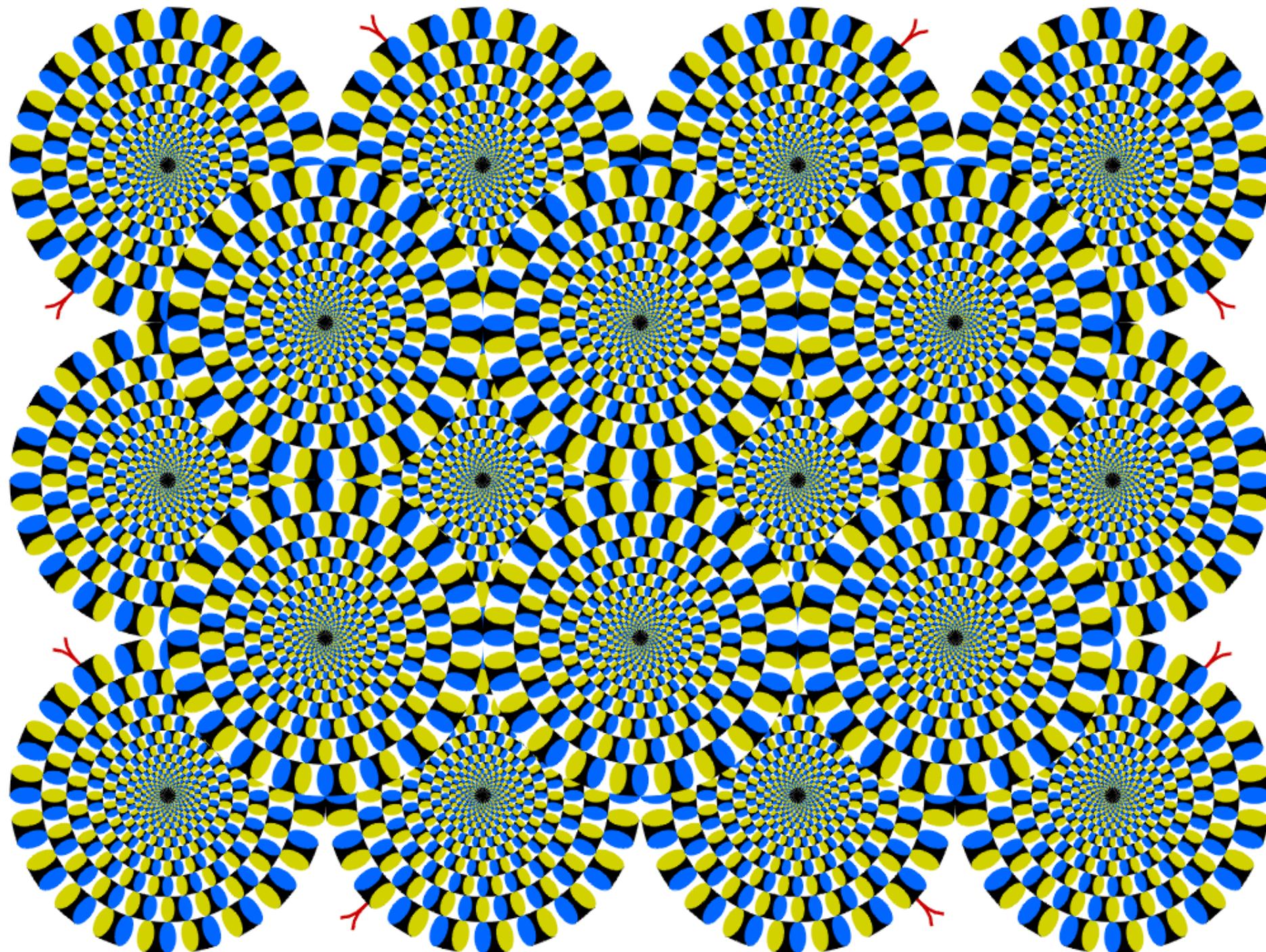
Sehen Sie gerade Linien ?

- http://de.wikipedia.org/wiki/Optische_Täuschung
- <http://michaelbach.de/ot/index.html>
- <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html>

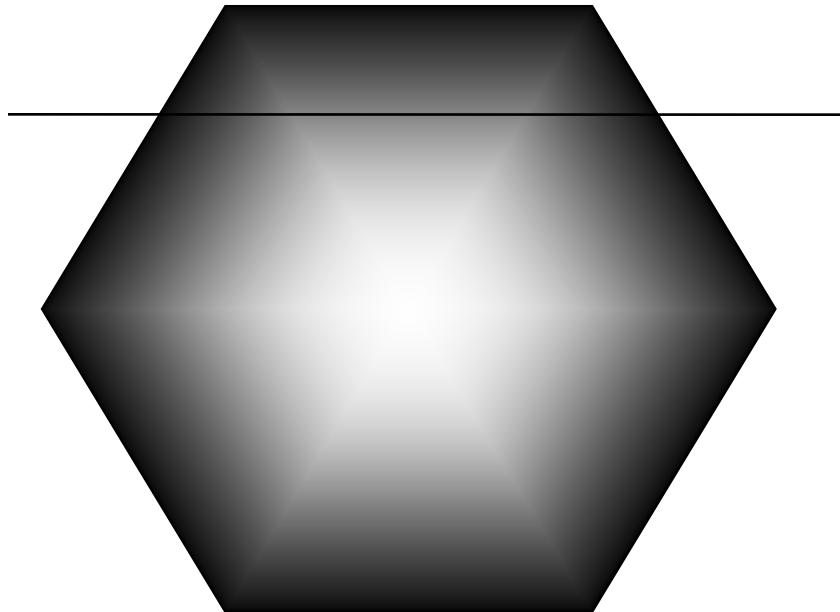


Peripheral Drift





Mach Bänder



Reiz

Empfindung



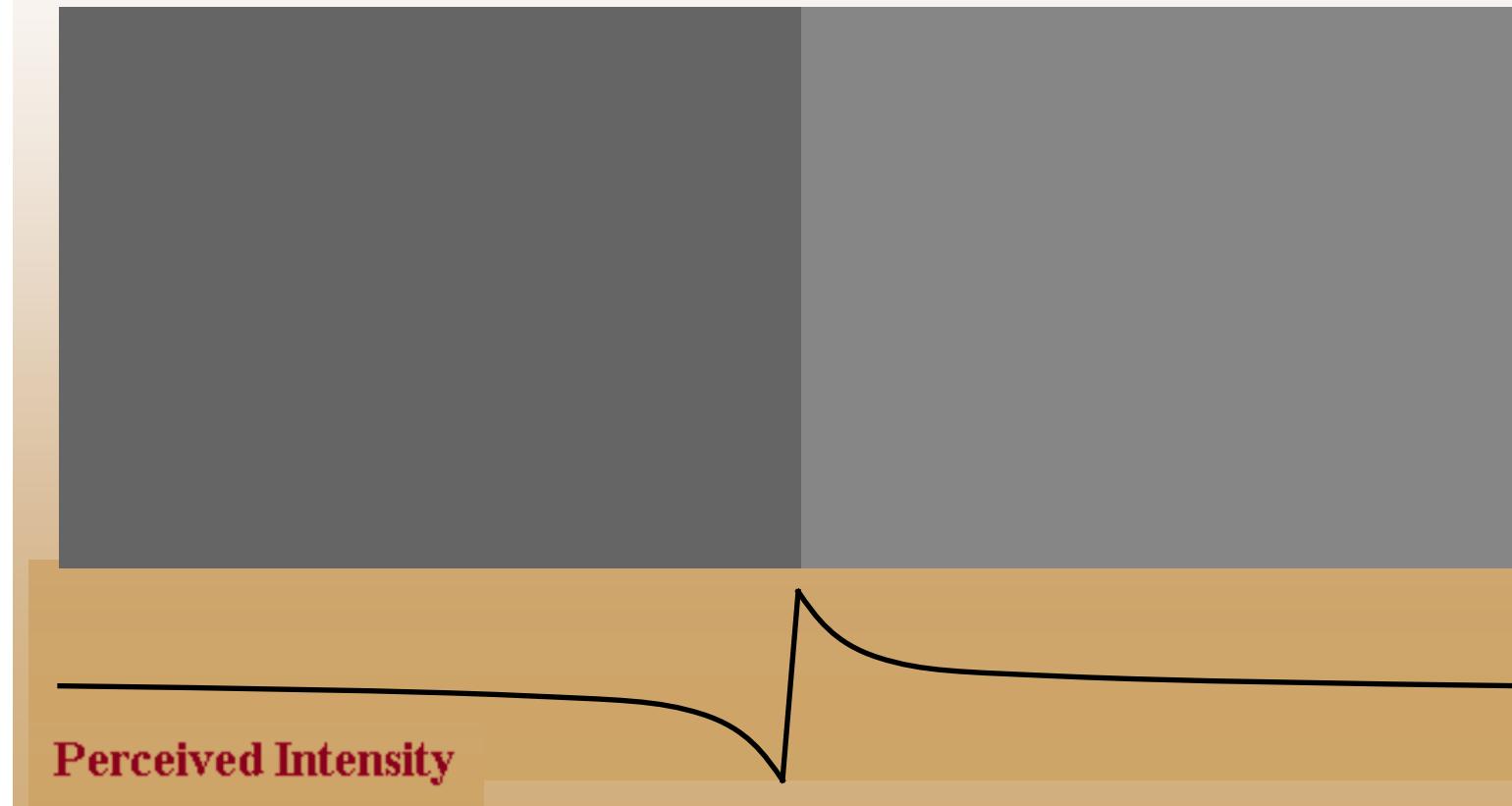
Profil

Ergebnis einer linearen Interpolation
(z.B. nach Gouraud ... wird uns noch Probleme bereiten -> Graphics)
Helle Bänder erscheinen dort, wo die 1. Ableitung eine unstetige
Änderung aufweist.

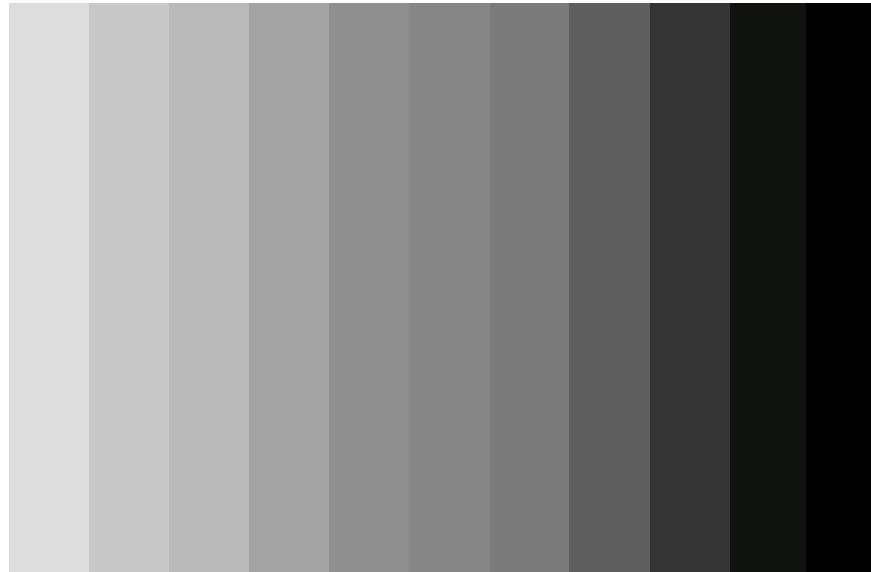


The Mach effect

Stimulus



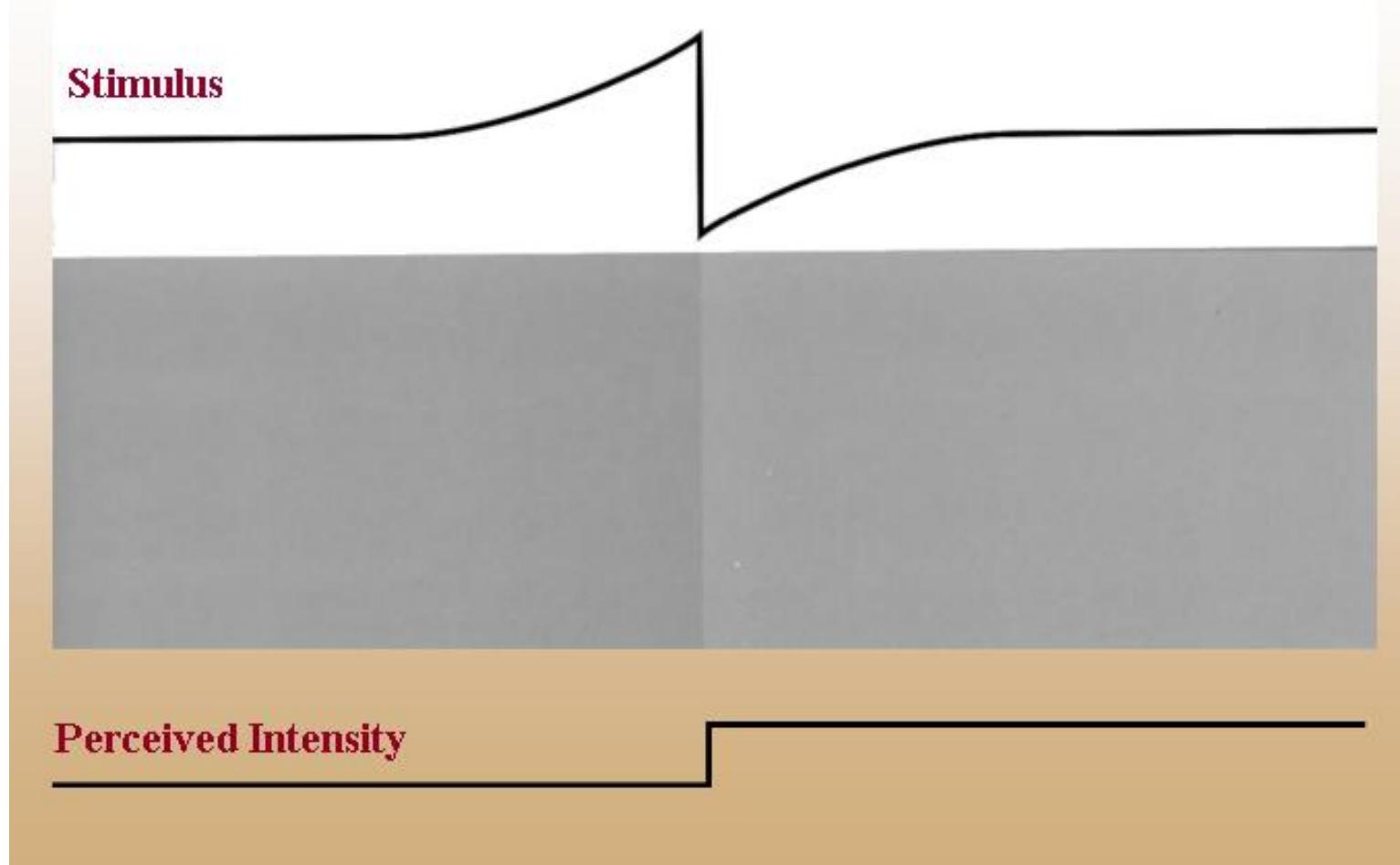
Chevreul Illusion



- Die Streifen sind jeweils gleich hell;
- sie erscheinen jeweils am linken Rand dunkler als am rechten Rand.



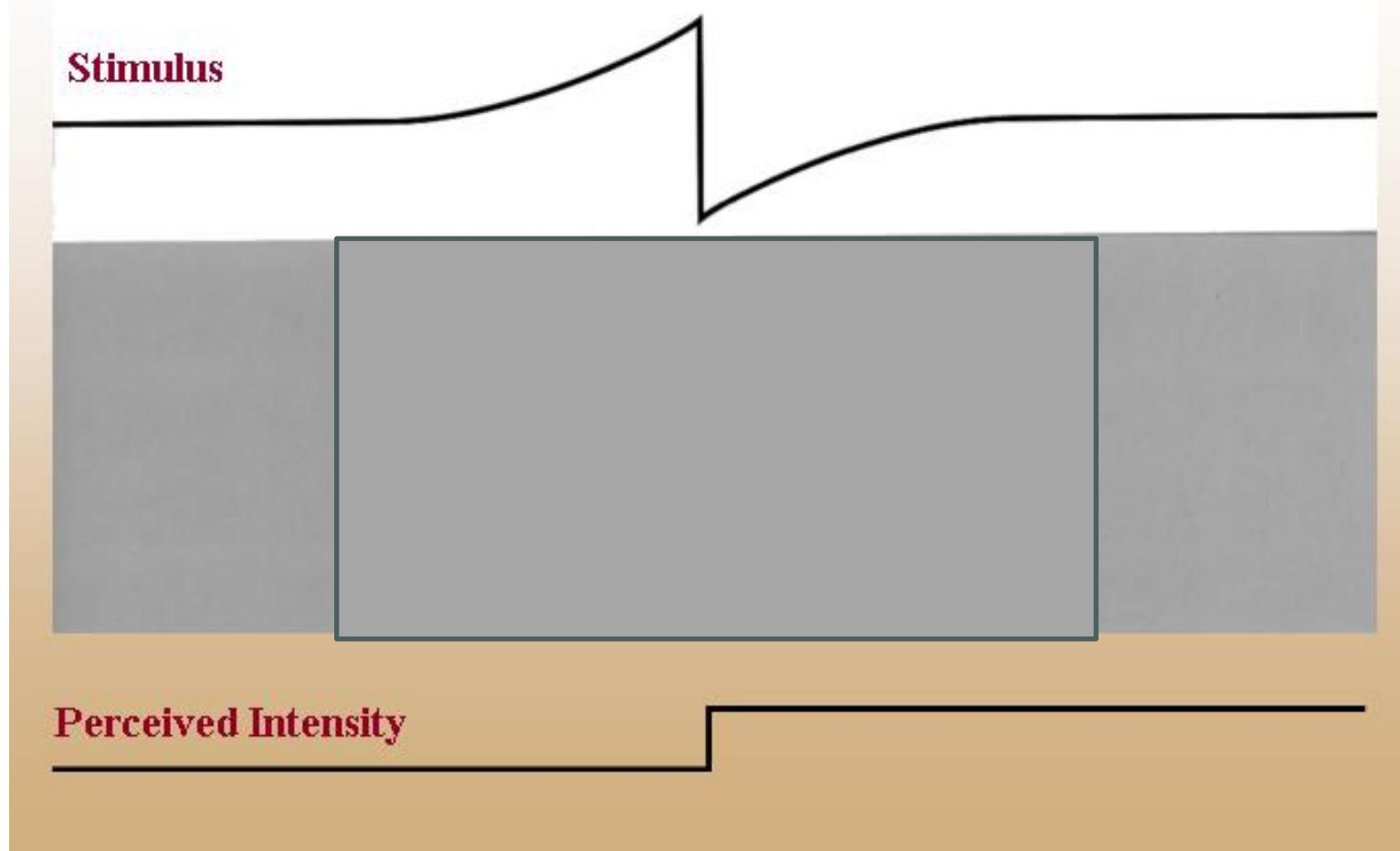
The Cornsweet effect



https://en.wikipedia.org/wiki/Cornsweet_illusion



The Cornsweet effect



https://en.wikipedia.org/wiki/Cornsweet_illusion

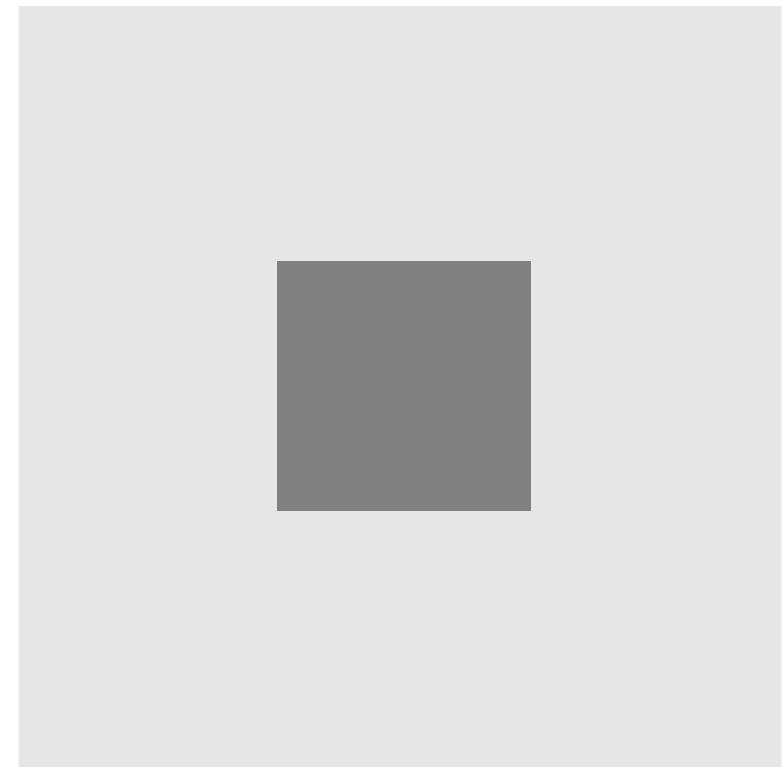
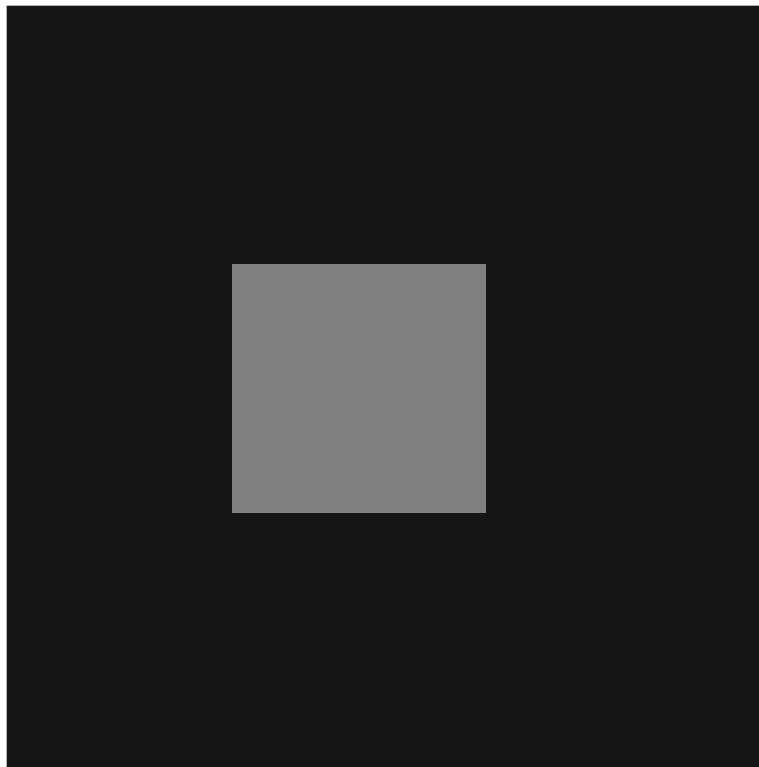


Helligkeit

- Helligkeit (brightness): Entspricht der wahrgenommenen Menge an Licht, das von einer selbstleuchtenden Lichtquelle (z.B. Monitor) ausgeht.
- Helligkeit (lightness): Entspricht der wahrgenommenen Menge an Licht, das von einer reflektierenden Oberfläche ausgeht.
- Helligkeit ist keine absolute Wahrnehmungsgröße:
 - abhängig von:
 - Reizstärke (Leuchtdichte)
 - Leuchtdichte zuvor -> ADAPTION
 - Leuchtdichte in der Umgebung
 - Größe (Fläche) des Reizes
 - ist eine subjektive Größe

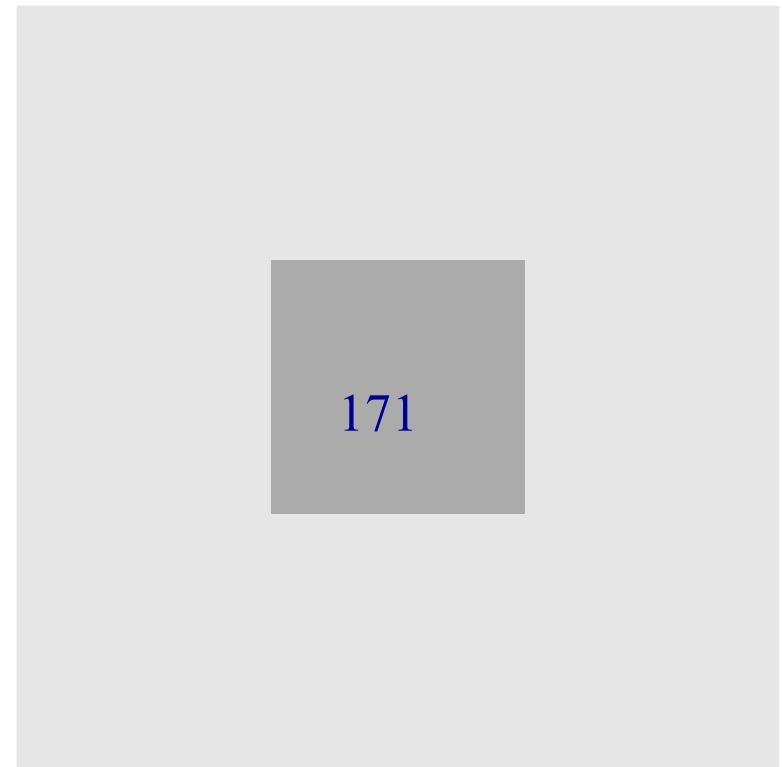
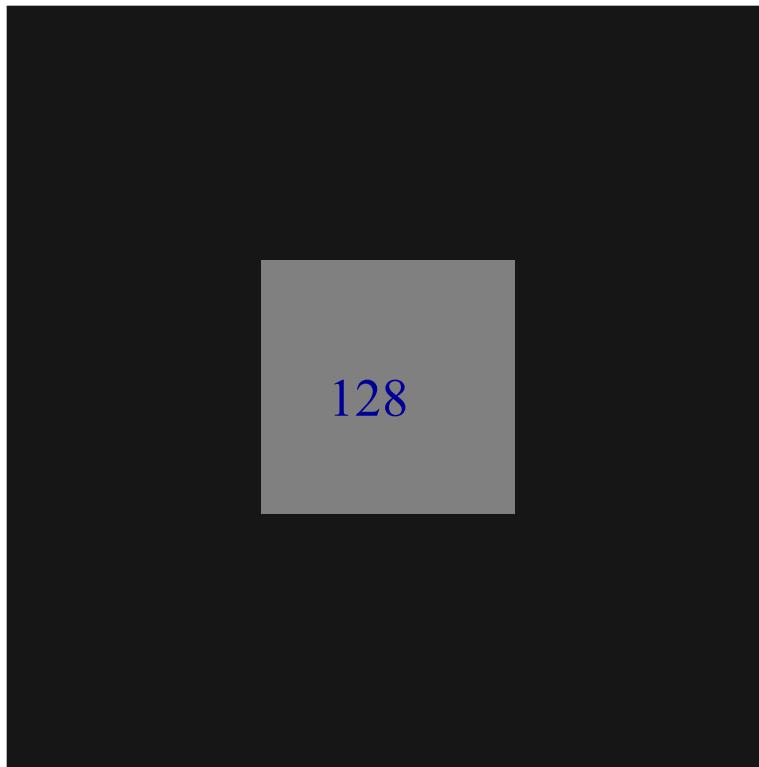


Simultankontrast

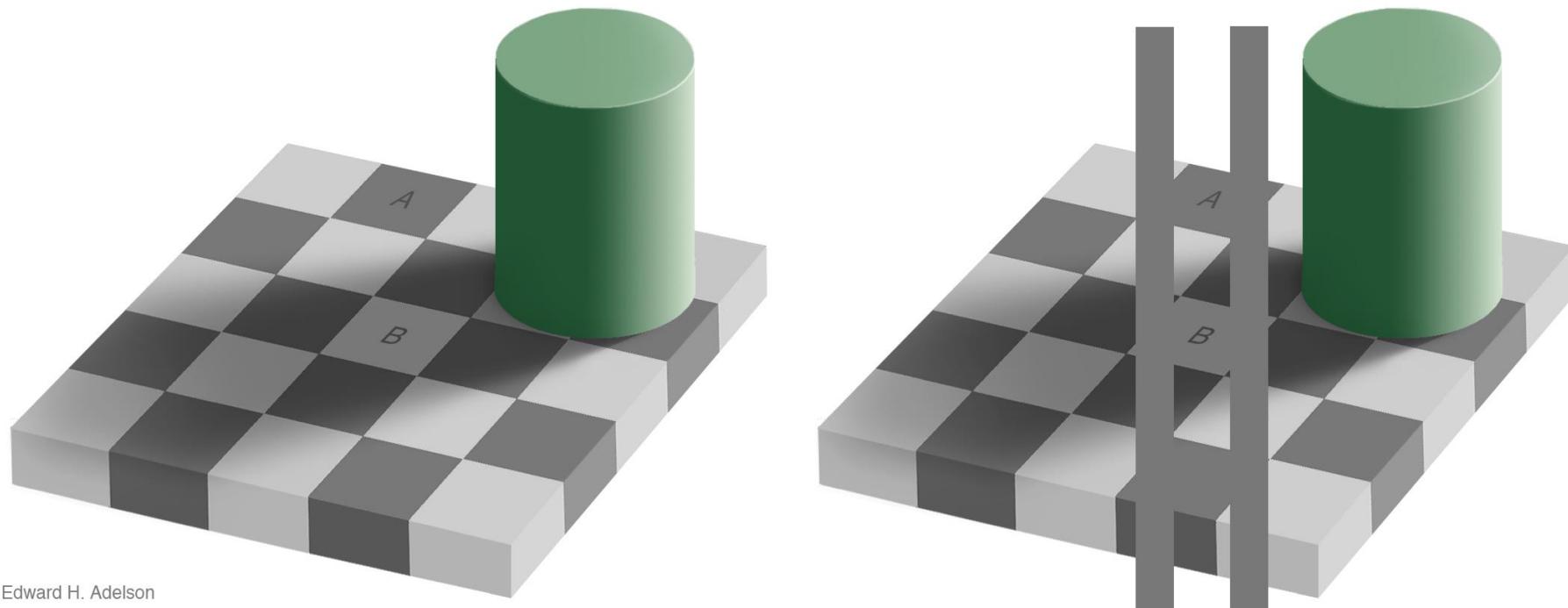




Simultankontrast



Wahrnehmung – Ein Beispiel



Edward H. Adelson



Definition Kontrast als Reiz-Verhältnis



- verschiedene Definitionen üblich

- $m = k = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$ (auch Modulationsgrad)

$$K = \frac{L_R - L_H}{L_H} = \frac{\Delta L}{L_H}$$

mit L_R = Leuchtdichte des (Vordergrund-)Reizes

L_H = Leuchtdichte des Hintergrundes

Weber-Fechnersches Gesetz Stevensches Gesetz



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- R: Reizintensität
- L: Hellempfindungsstärke
- Webersches Gesetz, 1834
(Schwelle)
- Fechnersches Gesetz
- Stevensches Gesetz, 1975
(State-of-the-Art)

$$\Delta L = \frac{\Delta R}{R} = \text{const.}$$

$$L = c_1 \times \log R$$

$$E = c_2 \times R^k \quad k = 0,3 \text{ (Licht)}$$

Gilt, wie das Fechnersche Gesetz, auch für andere Sinnesmodalitäten
 $k=2,13$ (Schmerz); $=0,96$ (Wärme); $= 0,4$ (Schall); usw.



Helligkeit

- Gar nicht so einfache Fragen:
 - Was ist weiß? Was ist schwarz? Was ist ein mittleres Grau?
- Einige Effekte:
 - Simultankontrast, Hermann Grid Illusion, Mach-Bänder, Chevreul Illusion
- Wahrnehmungscharakteristika von Helligkeit (Hell-Dunkel-Kontrast)
 - sehr wichtige Empfindungsgröße fürs Formensehen, Objektsehen, ...
 - der Unterschied muss groß genug sein, um wahrgenommen zu werden; minimal 0,8% (Weber)
 - für kleine Details mindestens 3:1
(besser 10:1) ISO 9241, part 3 fürs Text lesen



Erkennung kleiner Details

- Begrenzt durch
 - optische Eigenschaften des Auges, insbesondere Beugungerscheinungen
 - Abtastung durch Rezeptoren
(hier insbesondere die Zapfengröße)
 - nervöse Verarbeitung, u.a. Zahl der Nervenphasen
- Maß:
 - Kontrastempfindlichkeit (contrast sensitivity)
 - Schwellenkontrast (Contrast Sensitivity Function)

CSF

Bildschärfenbestimmung



Hier:

$1' = 1 \text{ Bogenminute} = 1/60 \text{ Grad}$

$1'' = 1 \text{ Bogensekunde} = 1/3600 \text{ Grad}$

Von links nach rechts:

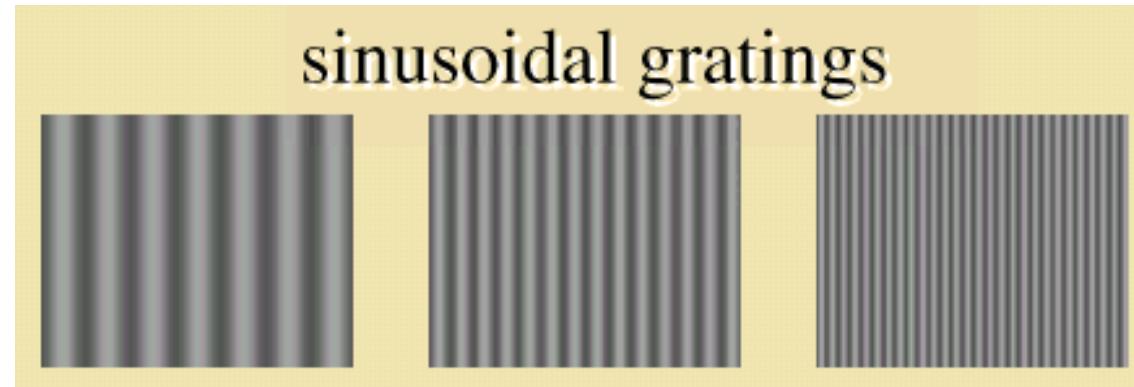
- Punktsehschärfe ca. $1'$
- Rastersehschärfe ca. $1' - 2'$
- Liniensehschärfe ca. $0,5'$
- Doppellinien ca. $30''$
- Vernier oder Nonius Sehschärfe $5'' - 7''$
- Snellen-Optotypen $30''$ (5' Buchstabengröße)
- Landolt-Ringe $30''$

Daumenregel:

1cm Objekt in 57 cm Abstand = 1^0

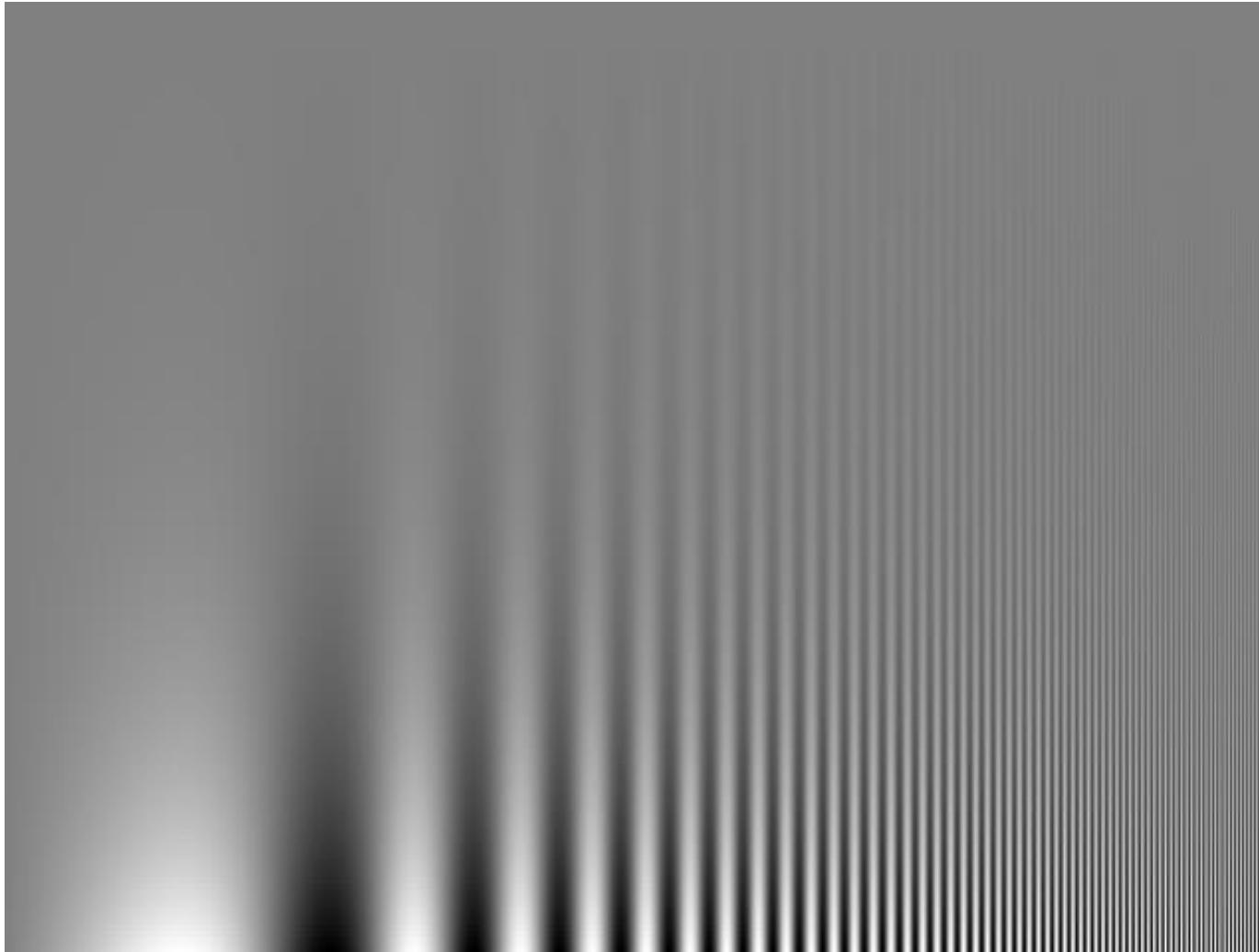
Kontrastempfindlichkeit

- Auflösung des menschlichen Auges im Frequenzraum
- Messung mit Sinus-förmigen Mustern veränderlicher Intensität



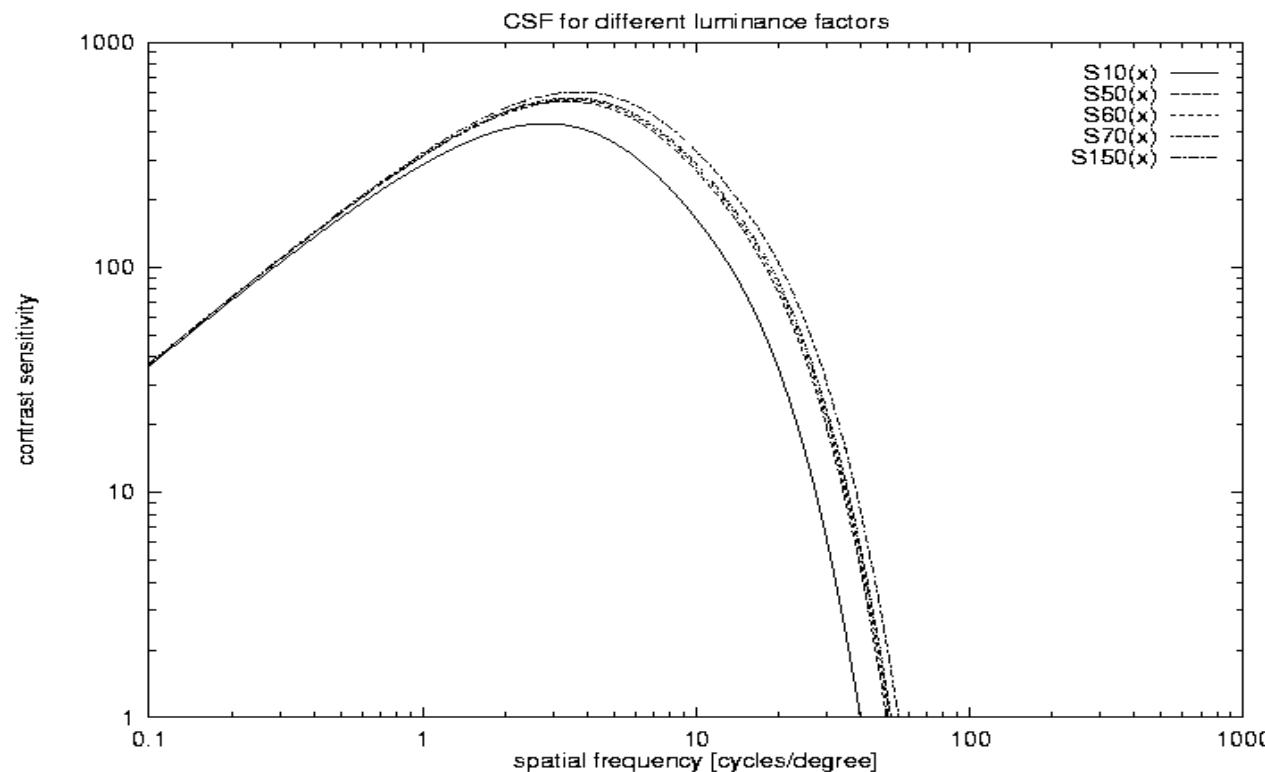


Kontrastempfindlichkeitsfunktion



Kontrastempfindlichkeitsfunktion

- CSF = contrast sensitivity function





Frühe Wahrnehmung

- 10 ms oder schneller

897390570927940579629765098294
08028085080830802809850-802808
567847298872ty4582020947577200
21789843890r455790456099272188
897594797902855892594573979209



Frühe Wahrnehmung

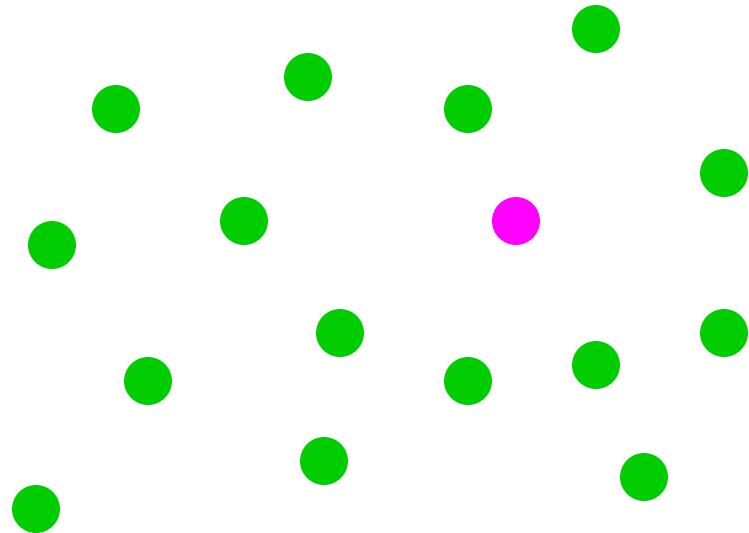
897390570927940579629765098294
08028085080830802809850-802808
567847298872ty4582020947577200
21789843890r455790456099272188
897594797902855892594573979209

Frühe Wahrnehmung

Farbe



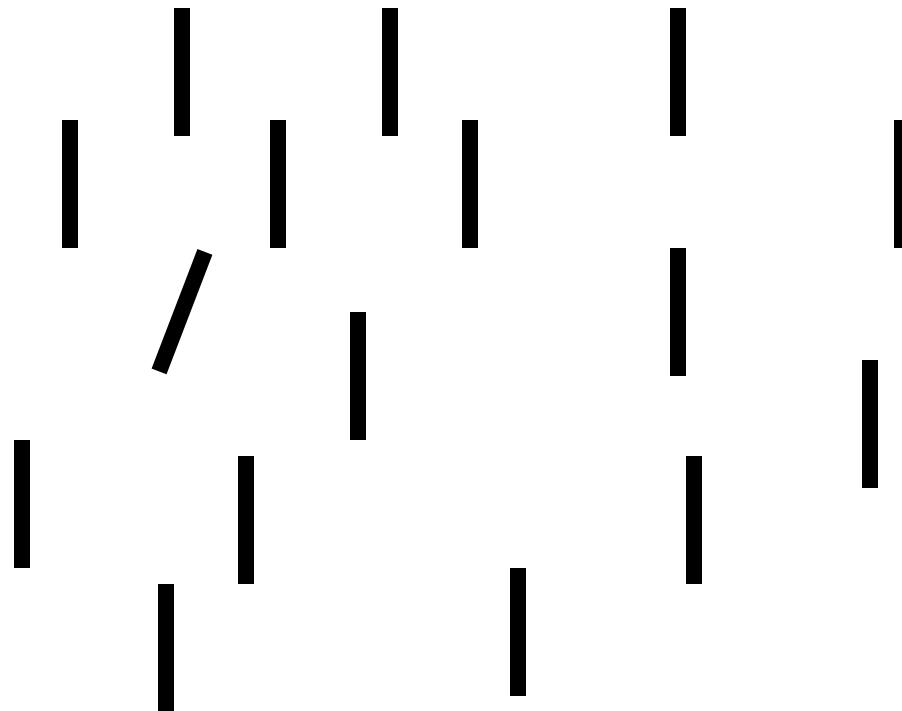
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Frühe Wahrnehmung Richtung



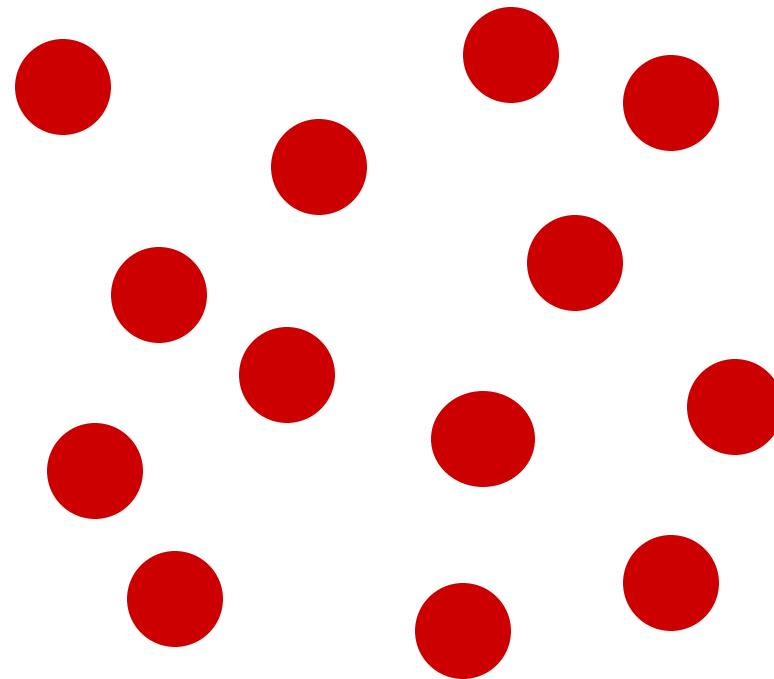
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Frühe Wahrnehmung Bewegung



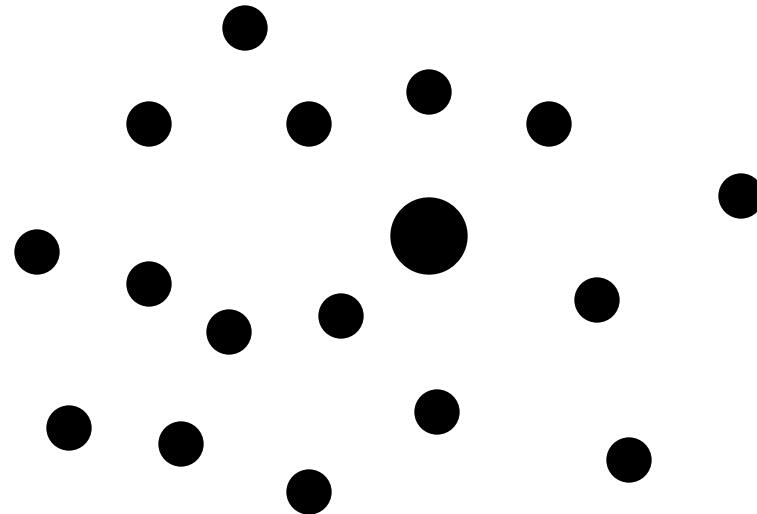
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Frühe Wahrnehmung Größe



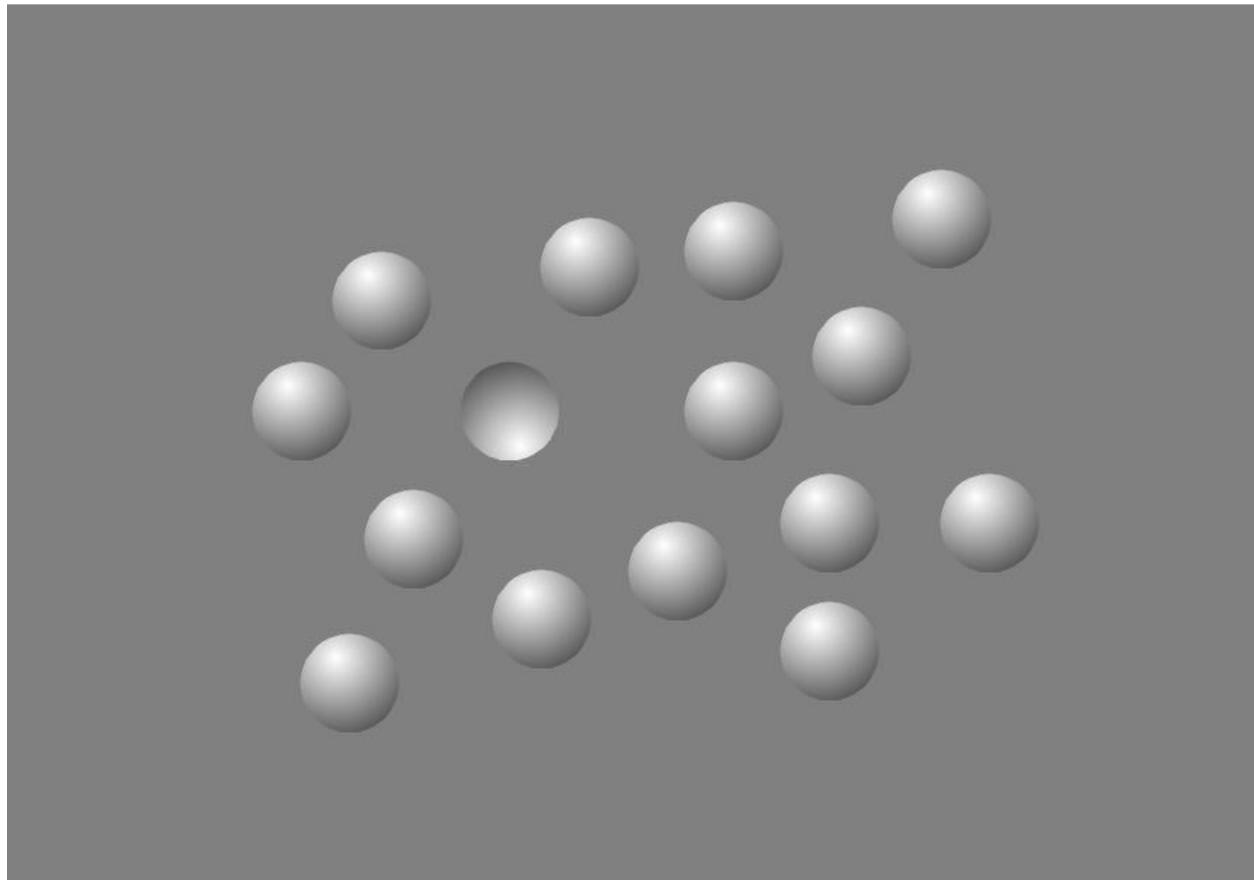
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Frühe Wahrnehmung Beleuchtung/Schattierung



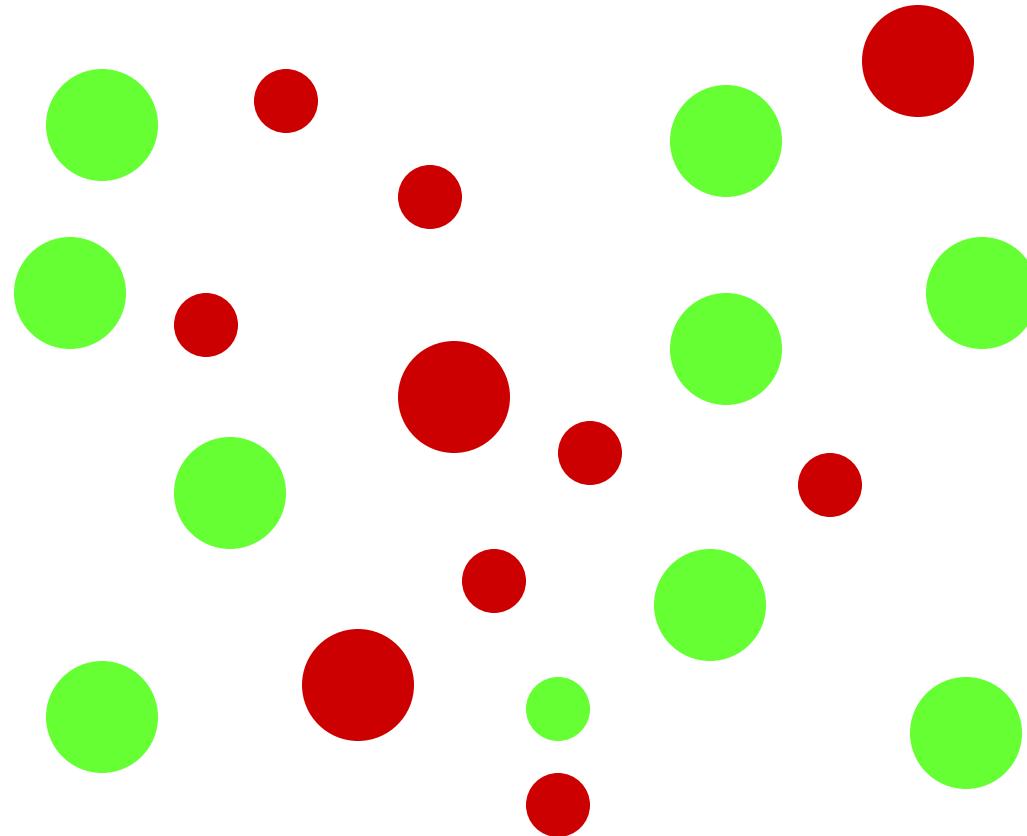
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Keine frühe Wahrnehmung Verbindung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT





Überblick

- Allgemeiner Überblick und Kognition
 - Wichtige Elemente bei der Modellierung der menschlichen Informationsverarbeitung
- Wahrnehmung
 - Das Auge
 - Vorverarbeitung visueller Information
 - **Informationsextraktion, z.B. Tiefenwahrnehmung**
- Aufmerksamkeit
 - „Gateway to Memory“
- Gedächtnis

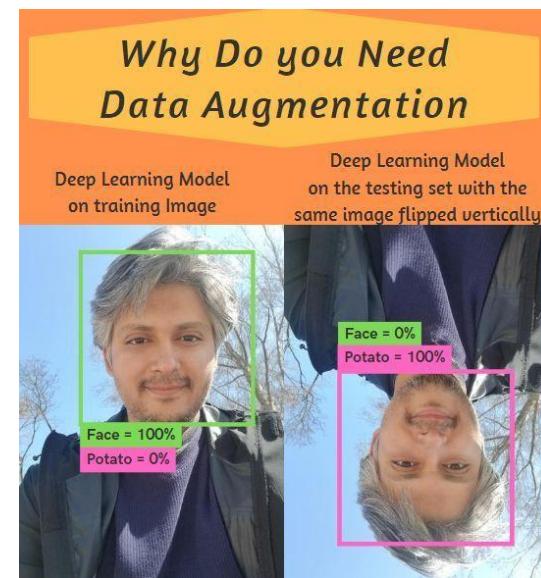


Charakteristika von Wahrnehmung

- Reiz \neq Wahrnehmung
- Weitere Faktoren:
 - Kontext
 - Individuum
 - Erwartung (z.B. verbales Priming)
 - Adaption
- Messen ist schwierig
 - User Tests
 - Statistische Aussagen

Wahrnehmung vs. Realität

- Das, was wir wahrnehmen, ist kein direktes Abbild der Realität, sondern entsteht durch Wahrnehmungsprozesse im Gehirn
- Wahrnehmung steht mit Realität „nur“ in einer Best-Fit-Relation
- Menschliche Wahrnehmung adaptiert sich (z.B. bei Kopfstand wird Bild herumgedreht)

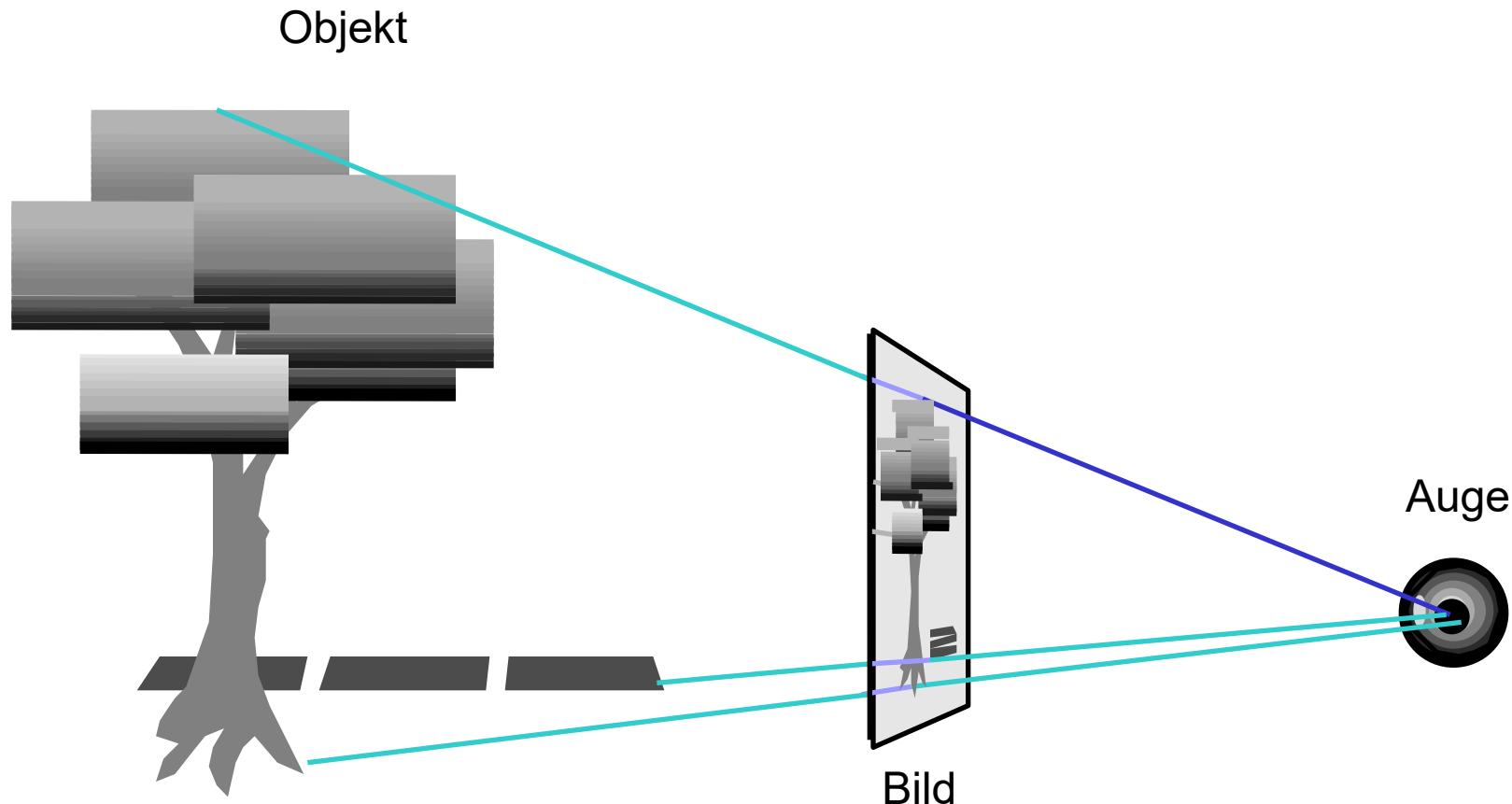




Raumwahrnehmung

- Teile der Raumwahrnehmung
 - Tiefenwahrnehmung
 - Entfernungs- und Distanzwahrnehmung
 - Ausrichtung des Körpers im Raum
- Beteiligte Wahrnehmungssysteme:
 - Vestibuläres System (im Innenohr)
 - Haptisch-somatisches System (Tasten u. Berührung)
 - Auditives System (Gehör)
 - Propriozeptives System (Eigenwahrnehmung)
 - Visuelles System

Perspektivische Projektion (Linearperspektive)



Monokulare Raumwahrnehmung

- Raumwahrnehmung auch mit einem Auge möglich
- 5% - 10% aller Menschen sind stereoblind, 20% haben Stereo-schwäche



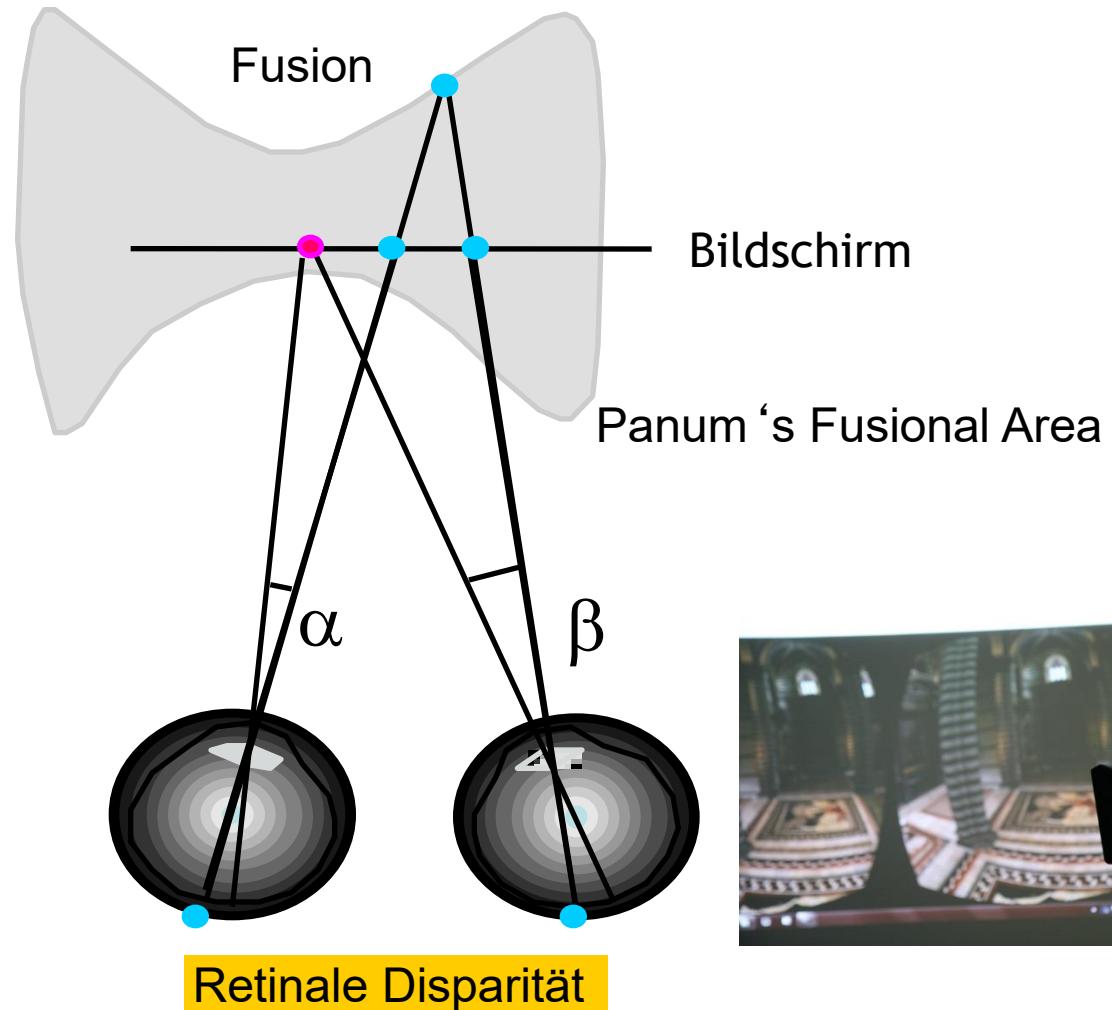
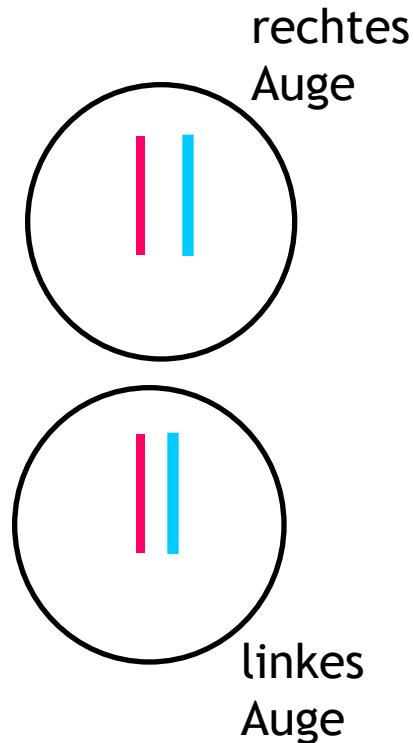
[[Treehouse of Horror VI](#)]



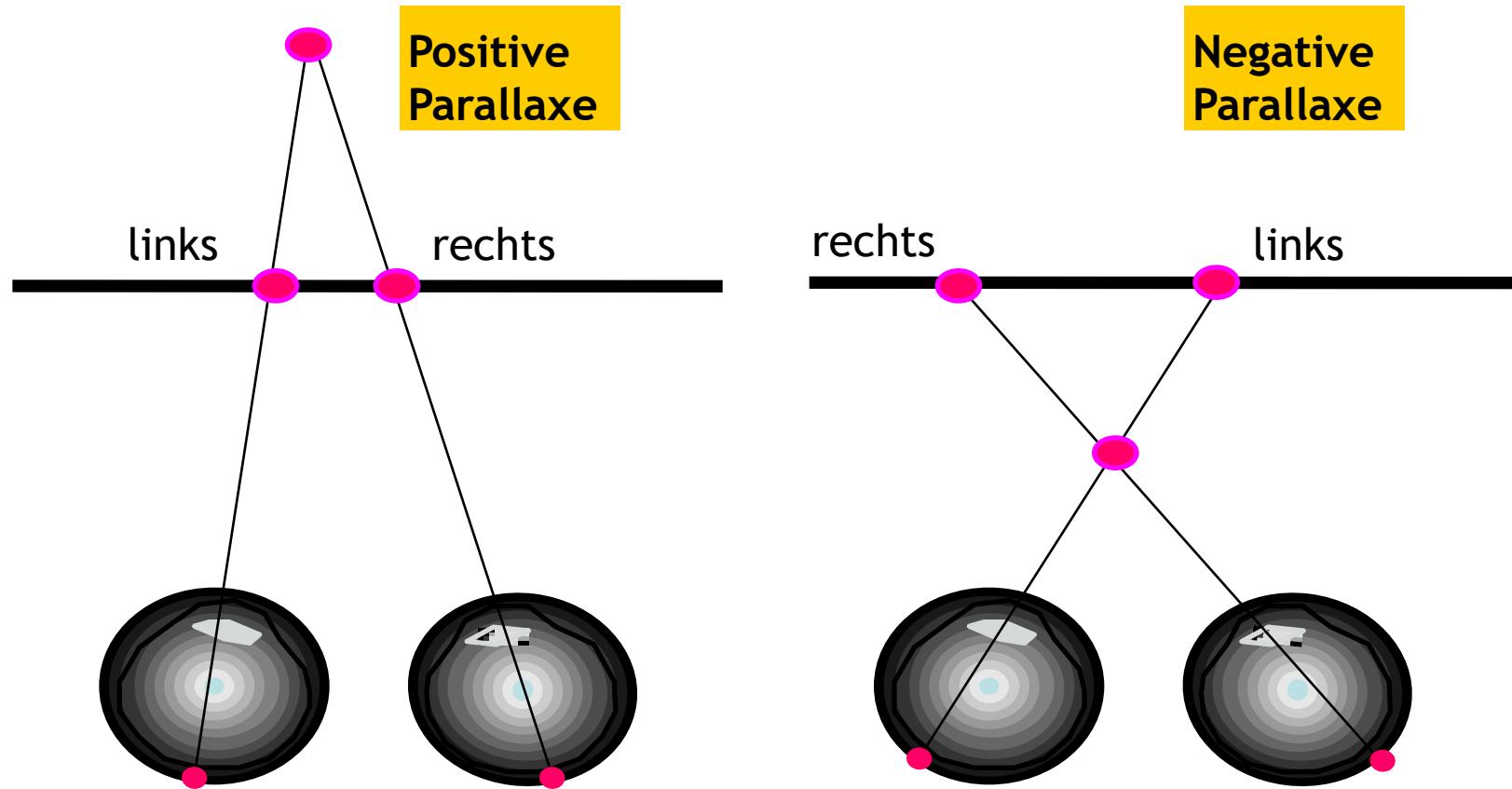
Depth Cue Theorie

- Visuelles System basiert Raumwahrnehmung auf Hinweisreizen (engl. Depth Cues)
- 3 Kategorien von Depth Cues
 1. Binokulare Depth Cues (mit zwei Augen)
 - Disparität / Parallaxe
 - Akkommodation (Krümmung der Augenlinsen)
 - Konvergenz (die Augen nach innen drehen)
 2. Pictorial Depth Cues (Monokular, mit einem Auge)
 - ...
 3. Dynamische Depth Cues (Animation)
 - ...

1. Stereoskopie



Positive und negative Parallaxe

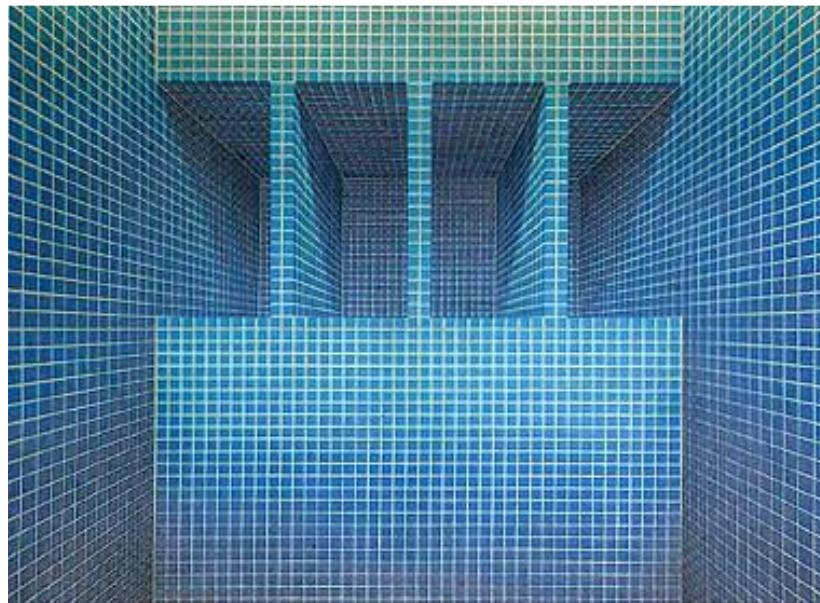




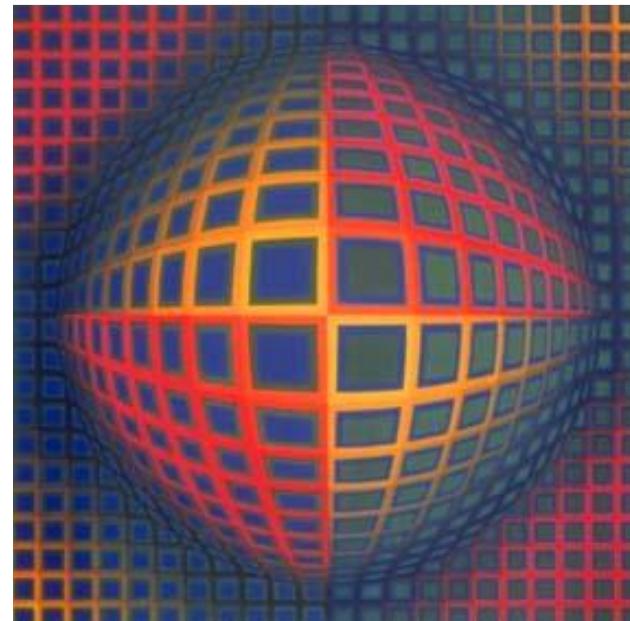
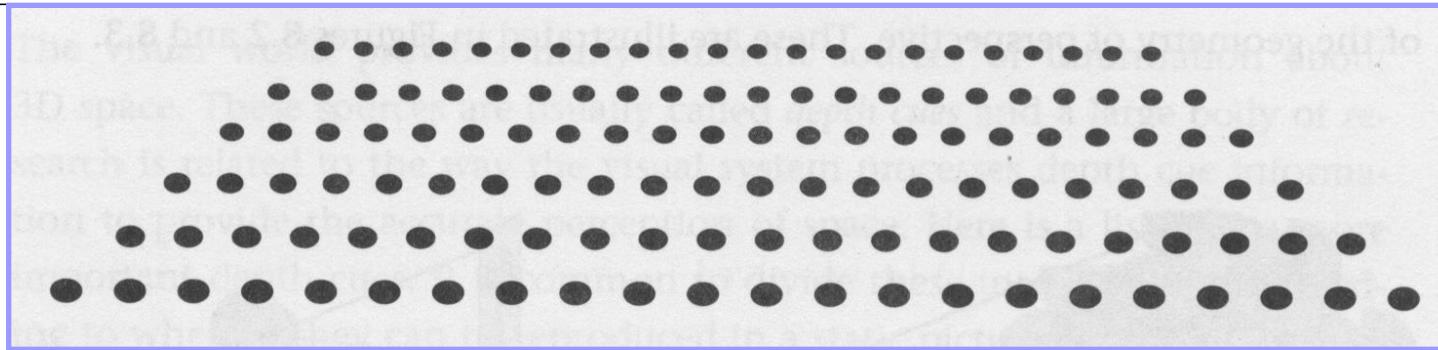
2. Pictorial Depth Cues

- Linearperspektive
- Verdeckung
- Texturgradient
- Fokus und Blur
- Atmosphärische Tiefe
- Vertraute Größe
- Höhe im Gesichtsfeld
- Beleuchtung
- Schattenwurf
- Luminanzänderung
- Transluzenz
- Schattierung

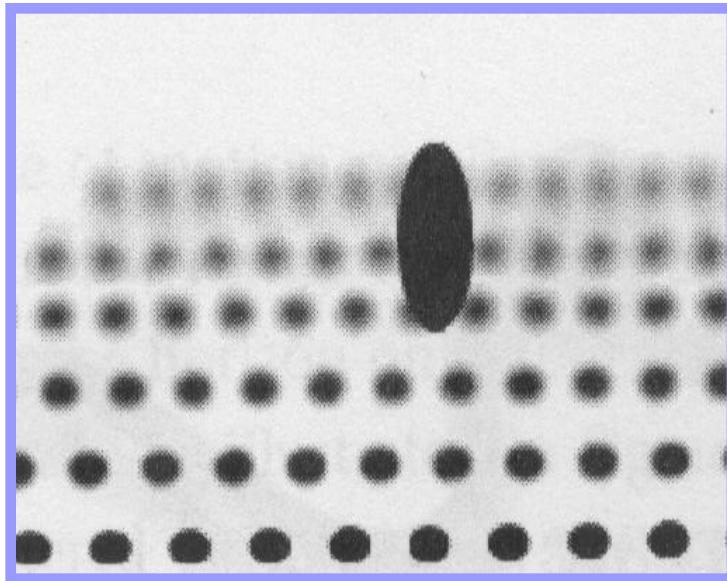
Linearperspektive



Texturgradient



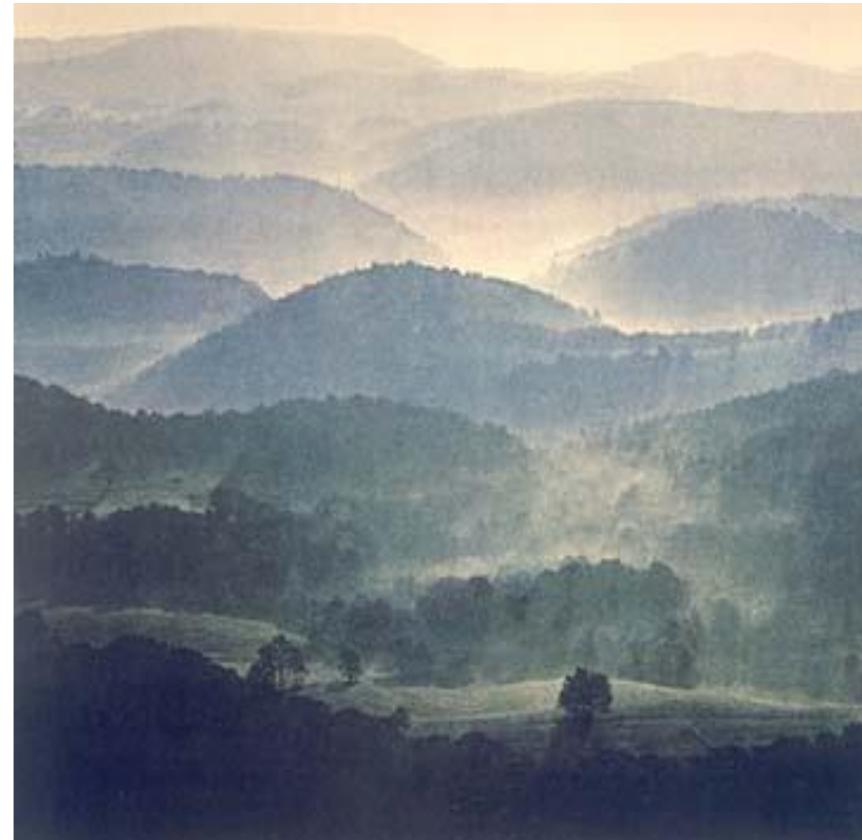
Fokus und Blur



Betrachtungs-abstand	Nahgrenze	Ferngrenze
50 cm	43 cm	60 cm
1 m	75 cm	1,5 m
2 m	1,2 m	6,0 m
3 m	1,5 m	Unendlich

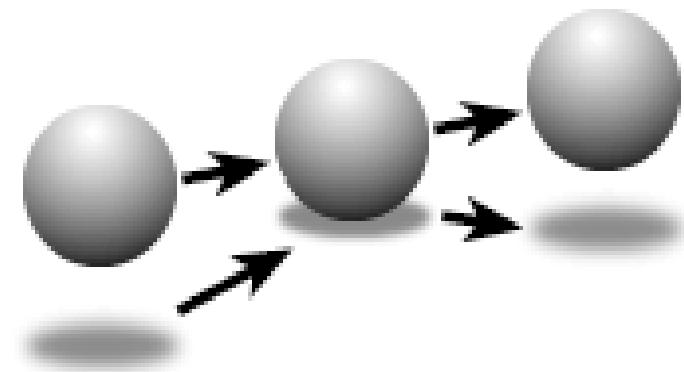
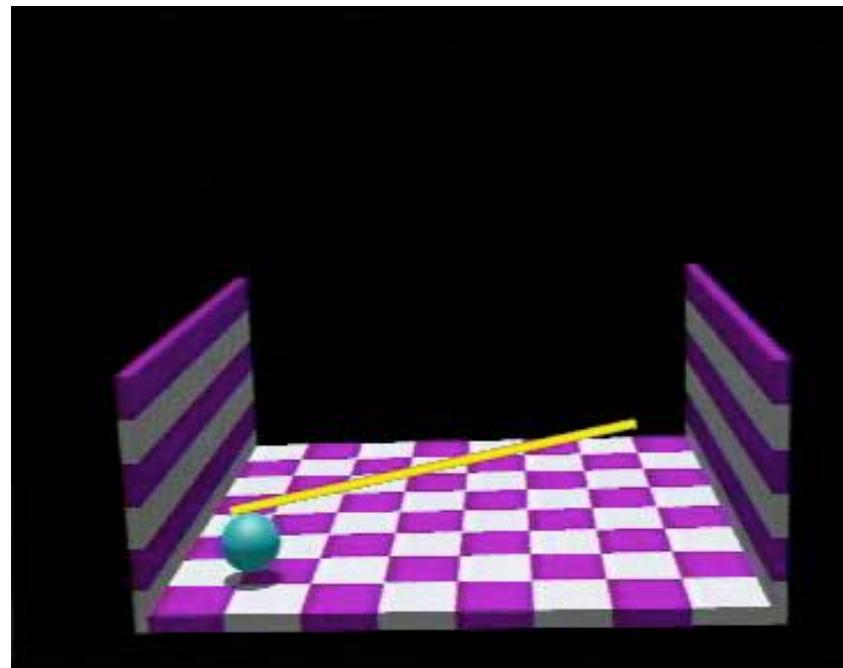
- Auge fokussiert
- Tiefenschärfe: Bereich, in dem Auge scharf erscheinen, ohne neue Fokussierung

Atmosphärische Tiefe



Raumwahrnehmung: Schattenwurf

- Annahme: Beleuchtung von oben
- Vorhandensein einer Grundebene
- Insbesondere: Höhe über Grundfläche



Tiefenwahrnehmung: Schattenwurf

- click





Pictorial Depth Cues

- **Linearperspektive**
- Verdeckung
- **Texturgradient**
- **Fokus und Blur**
- **Atmosphärische Tiefe**
- Vertraute Größe
- Höhe im Gesichtsfeld
- Beleuchtung
- **Schattenwurf**
- Luminanzänderung
- Transluzenz
- Schattierung



3. Dynamische Depth Cues

- Bewegungsparallaxe (engl. motion parallax)
- Kinetischer Tiefeneffekt (engl. kinetic depth effect, rotation parallax)
- Interposition
- Bewegung von Highlights

Motion Parallax

- click



Raumwahrnehmung durch Bewegung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

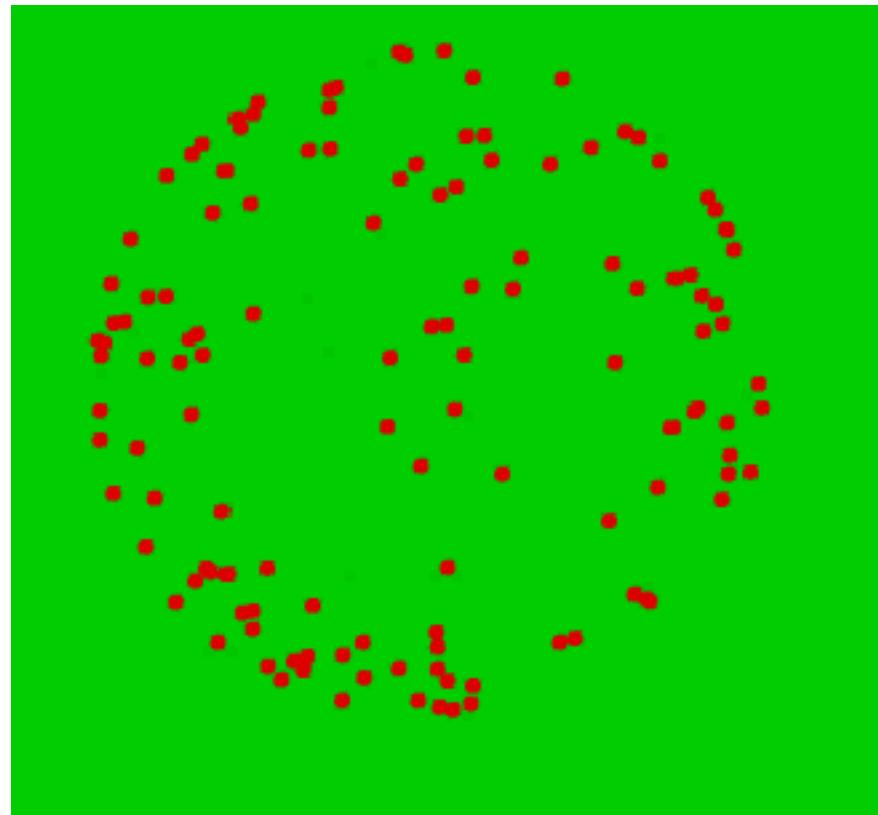
- click



Kinetic Depth Effect / Structure from Motion



- click



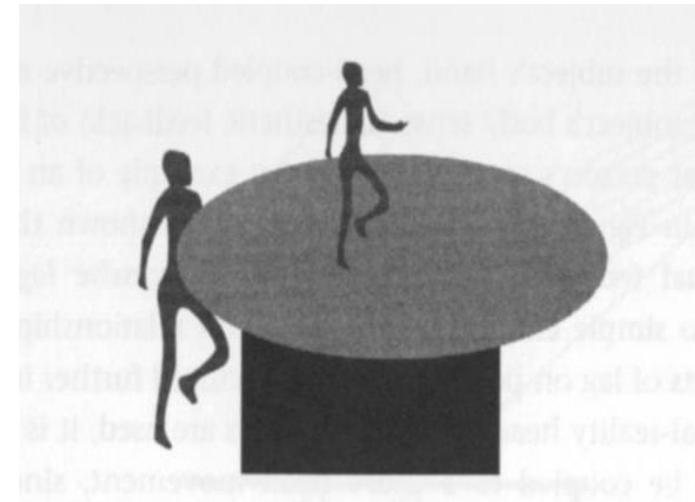
Auswertung der Depth Cues

- Depth Cues haben unterschiedlichen Informationsgehalt

- Kompliziertes Zusammenspiel

- Nicht redundant, sondern additiv
- Flexible Gewichtung
- Ein Depth Cue kann dominieren

- Kein Bilden eines 3D Modells im Kopf, unterschiedliche Depth Cues werden für verschiedene Aufgaben (Tasks) unterschiedlich gewichtet





Mögliche Tasks

- Größe von Objekten einschätzen
- Entfernung von Objekten einschätzen
- Pfade in 3D verfolgen
- Navigation in 3D durchführen
- Eigenbewegung im Raum einschätzen
- Kollisionszeit abschätzen

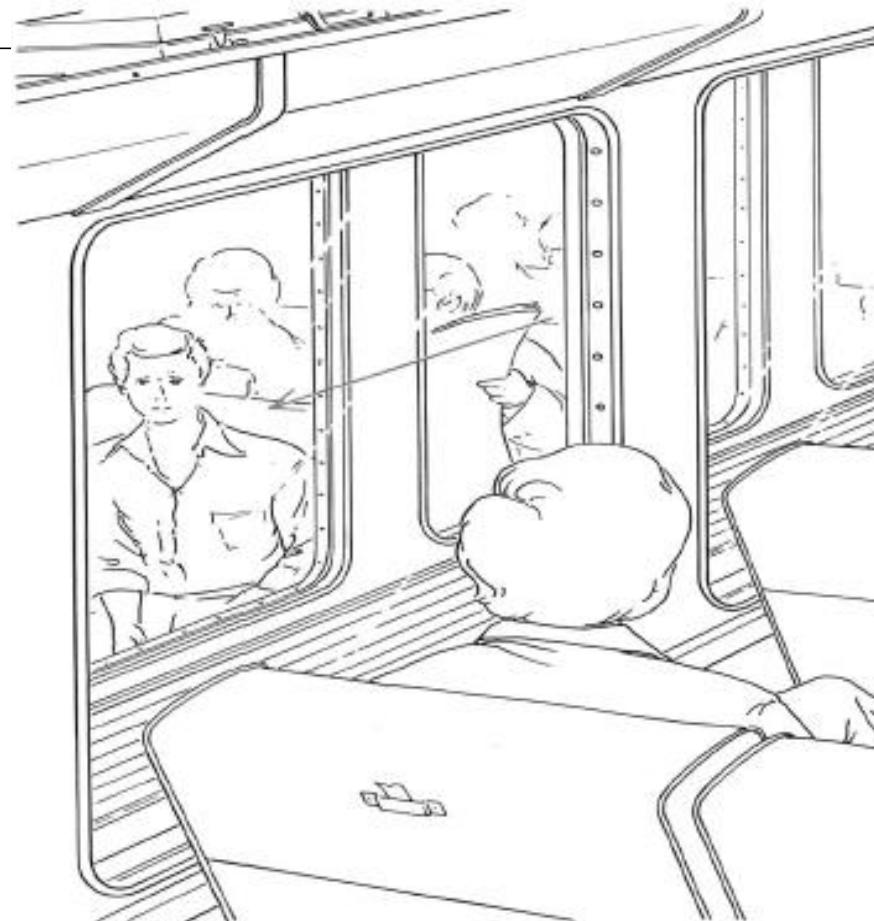


Raumwahrnehmung

- Sehr komplexer Prozess
- Heute nur fragmenthaft verstanden
- Viele weitere Phänomene
 - Größenkonstanz
 - Annahme starrer Körper
 - Vektion
 - ...

Vektion

- Scheinbare Eigenbewegung
- Einflußgrößen
 - Größe des bewegten Feldes
 - Statischer Vordergrund als Referenzrahmen vs. bewegter Hintergrund
 - Stereo





Überblick

- Allgemeiner Überblick und Kognition
 - Wichtige Elemente bei der Modellierung der menschlichen Informationsverarbeitung
- Wahrnehmung
 - Das Auge
 - Vorverarbeitung visueller Information
 - Informationsextraktion, z.B. Tiefenwahrnehmung
- **Aufmerksamkeit**
 - „**Gateway to Memory**“
- **Gedächtnis**



Veränderungsblindheit (change blindness)

- Kleines Experiment:
 - Es werden zunächst einfach Bilder angezeigt
 - Diese werden nach einer Weile flimmern und sich dabei verändern
- Aufgabe: Handzeichen geben, sobald eine Veränderung bemerkt wurde
 - (Bilder aus: O'Regan, Rensink & Clark 1999)

Paris

- Original
- Spoiler

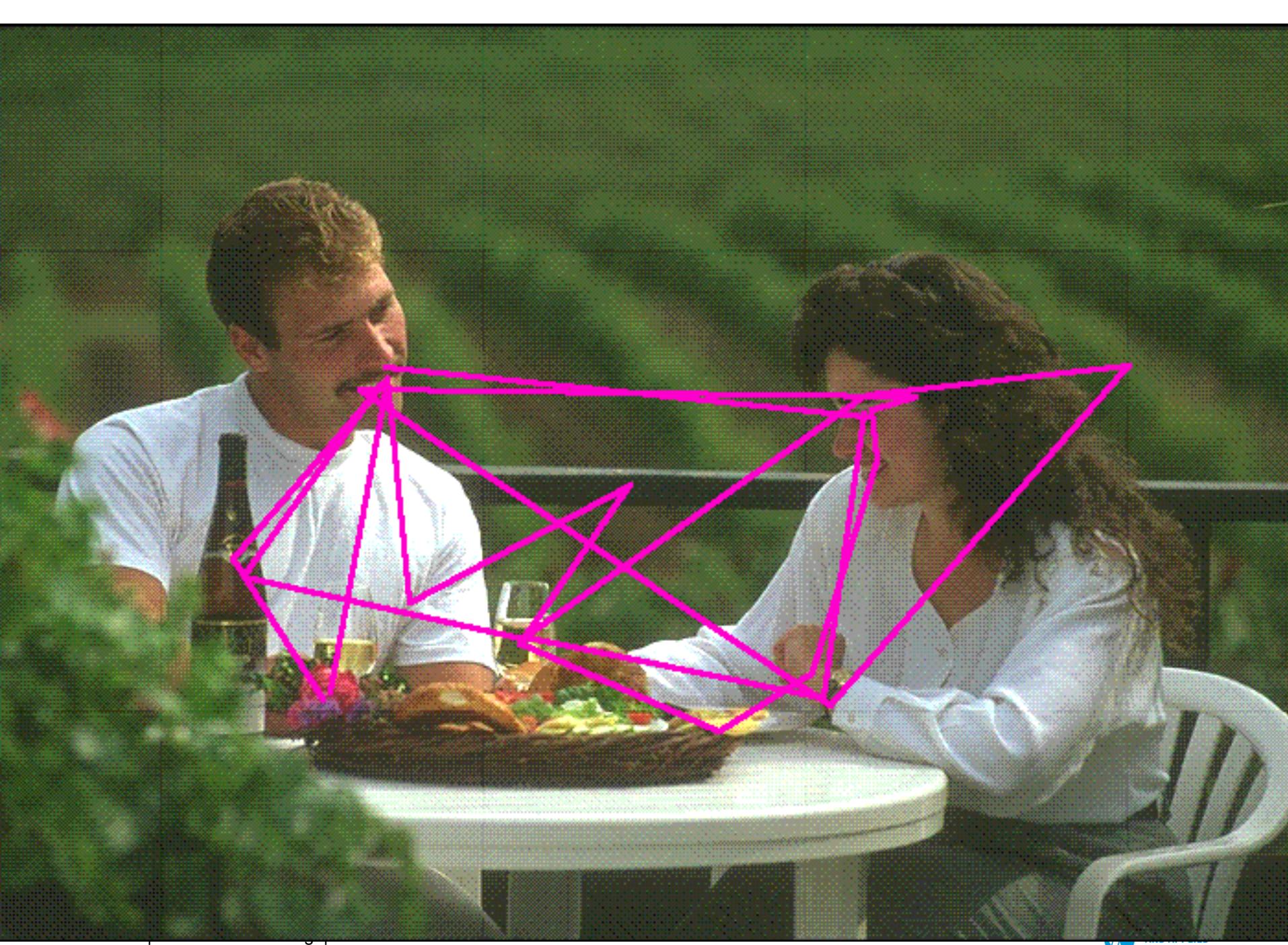


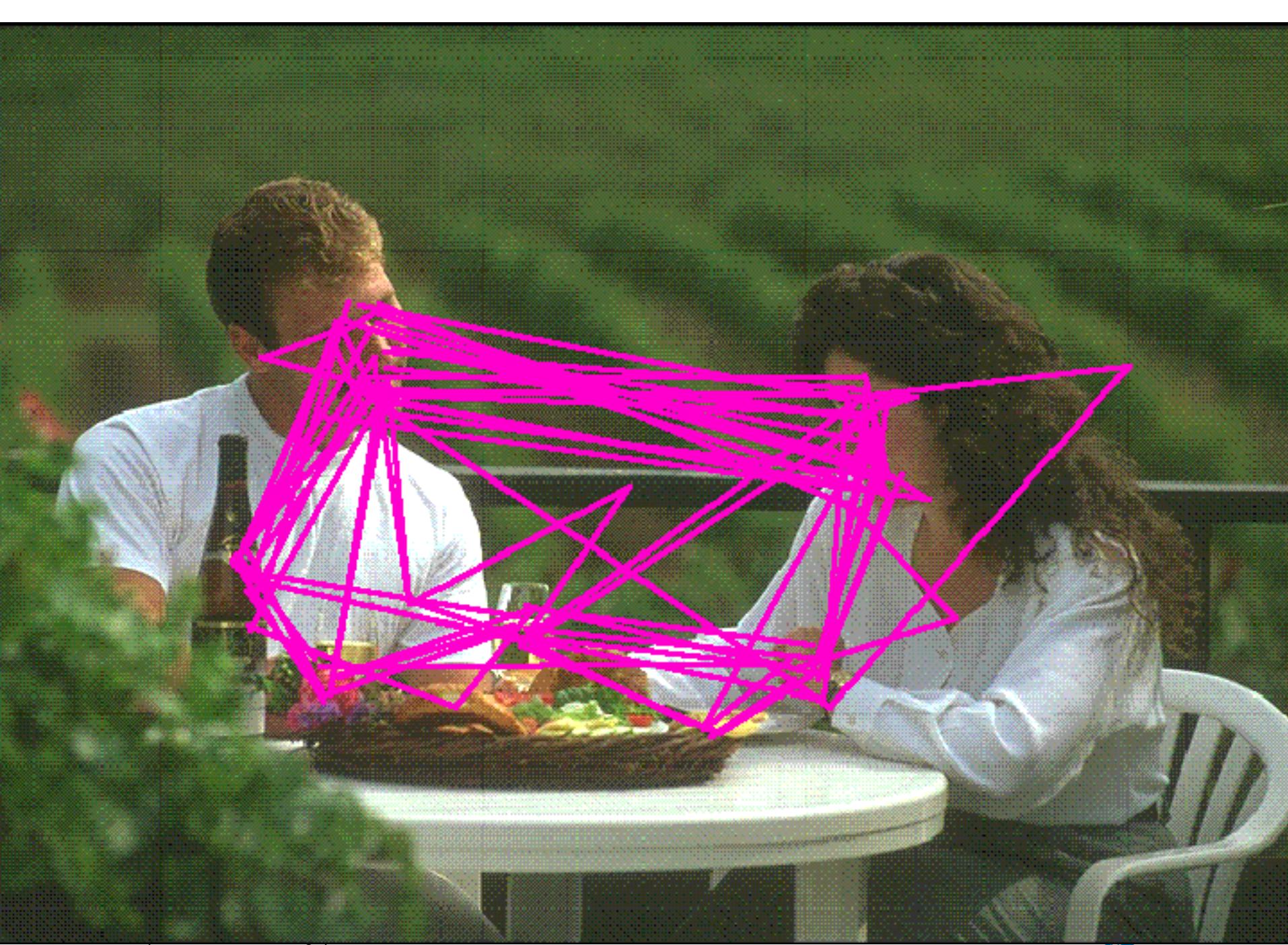
CB during Blinks (O'Regan, Deubel & Clark & Rensink, 2000)

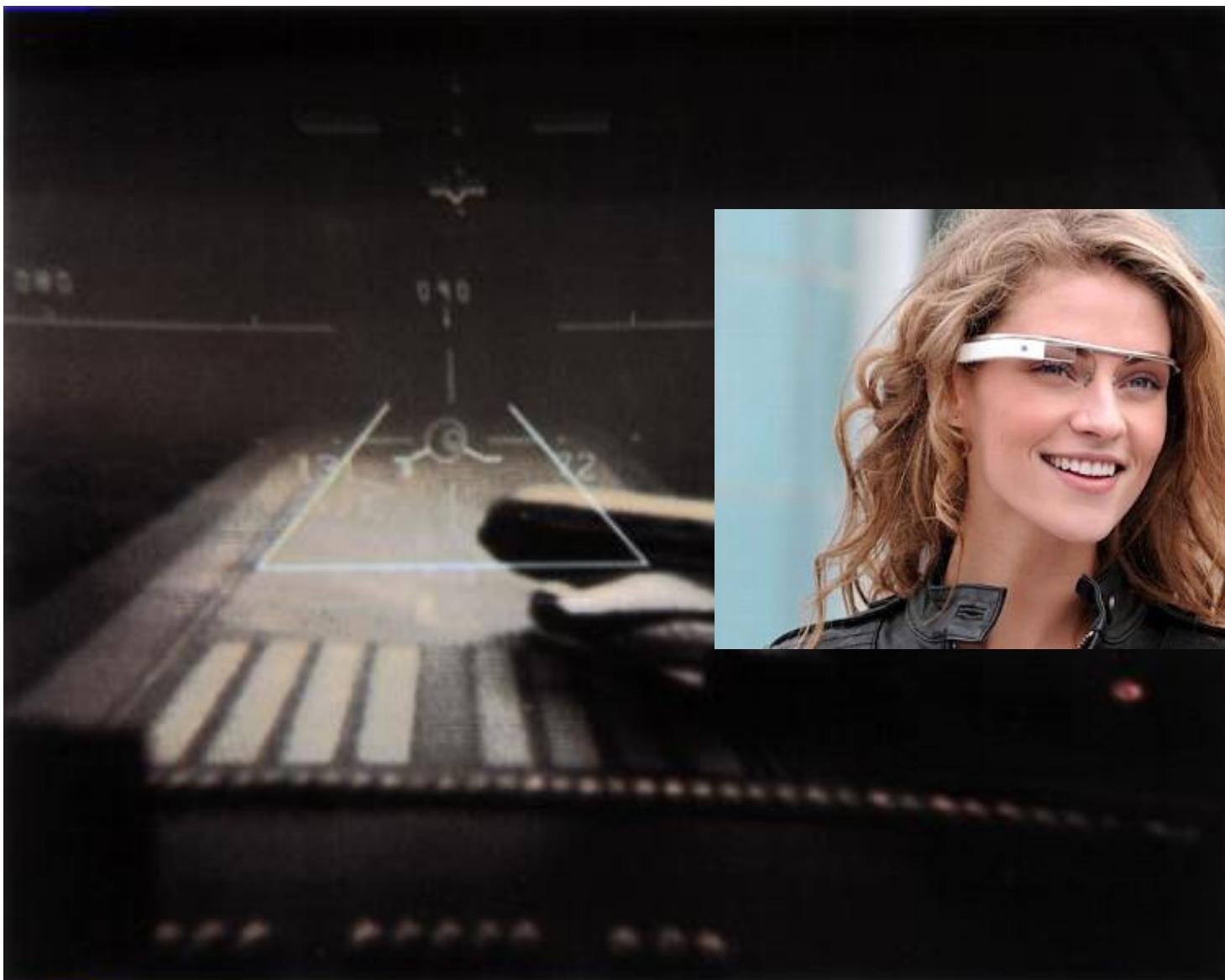
- click



CB during flicker (Rensink, O'Regan & Clark, 1997; 2000)







Richard F. Haines. A breakdown in simultaneous imformation processing.
In “Presbyopia research: from molecular biology to visual adaptation” 1991



Hockey

- click

Autos

- Click
- Spoiler

CB during Mudsplashes (O'Regan, Rensink & Clark, 1999)



Karussell

- click





Limitierung unserer Wahrnehmung

- Reiz \neq Wahrnehmung
 - unsere initiale Reizaufnahme (z.B. Auge) hat viele Limitierungen
 - nur ein Bruchteil der Information des äußeren Reizes (z.B. Bild, Video) steht zur kognitiven Verarbeitung zur Verfügung
 - Aufmerksamkeit und externe Faktoren sind wichtige Einflußfaktoren für das, was wir schließlich "wahrnehmen"
- Wahrnehmung ist eine partielle Hypothese, generiert aufgrund unvollständiger Information
 - unser "mentales Bild" einer Szene ist ein konstruiertes Modell (=Hypothese), das periodisch aktualisiert wird aufgrund von isolierten, unvollständigen und gerichteten (=selektiven) Beobachtungen
 - Hypothese wird gegen sensorische Daten getestet
 - dynamische Suche des visuellen Systems nach der besten Hypothese/ Interpretation / dem besten Modell



Aufmerksamkeit: Das „Gateway to Memory“

- Filter im Gehirn
 - Bestimmte Dinge fokusieren und den Rest ignorieren
- 3 Typen
 - **Gewählt (selective)**: Zwischen mehreren Möglichkeiten wird eine Sache, die fokussiert werden soll, ausgewählt
 - Die Augen folgen Objekten von Interesse
 - Der Kopf folgt Klängen von Interesse
 - „Cocktail Party Effekt“: Unterhaltungen in der Umgebung werden „stummgeschaltet“ um sich auf die eigene konzentrieren zu können
 - Ein einziger „Ort der Aufmerksamkeit“
 - **Geteilt (divided)**: Versuch durch „Multitasking“ mehrere Dinge zu fokussieren
 - Entweder „gleichzeitig“ oder durch schnelle Umschaltung (time multiplexed)
 - Wirkt sich negativ auf Verarbeitung aus, wenn die Aufgaben überfordern
 - Aufgaben beeinträchtigen sich gegenseitig
 - **Erfasst (captured)**: Ein äußerer Reiz zieht alle Aufmerksamkeit auf sich

Das menschliche Gedächtnis (Memory)



- Arbeitsgedächtnis (working memory):
 - Schneller Zugriff (ca. 70 ms) und schneller Verfall (nach ca. 200 ms)
 - Inhalt wird nach wenigen Sekunden ans Langzeitgedächtnis weitergegeben
 - Eingeschränkte Kapazität (daher sozusagen ein „Schmierblatt“)
 - Die kleine Kapazität beträgt 7 (± 2) „chunks“ (Miller, 1956)
- Informationen können in Stücke (chunks) zerlegt werden:
 - 496151155679 wird zu 49 (6151) 155 679
 - DATUVCVL wird zu DA TU VC VL
- Daten werden gelöscht („flushed“), sobald eine Aufgabe beendet ist oder durch Wiederholung ins Langzeitgedächtnis verschoben

Das menschliche Gedächtnis (Memory)



- Langzeitgedächtnis ist langsamer, dafür aber wesentlich größer
 - Sozusagen unbegrenzt groß (unbekannt, wie groß genau)
 - Langsamerer Zugriff (ca. 100 ms) mit wenig Verlust
 - Zugriff ist ein kompliziertes Verfahren, dass von vorherigen Zugriffen abhängt
- Hauptaufgaben, die mit dem Langzeitgedächtnis in Verbindung stehen:
 - Informationen speichern und sich an diese erinnern
 - Informationen abrufen
 - Vergessen

Aufgabe



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Zählen Sie, wie häufig sich
die weiße Basketballmannschaft den Ball zuwirft





TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!