

# **Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung**

**Visual Computing  
Winter Semester 2018-2019**



**Prof. Dr. A. Kuijper**

Mathematical and Applied Visual Computing (MAVC)  
Graphisch-Interaktive Systeme (GRIS)  
Fraunhofer IGD  
Fraunhoferstrasse 5  
D - 64283 Darmstadt

E-Mail: [office@gris.tu-darmstadt.de](mailto:office@gris.tu-darmstadt.de)  
<http://www.gris.tu-darmstadt.de>  
<https://www.mavc.tu-darmstadt.de>

# Semesterplan



Datum	Thema
26. Okt	Einführung + Visual Computing
02. Nov	Wahrnehmung
09. Nov	Objekterkennung und Bayes
16. Nov	Fourier Theorie
23. Nov	Bilder
30. Nov	Bildverarbeitung
07. Dez	Grafikpipeline & Eingabemodalitäten & VR+AR
14. Dez	Transformationen & 2D/3D Ausgabe
18. Jan	3D-Visualisierung
25. Jan	X3D – 3D in HTML
01. Feb	Informationsvisualisierung
08. Feb	Farbe
15. Feb	User Interfaces + Multimedia Retrieval
07. Mrz	Klausur

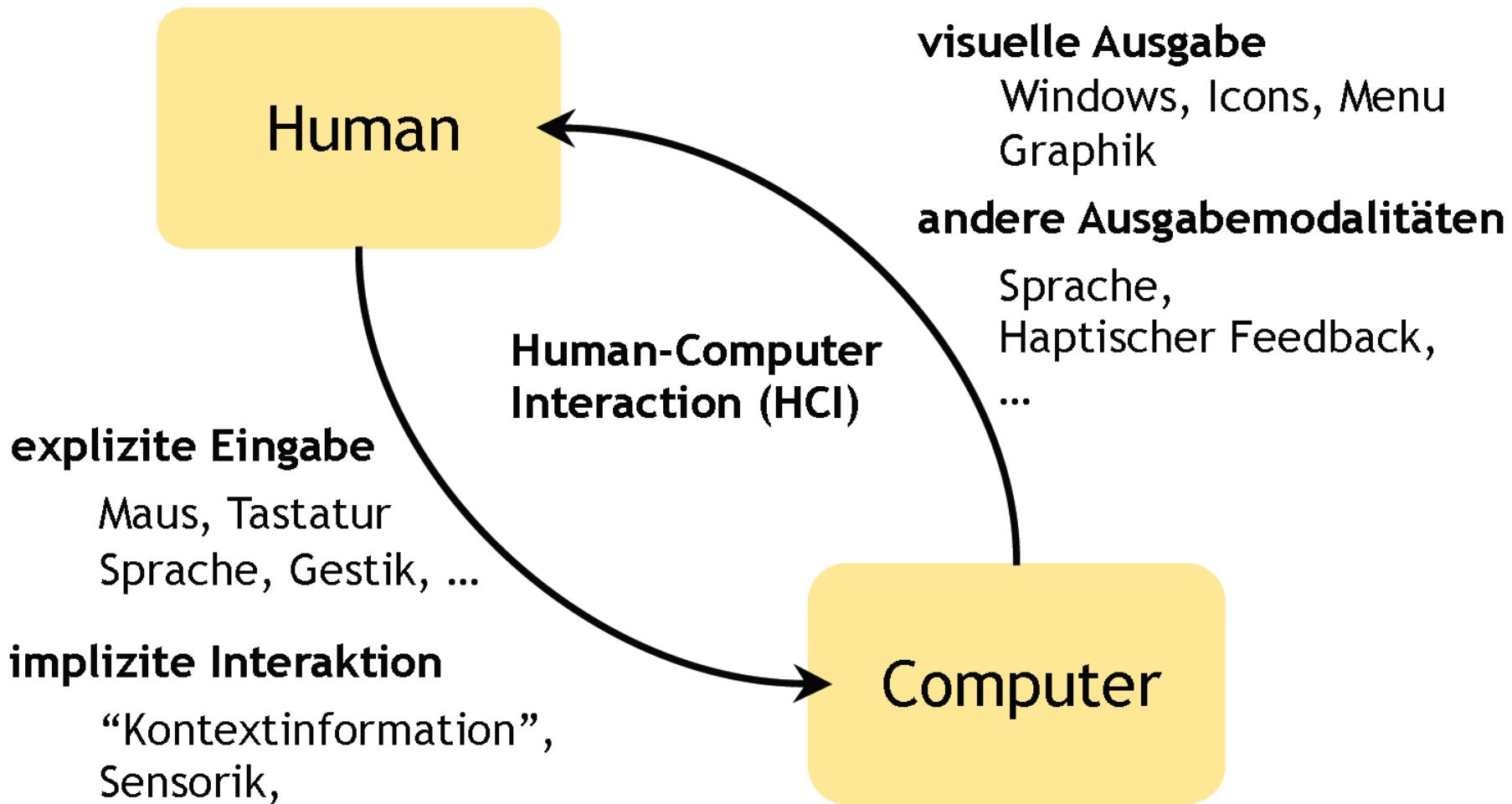


# Heute

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



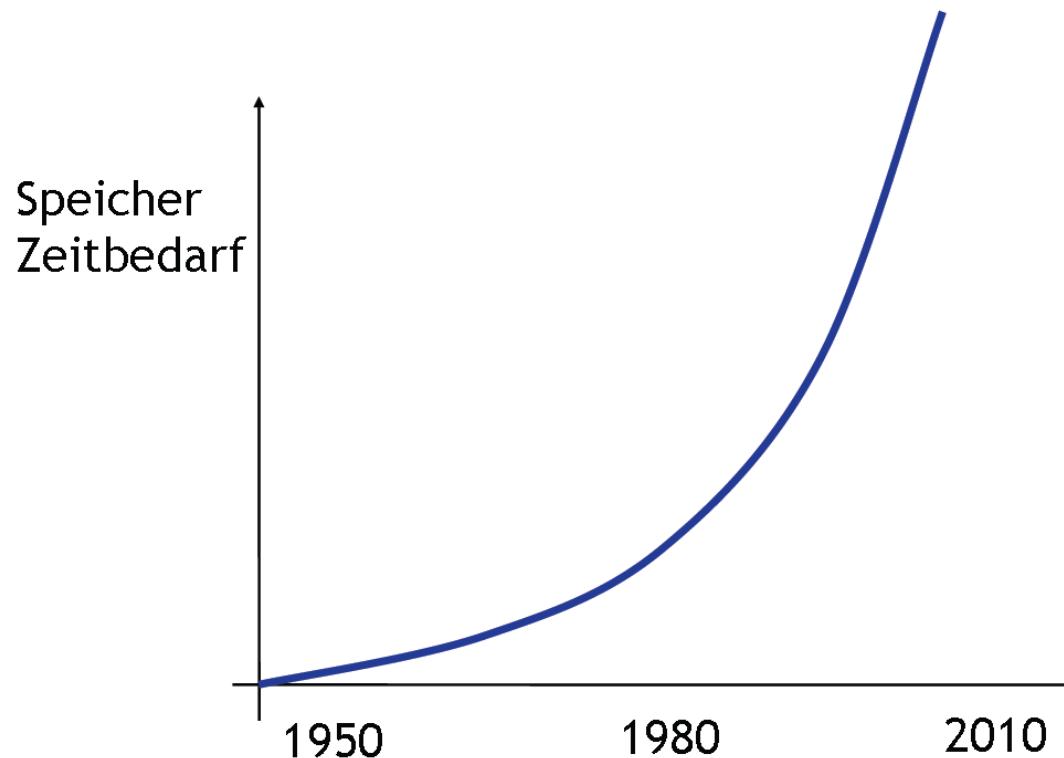
- [http://www.magicmgmt.com/gary/oi\\_drag\\_arc/](http://www.magicmgmt.com/gary/oi_drag_arc/)
- <http://www.michaelbach.de/ot/geom-Jastrow/capp/index.html>



# Warum überhaupt VC?



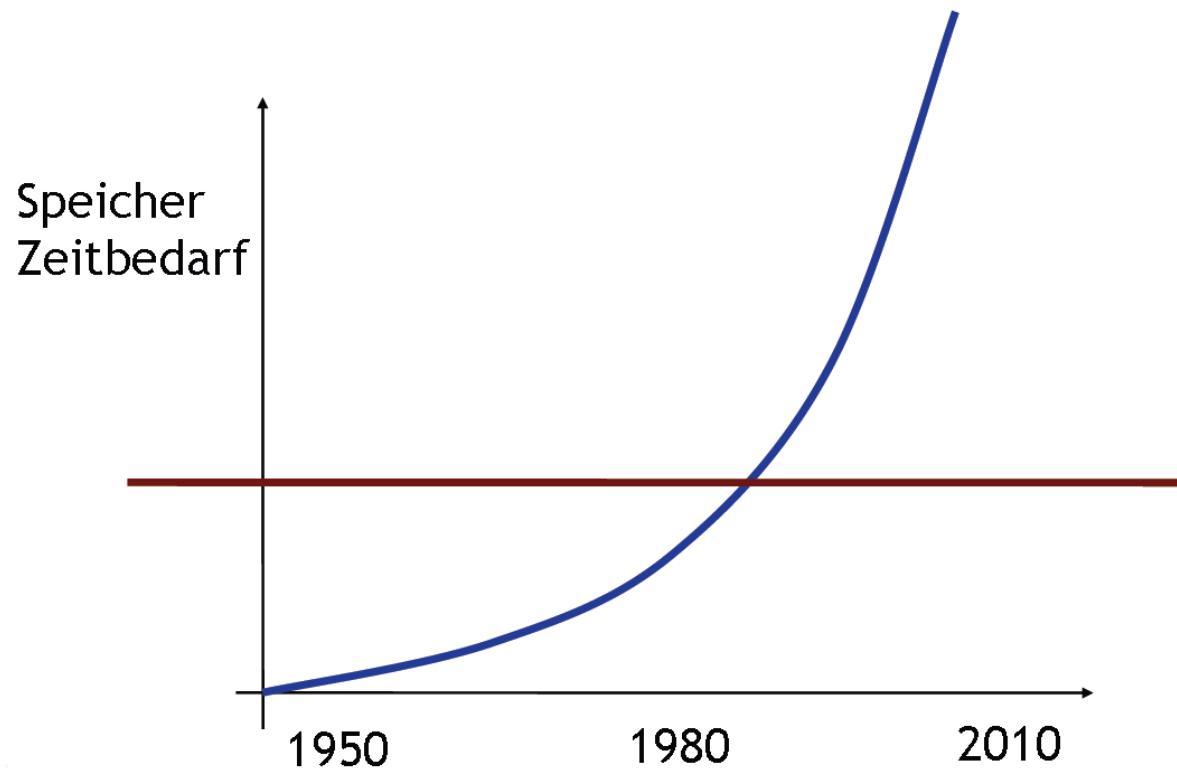
- Moore's Law:
  - Leistungsfähigkeit der elektronischen Rechner wächst exponentiell mit der Zeit



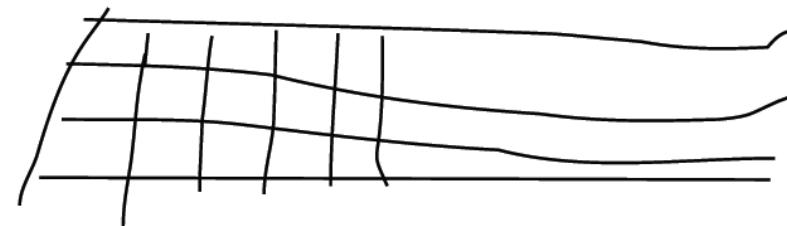
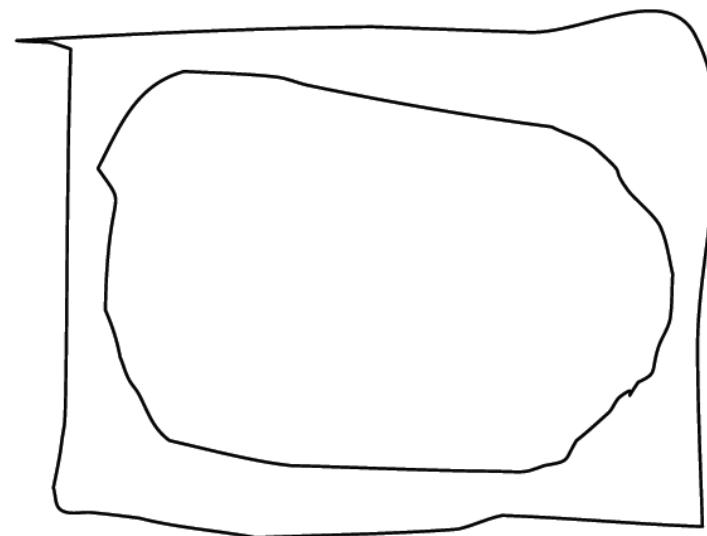
# Warum überhaupt VC?



- **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)

# Wahrnehmung?



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)



# 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 Bildherzeugung (am Monitaurausgang 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)



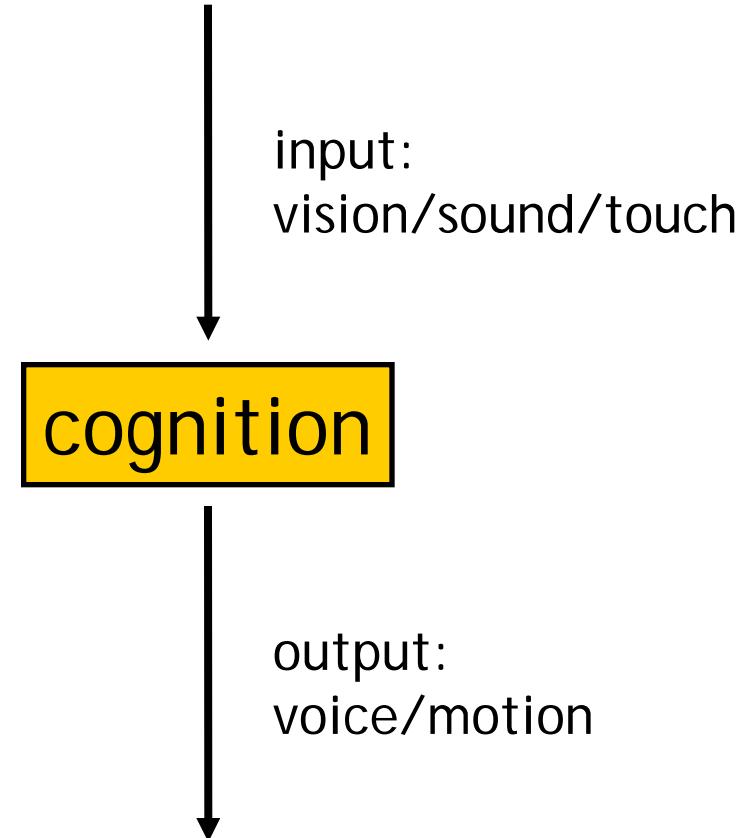
# Ziele

- 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:

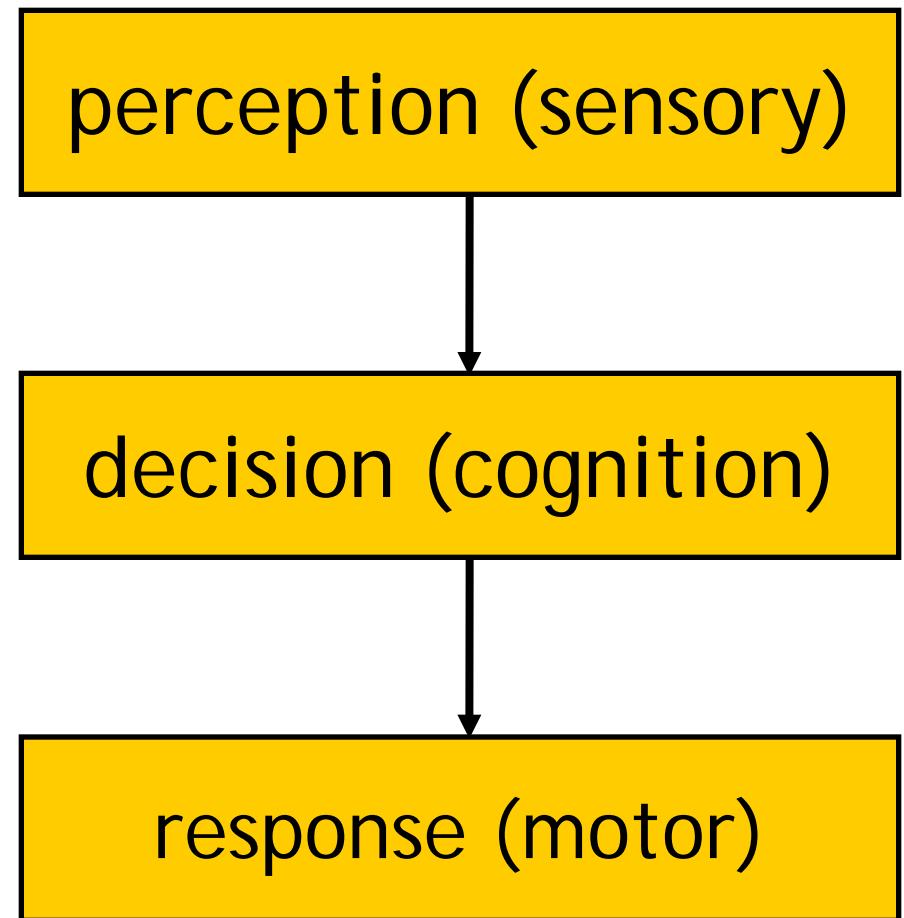
- **Brockhaus:** Kognition [lat. ‘das Erkennen’, ‘Kennen lernen’]: Sammelbegriff für alle Prozesse und Strukturen, die mit dem Wahrnehmen und Erkennen zusammenhängen (Denken, Erinnern, Vorstellen, Gedächtnis, Lernen, Planen u. a.)
- **Bertelsmann Lexikon der Psychologie:** Kognition: Überbegriff für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

<b>Untersystem</b>	<b>Durchschnitt</b>	<b>Bereich</b>
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



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?

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, ...

input:  
vision/sound/  
touch

cognition

output:  
voice/motion



# Reiz: Elektromagnetische Strahlung

- Monochromatisches (einfarbiges) Licht wird beschrieben durch Angabe der Frequenz  $\nu$  bzw. der Wellenlänge  $\lambda$ . Beide Größen sind durch die Beziehung

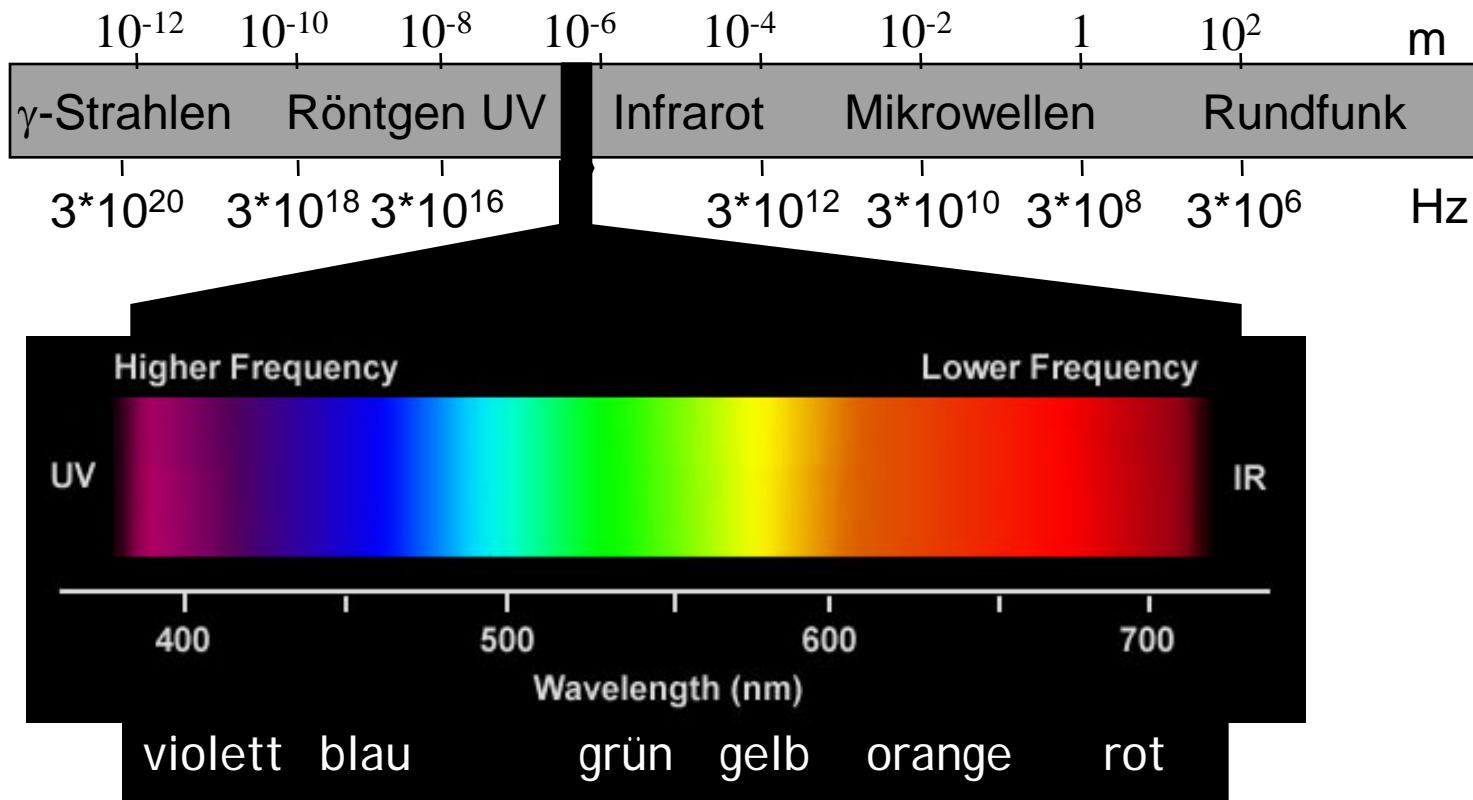
$$\nu \cdot \lambda = c$$

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:

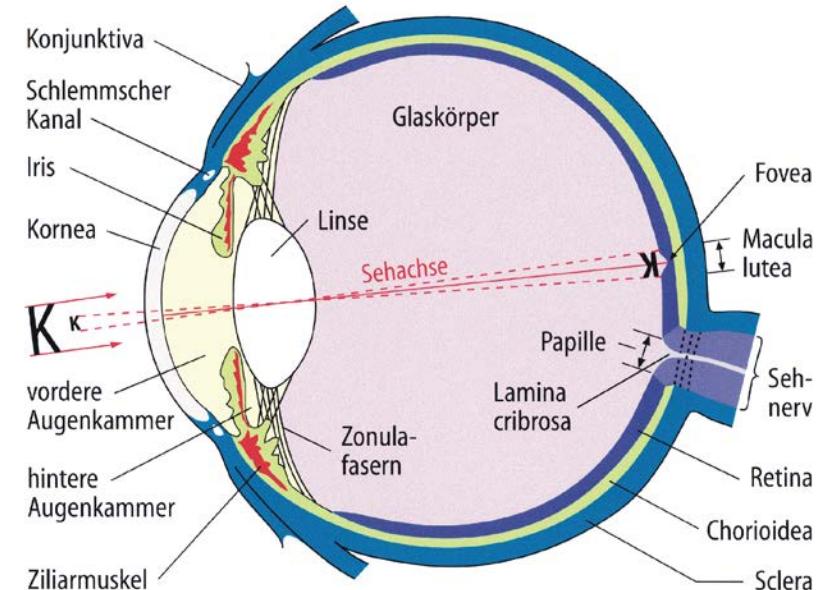
- Hornhaut (Kornea), Kammerwasser, Linse, Glaskörper
- Linse: Akkommodation (Scharfeinstellung)  
fern:  $f=17\text{mm}$ , nah:  $f=14\text{mm}$

- Iris

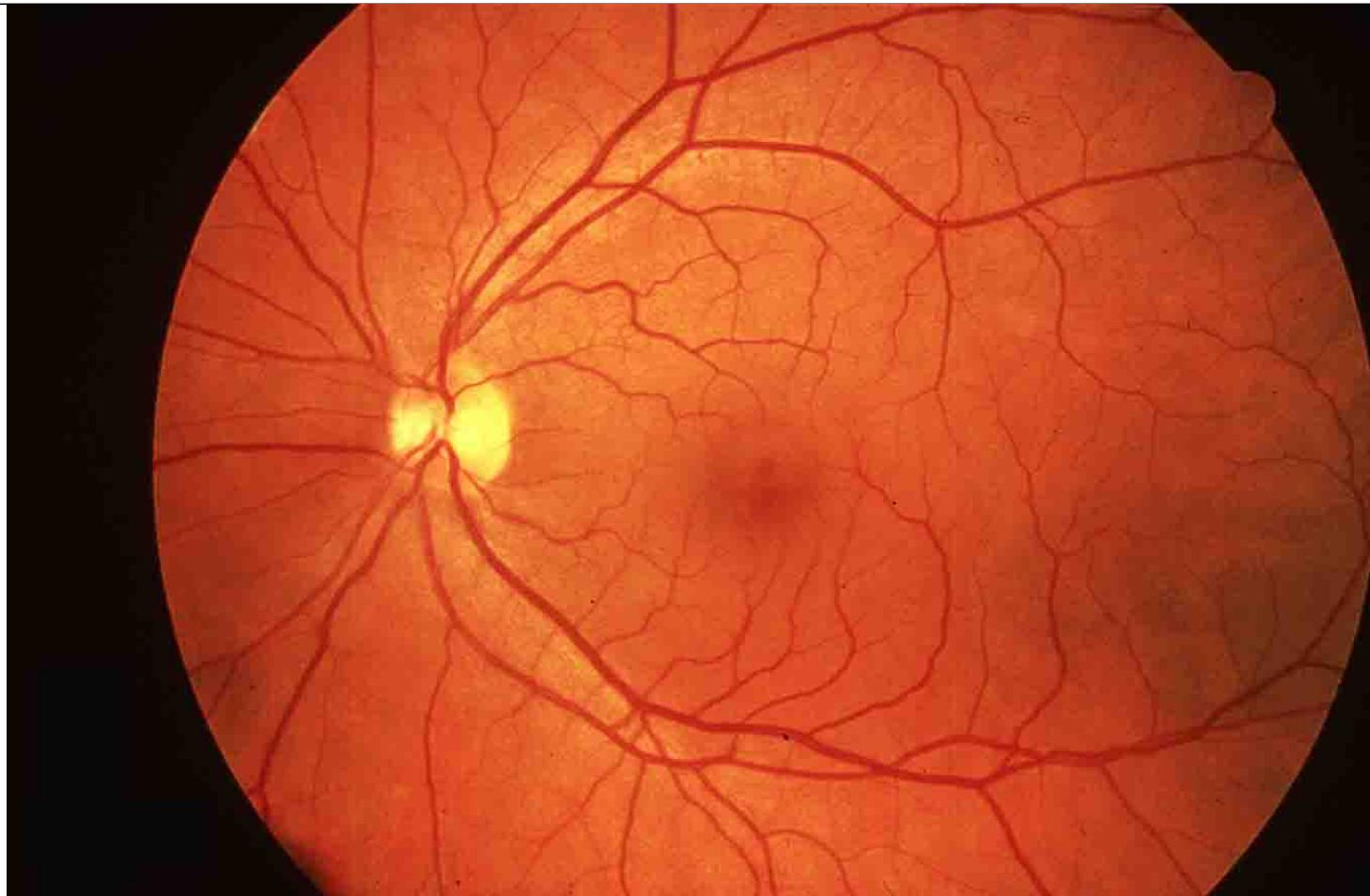
- Blendenmechanismus (2-8mm Öffnung)

- 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)

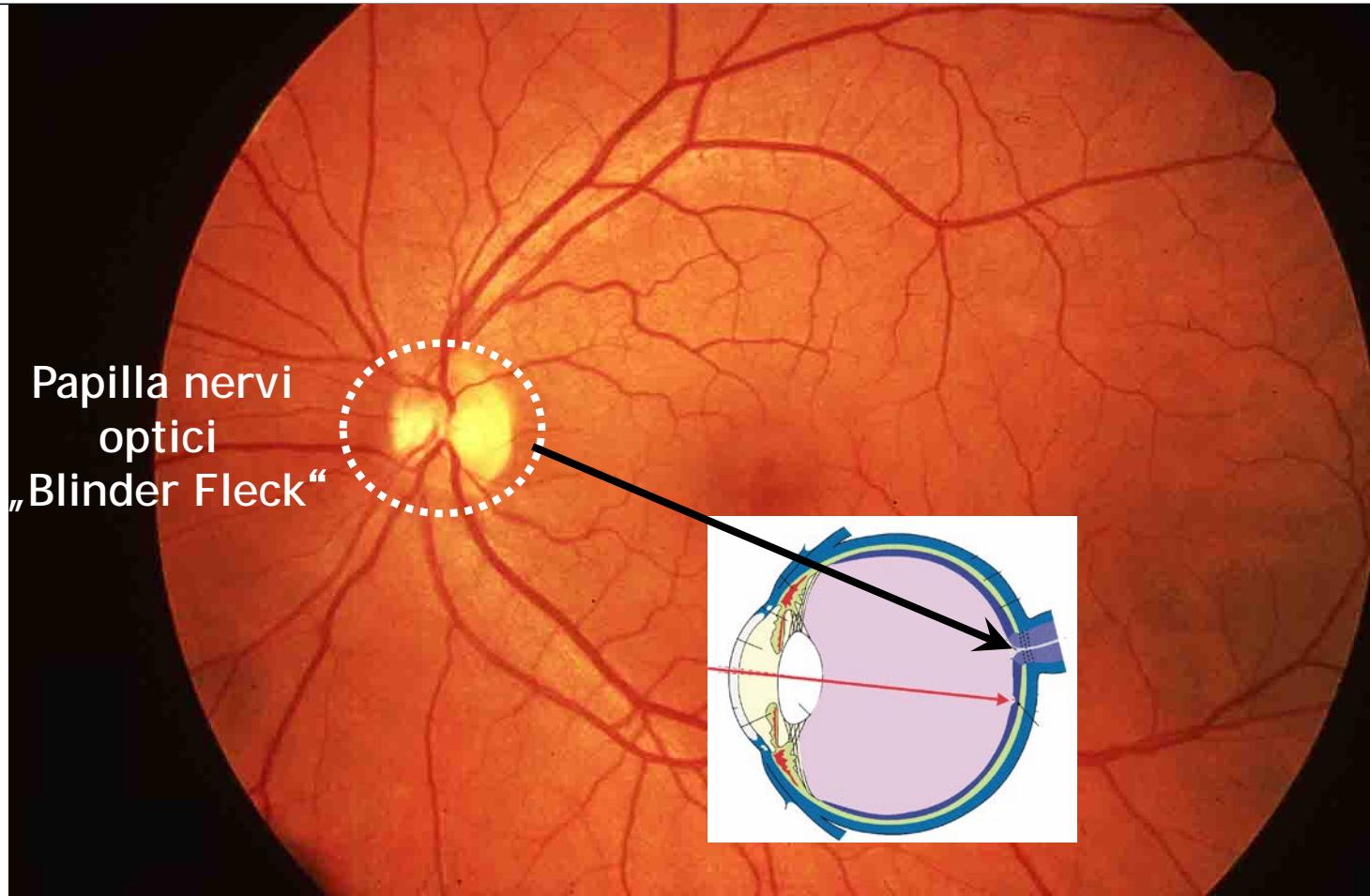


# Blick auf die Netzhaut



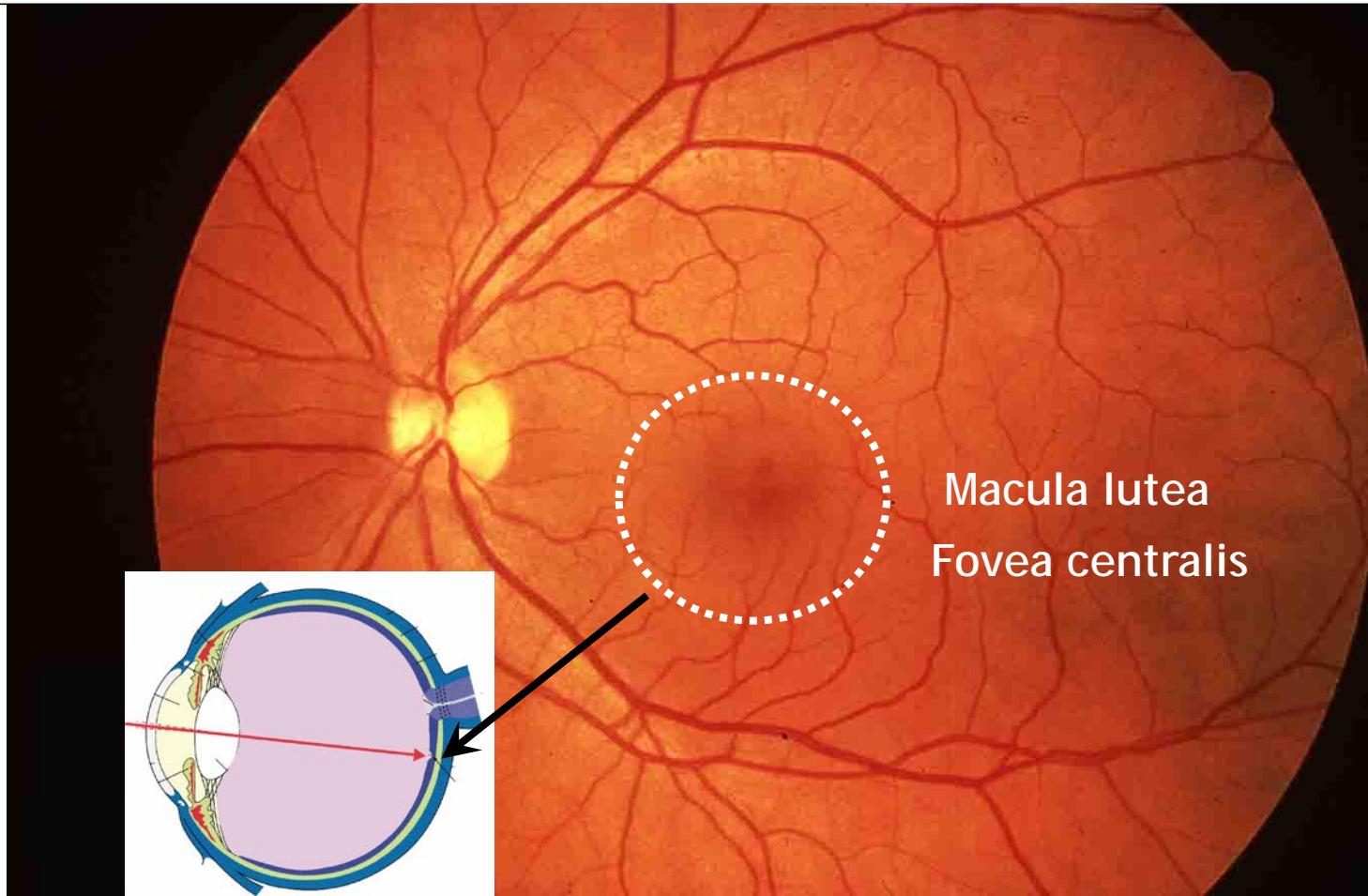
[http://www.penneye.com/html/retina\\_vitreous.html](http://www.penneye.com/html/retina_vitreous.html)

# Blick auf die Netzhaut



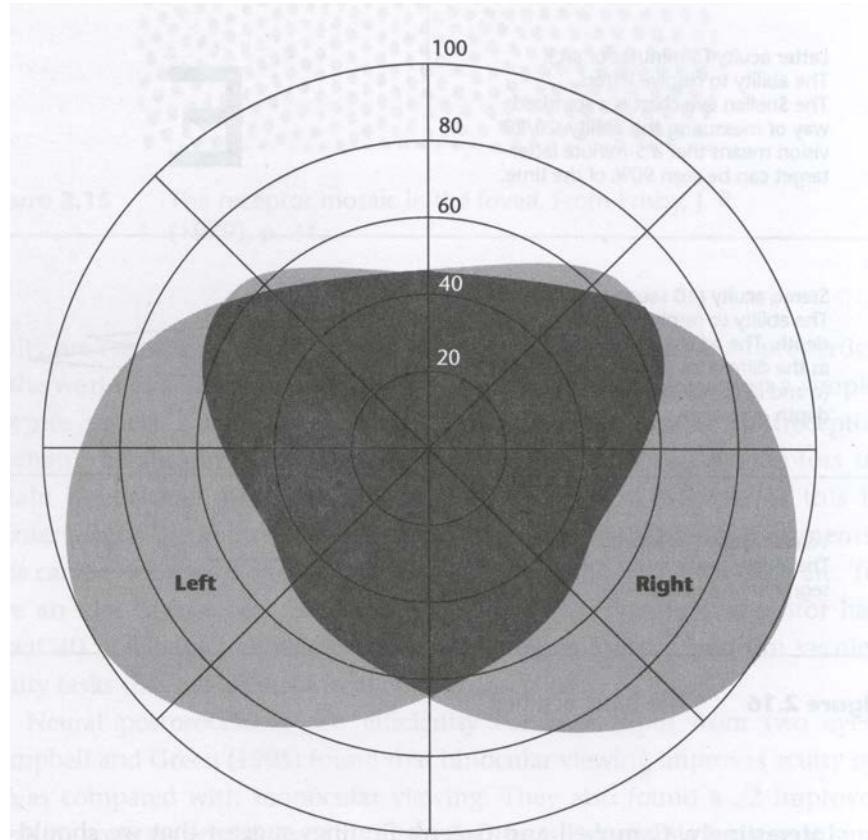
[http://www.penneye.com/html/retina\\_vitreous.html](http://www.penneye.com/html/retina_vitreous.html)

# Blick auf die Netzhaut

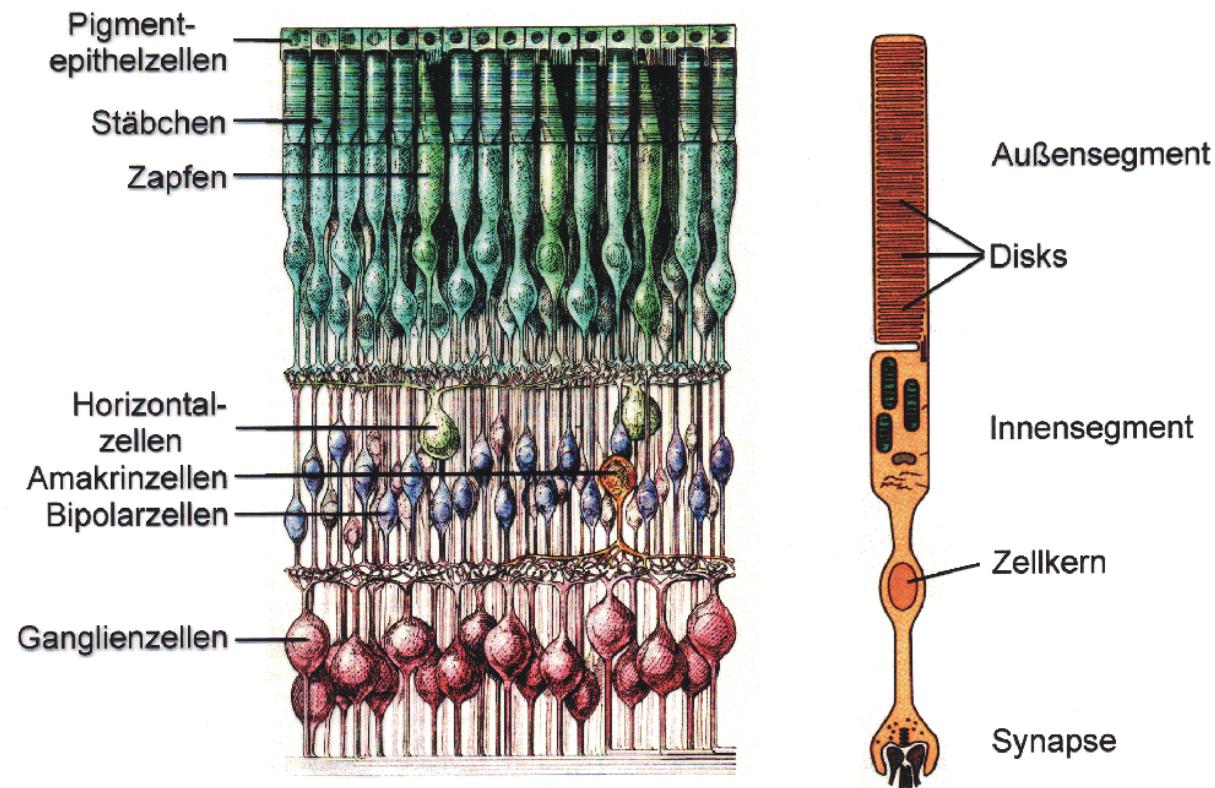
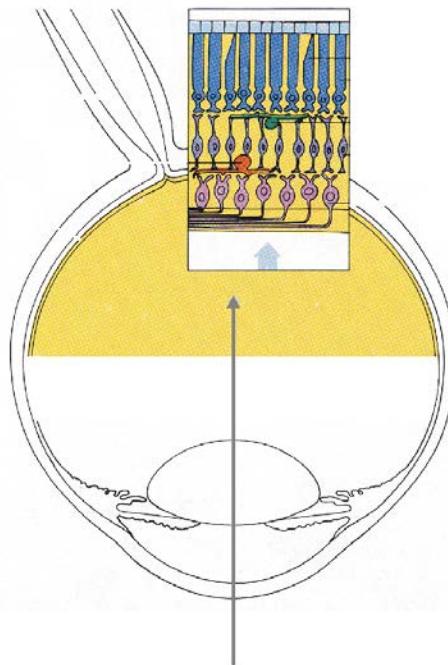


[http://www.penneye.com/html/retina\\_vitreous.html](http://www.penneye.com/html/retina_vitreous.html)

# Gesamtsehfeld



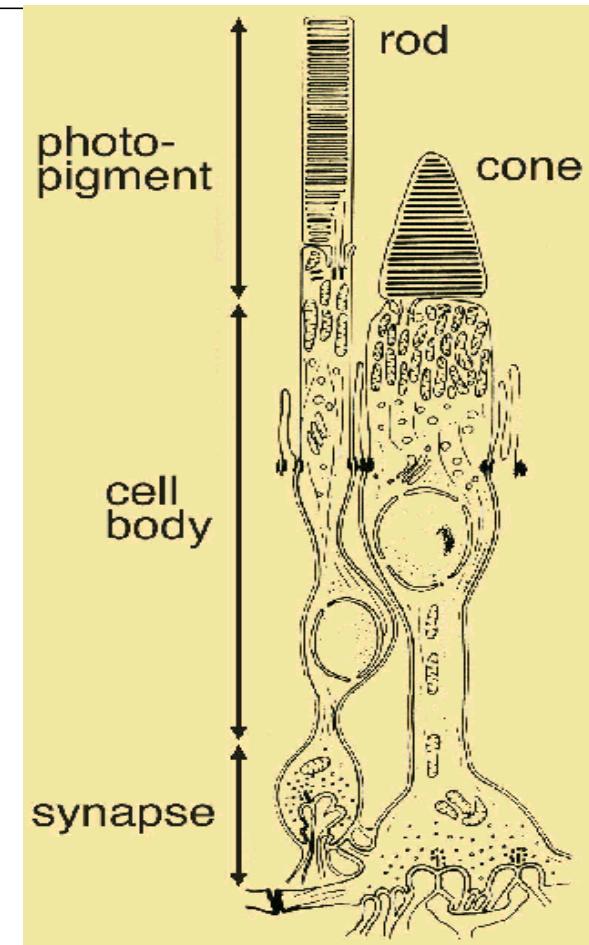
# Photorezeptoren



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

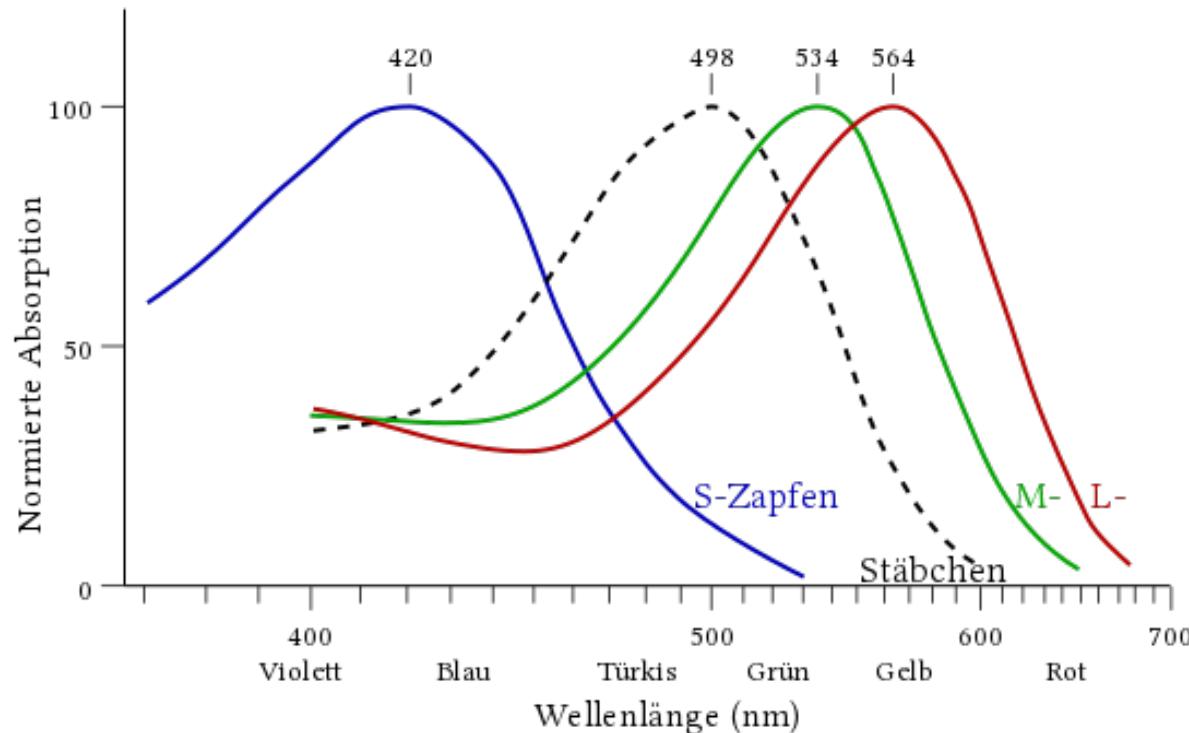
# Photorezeptoren

- 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

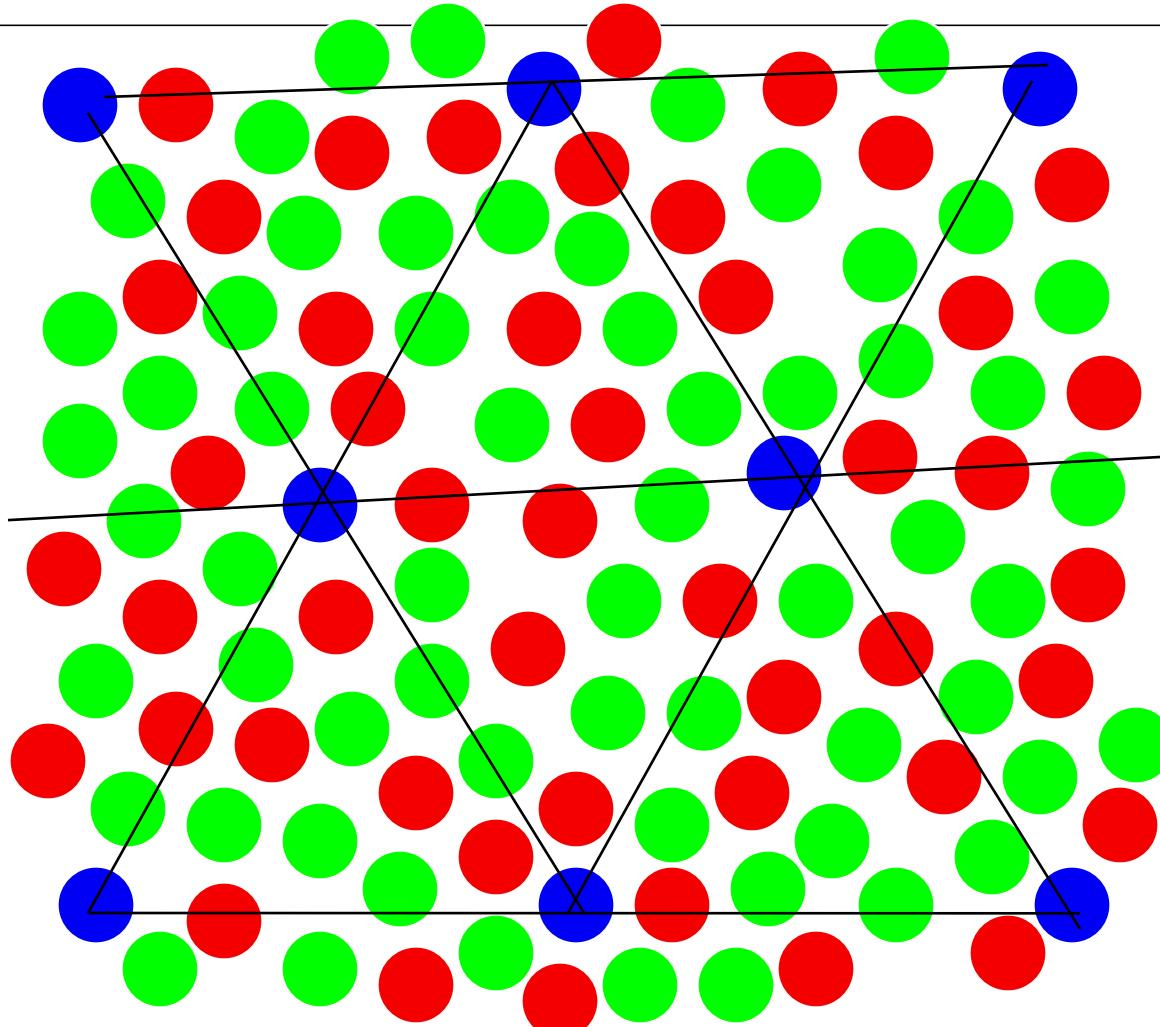


# Skotopisches und photopisches Sehen

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



# Zapfenmosaik in der Fovea Centralis



10% S-Rezeptoren  
B-blau

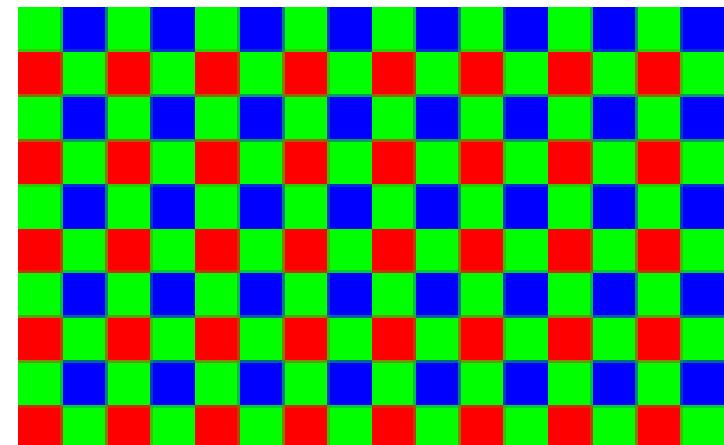
48% M-Rezeptoren  
G-grün

42% L-Rezeptoren  
R-rot

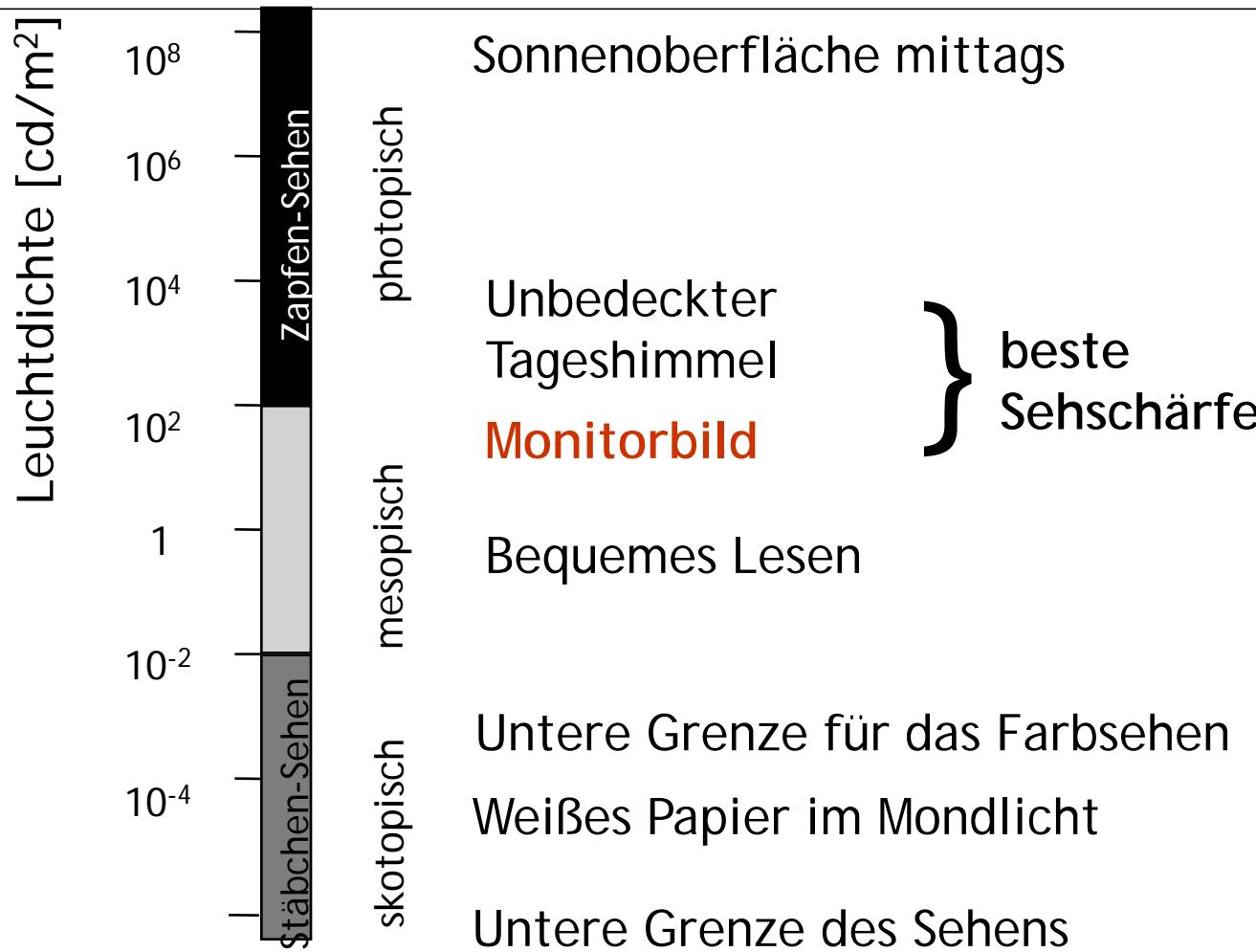
# Intermezzo: Bayer Muster



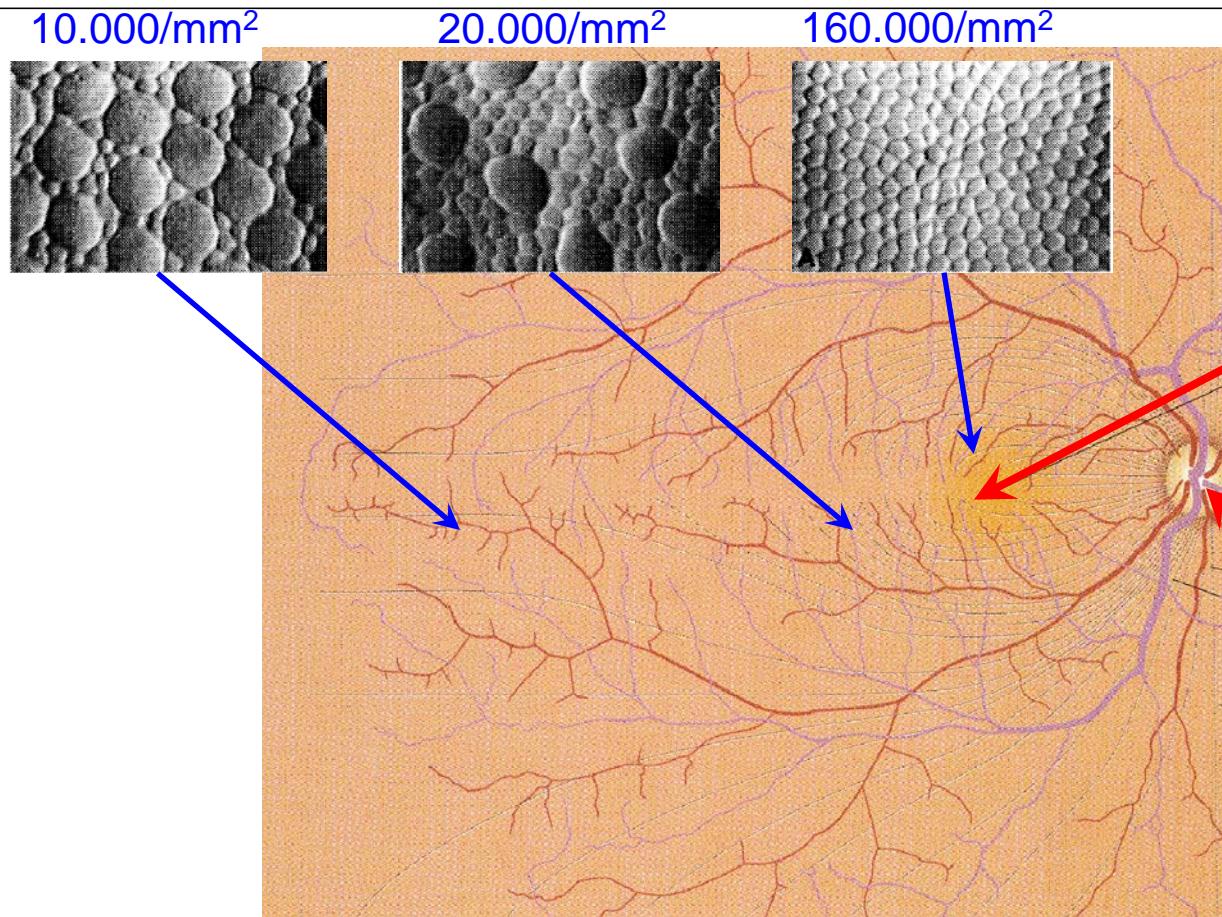
- Als **Bayer-Sensor** bezeichnet man einen Fotosensor, der – ähnlich einem Schachbrett – mit einem Farbfilter überzogen ist, welcher meist zu 50 % aus Grün und je 25 % aus Rot und Blau besteht.
- Grün ist in der Flächenzuweisung (und somit in der Auflösungsfähigkeit) privilegiert, da Grün (bzw. der 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



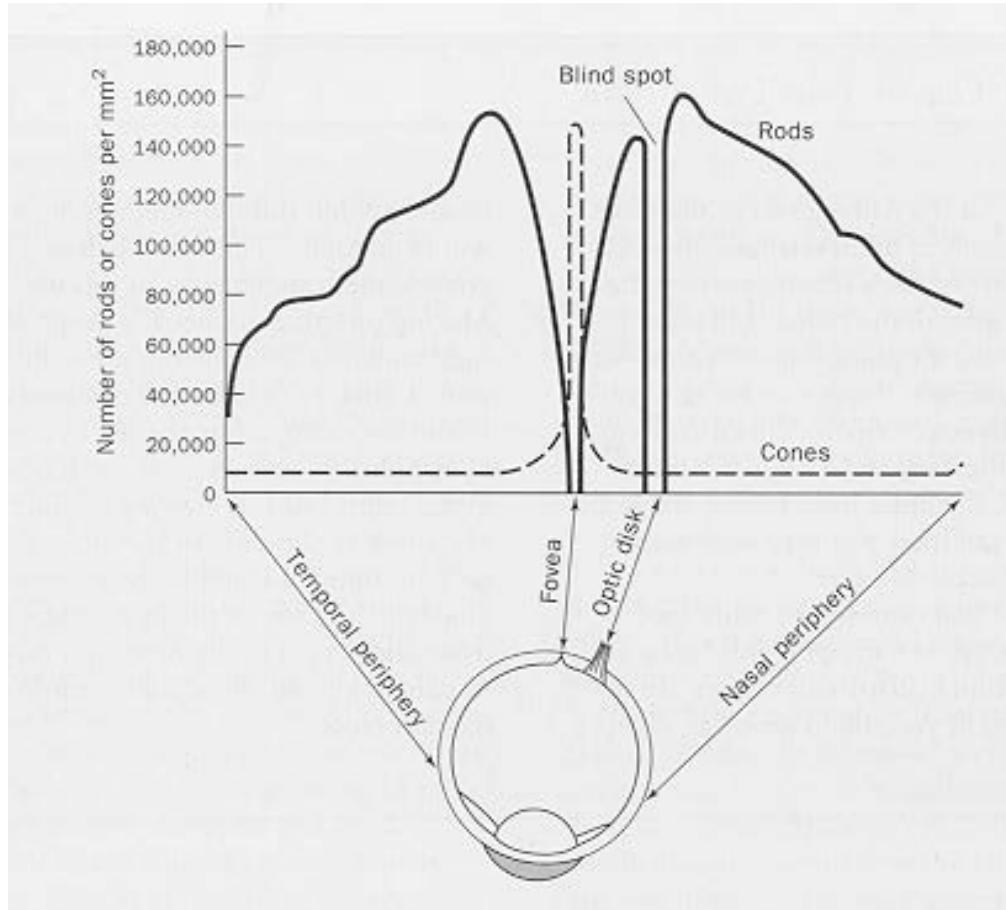
Fovea centralis  
(gelber Fleck)

Papilla nervi optici  
(blinder Fleck)

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

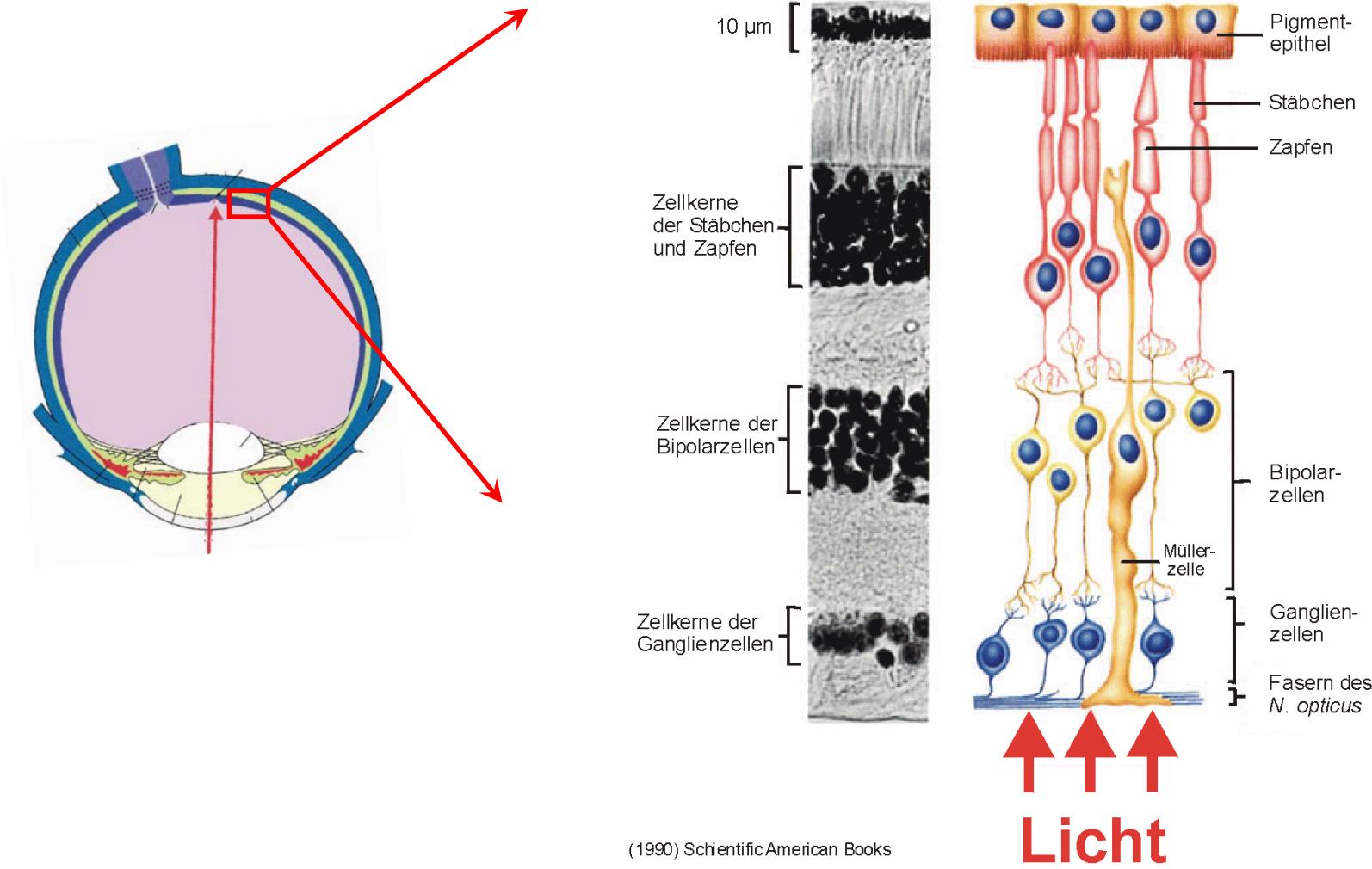
L C M O  
C M A O  
X A T  
A I I E S T G R  
T Y • A  
F U C F N O N T  
C I N T  
I



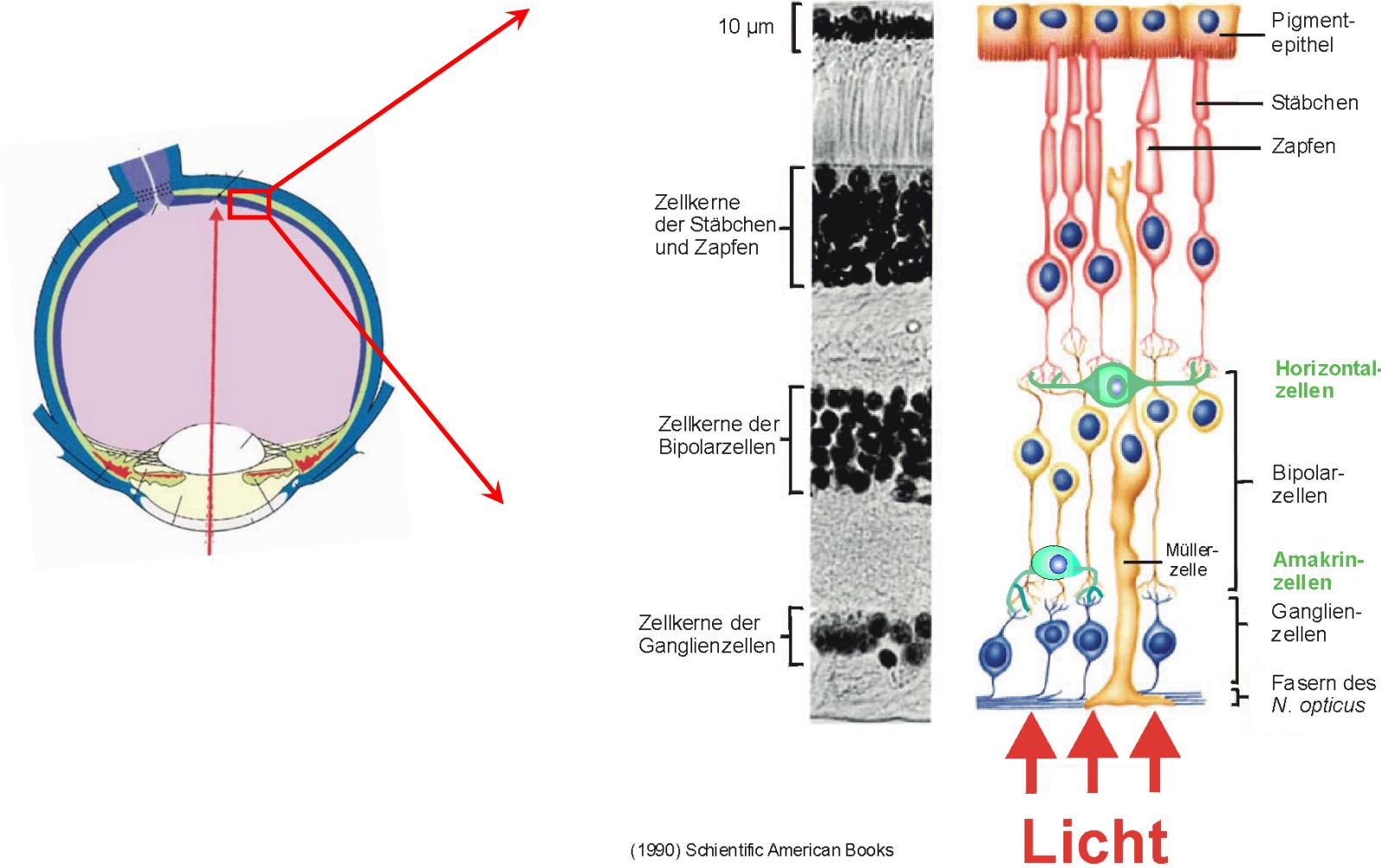
# Überblick

- 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



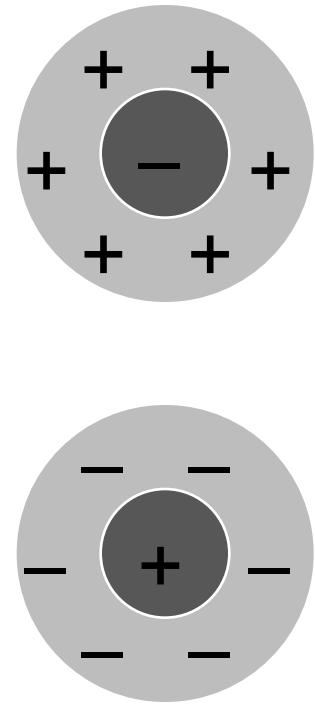
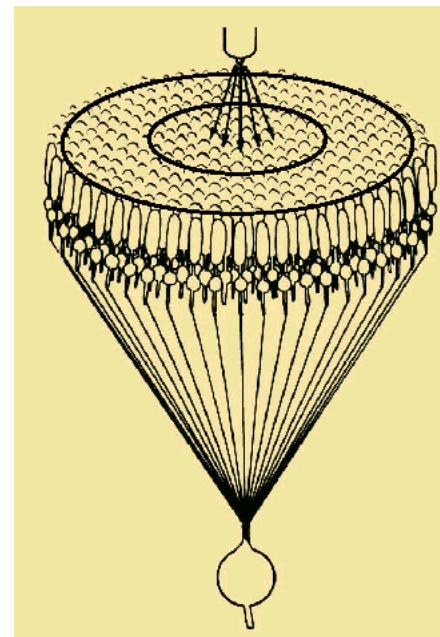
(1990) Schientific American Books

# Signalverarbeitung in der Retina Vereinfacht

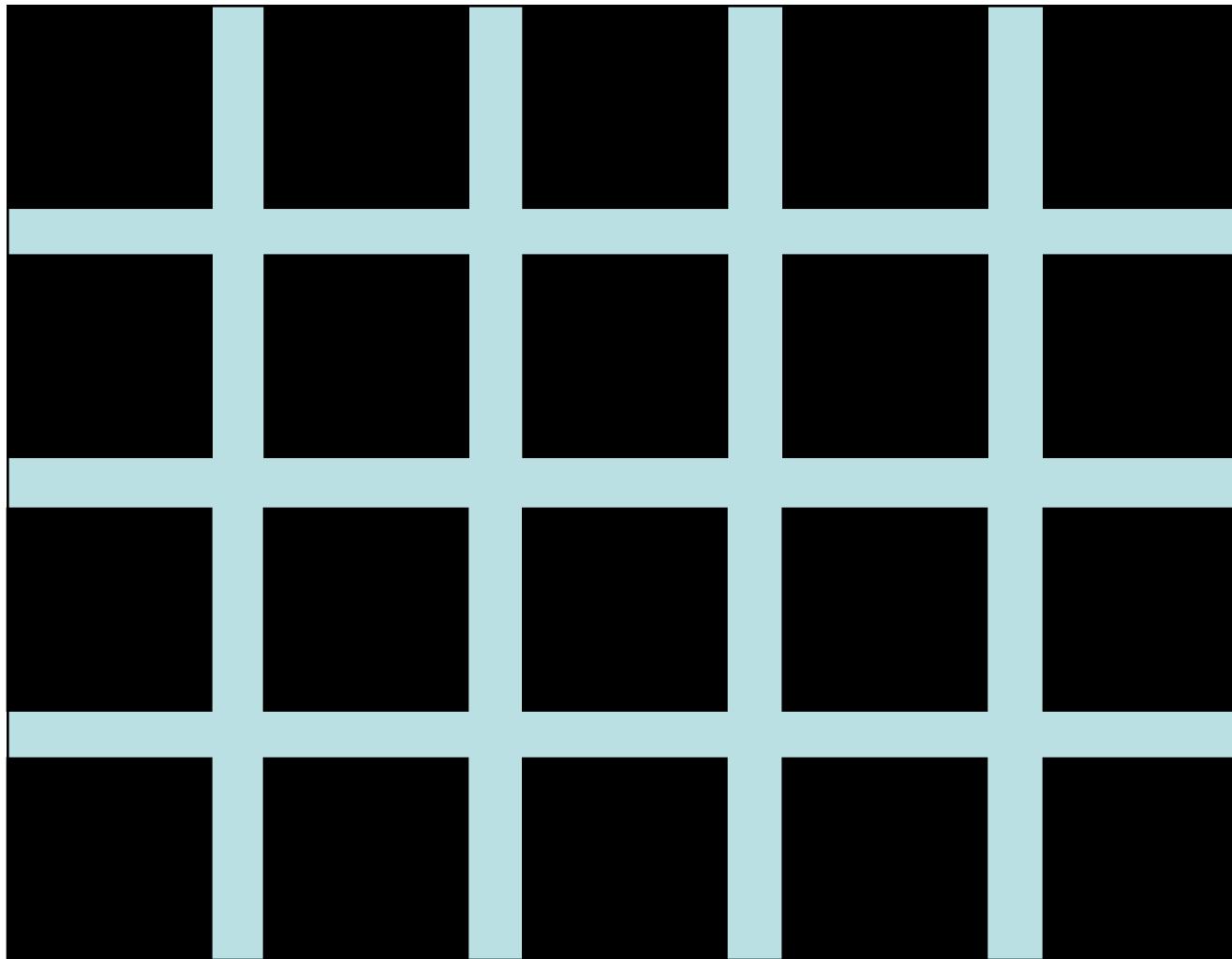


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

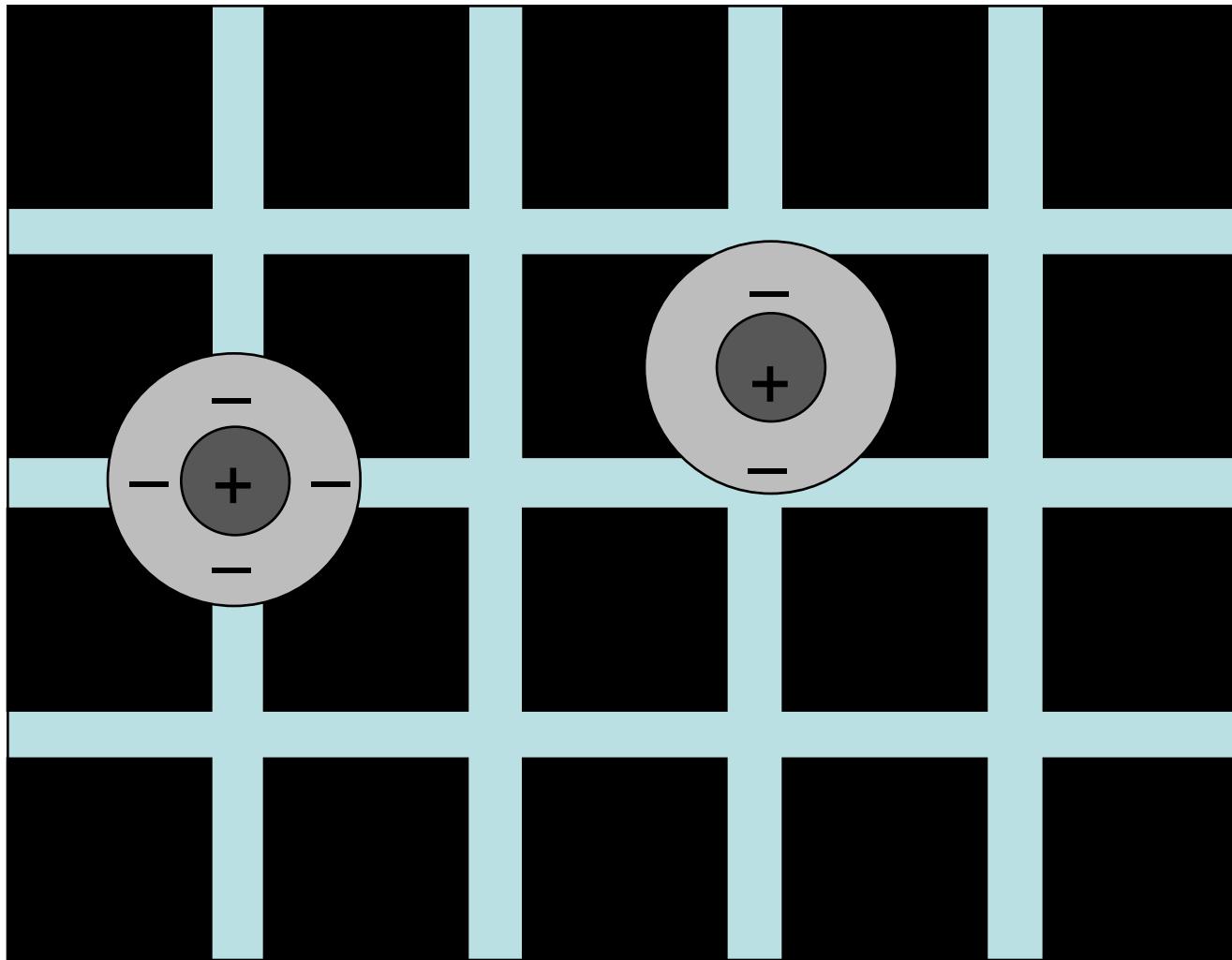
- Horizontal Zellen
  - Kombinieren mehrere Rezeptoren einer Region
- Amakrin-Zellen
  - Zeitliche Verarbeitung
- Bipolar-Zellen
  - Informationsfilter:  
sammeln, gewichten, weiterleiten
- Ganglien-Zellen
  - Integrieren Informationen
  - Z.B. Kontrastwahrnehmung:  
Unterschied Zentrum und Peripherie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



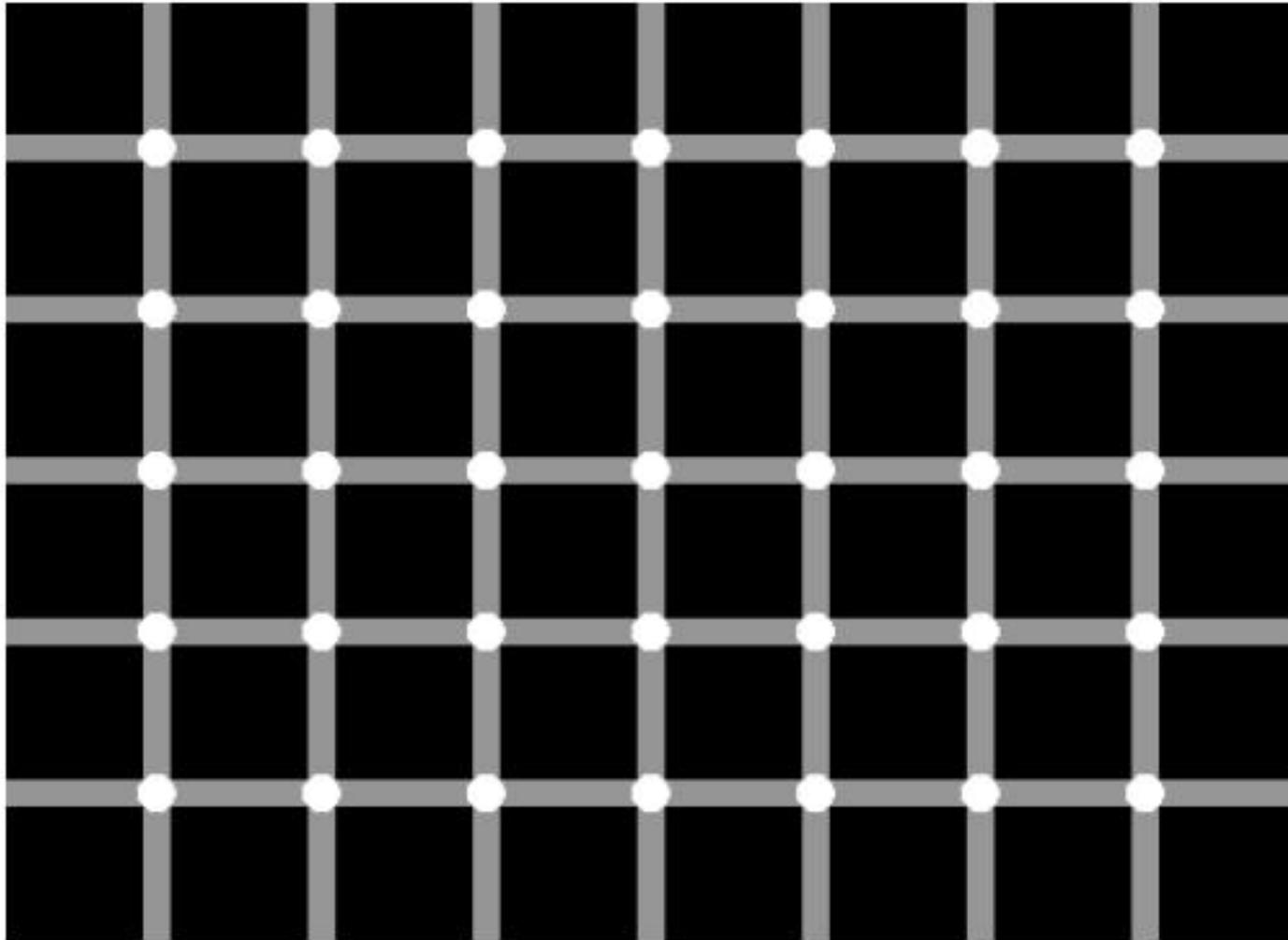
# Beispiel: Hermann Gitter



# Beispiel: Hermann Gitter

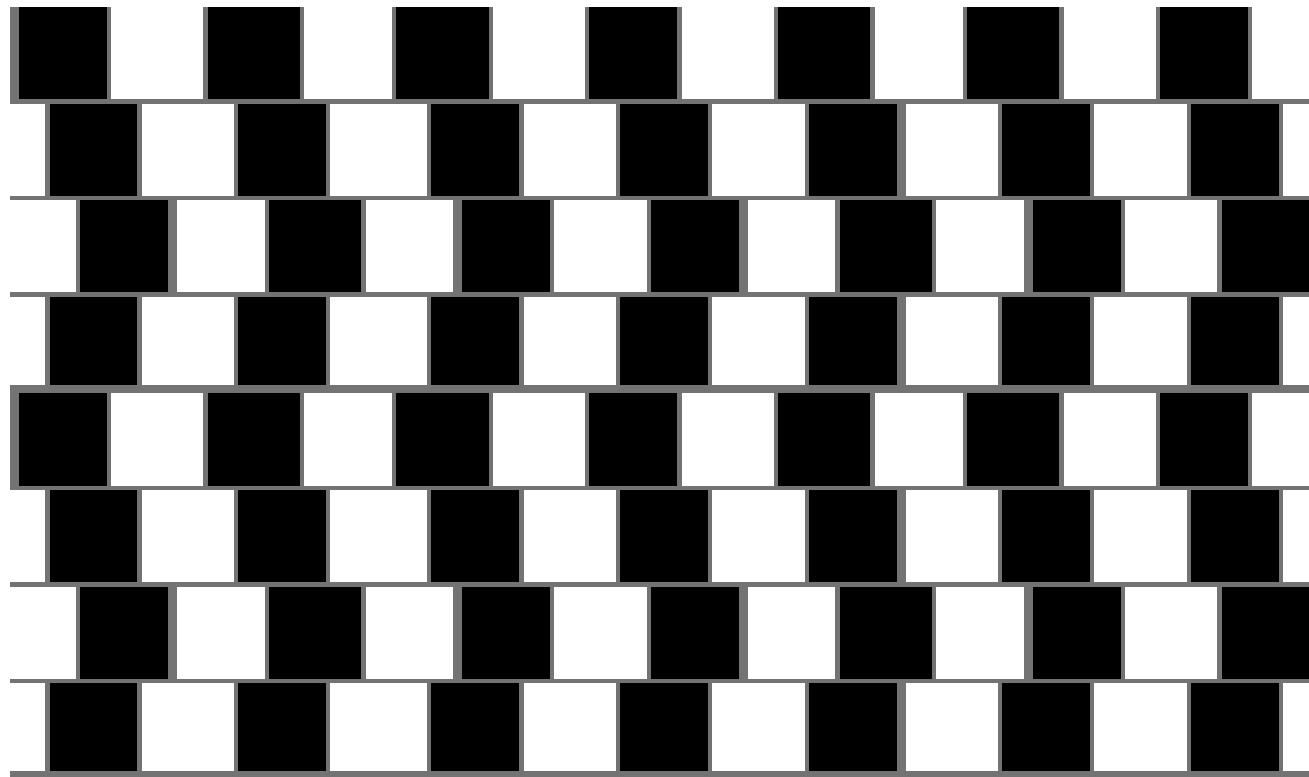


# Zählen Sie die schwarzen Punkte!

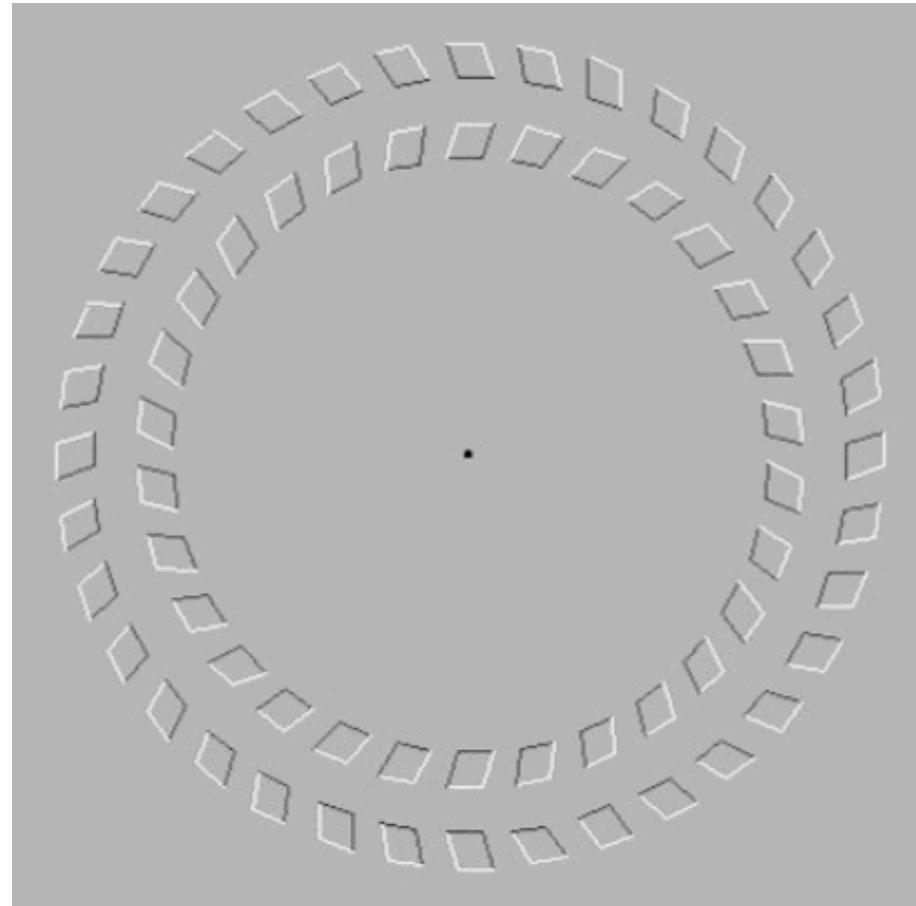


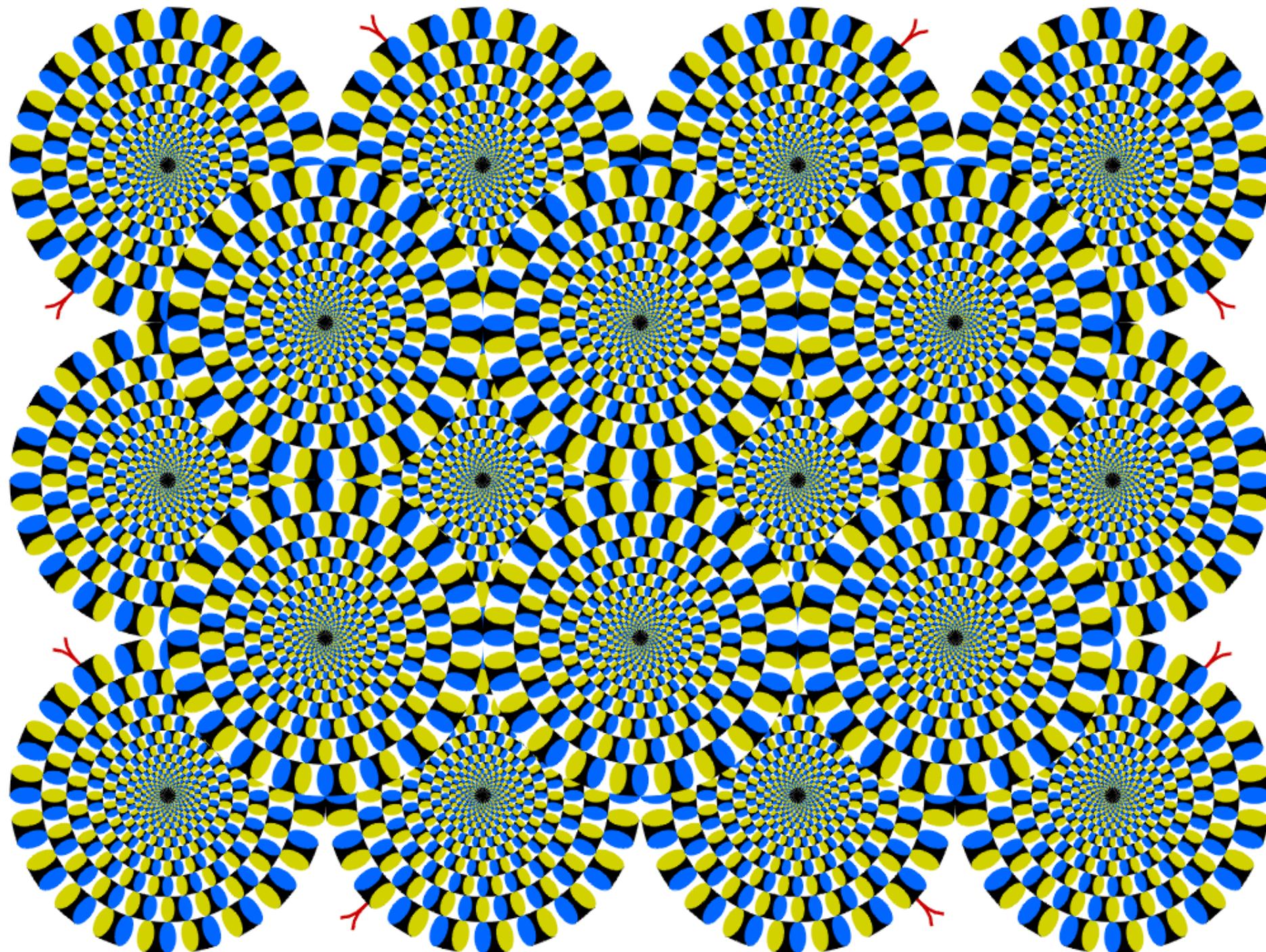
# Sehen Sie gerade Linien ?

- [http://de.wikipedia.org/wiki/Optische\\_Täuschung](http://de.wikipedia.org/wiki/Optische_Täuschung)
- <http://michaelbach.de/ot/index.html>
- <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html>

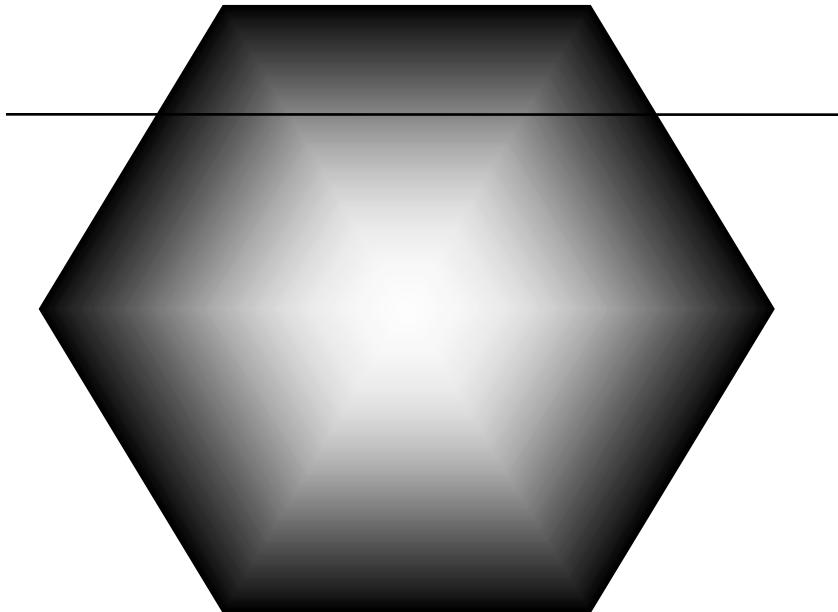


# Peripheral Drift





# Mach Bänder



Reiz

Empfindung



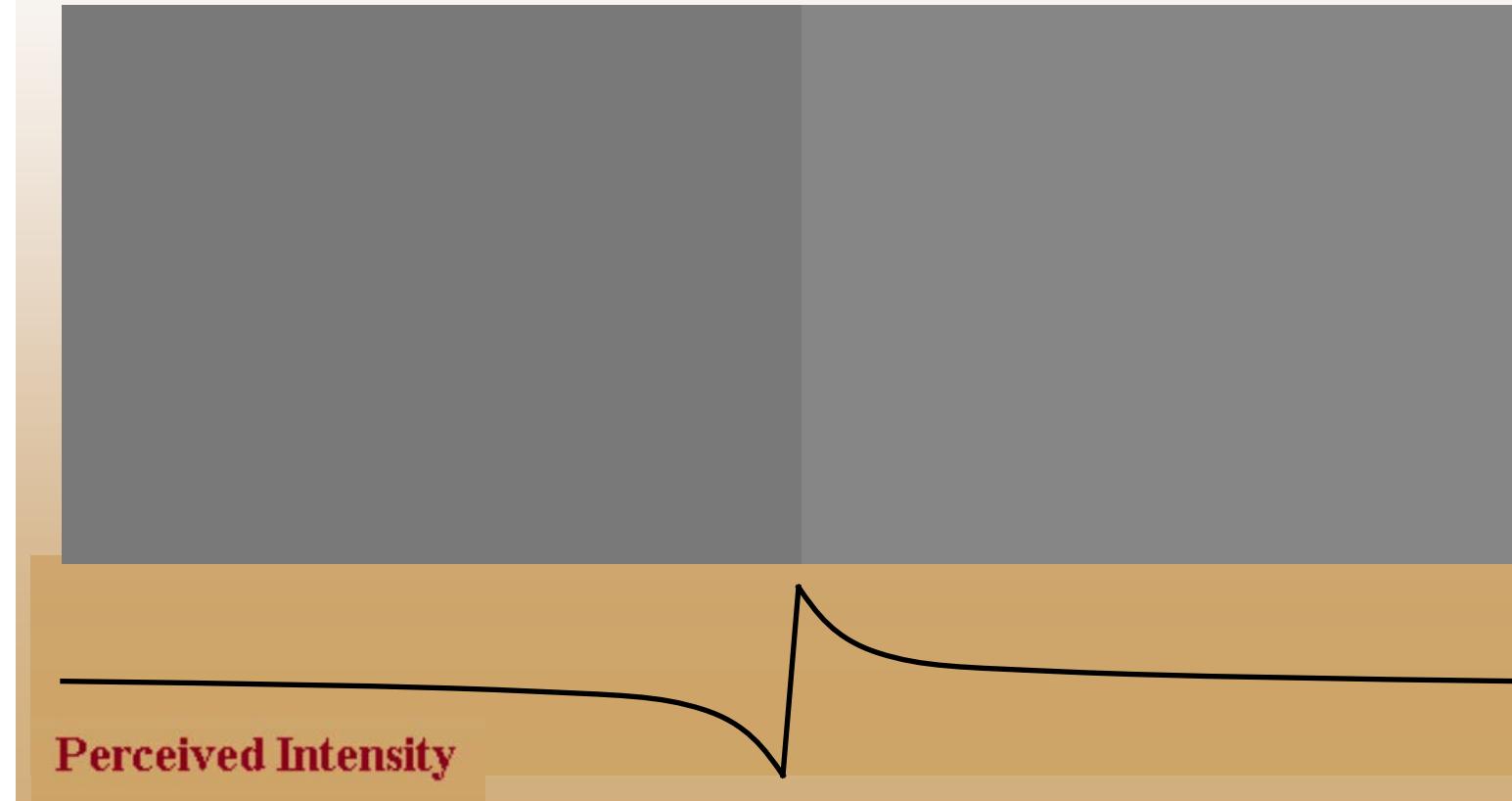
Profil

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

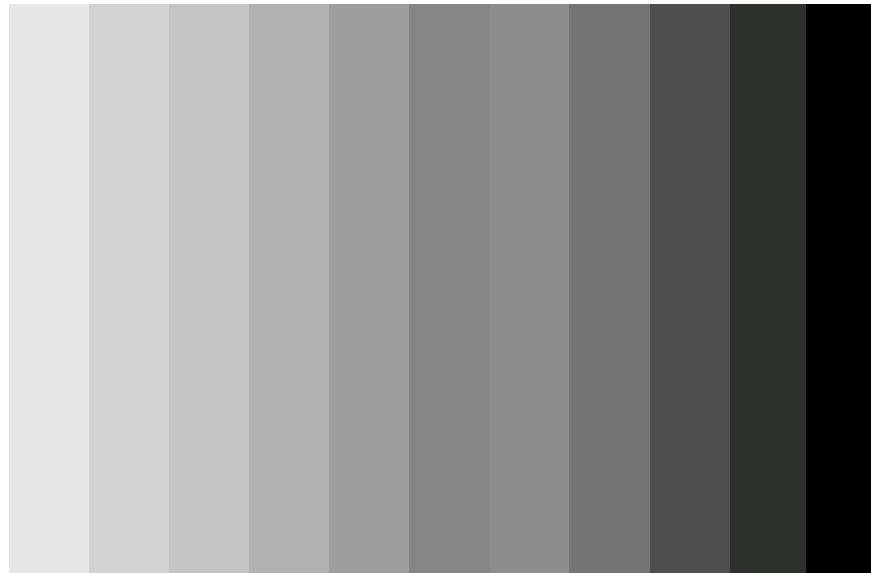


# The Mach effect

Stimulus

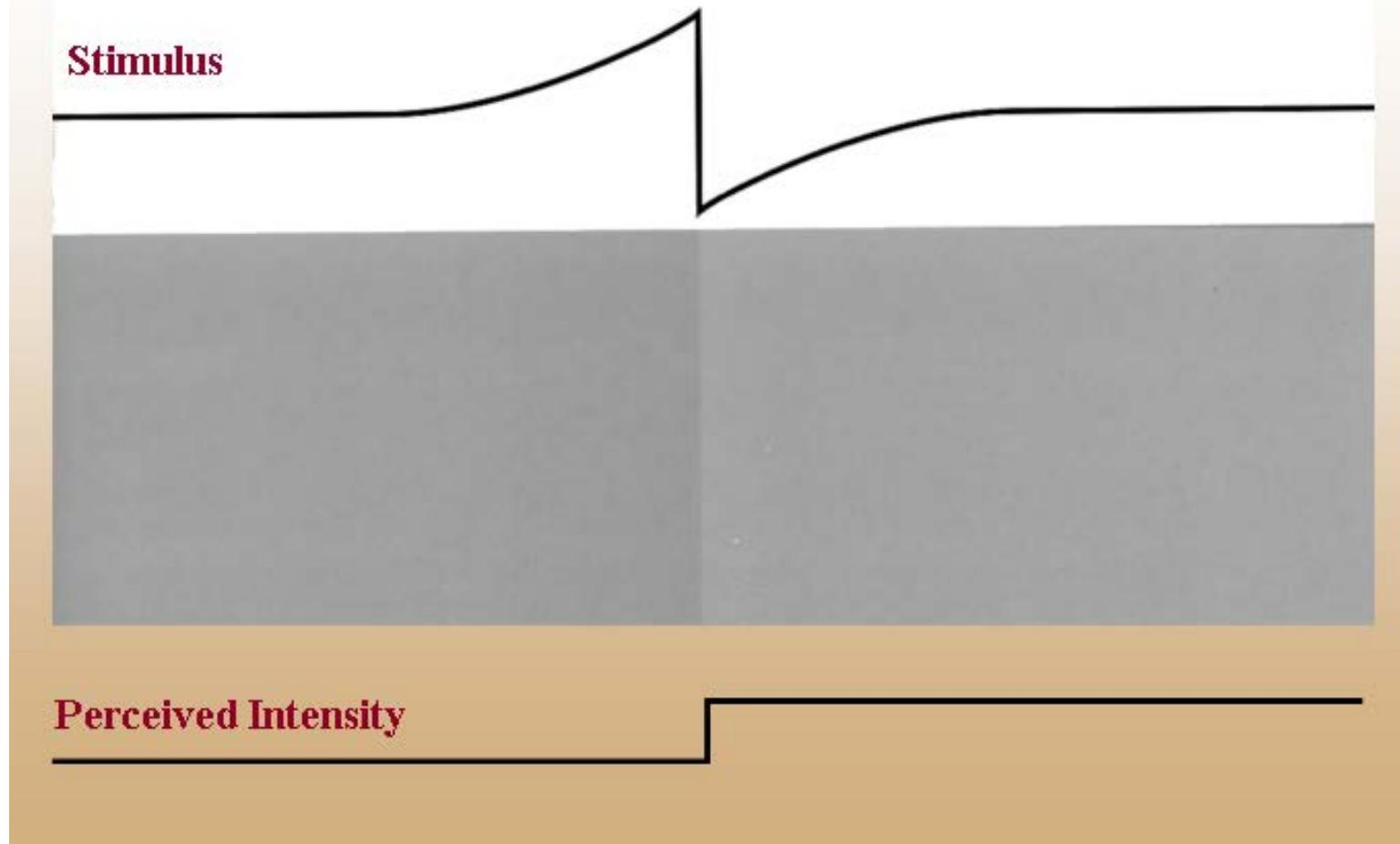


# Chevreul Illusion



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

# The Cornsweet effect





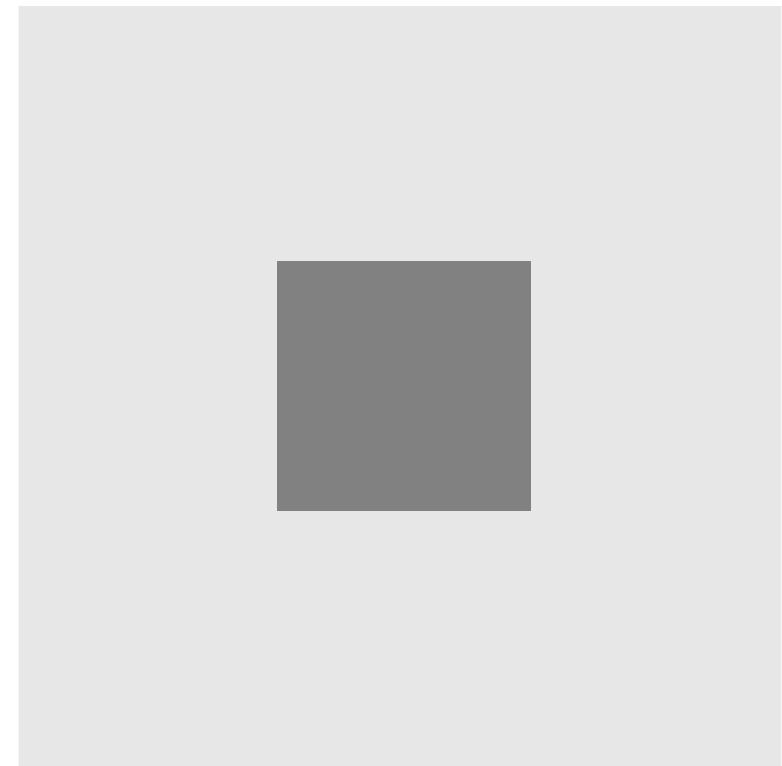
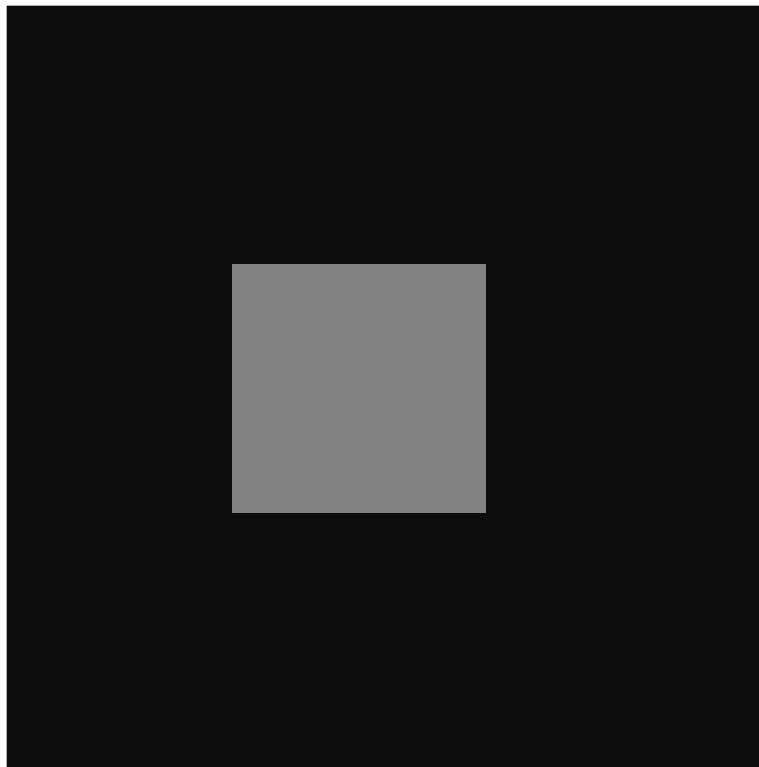
# Helligkeit

- 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.
  - ist keine absolute Wahrnehmungsgröße:
  - abhängig von:
    - Reizstärke (Leuchtdichte)
    - Leuchtdichte zuvor -> ADAPTION
    - Leuchtdichte in der Umgebung
    - Größe (Fläche) des Reizes
  - ist eine subjektive Größe



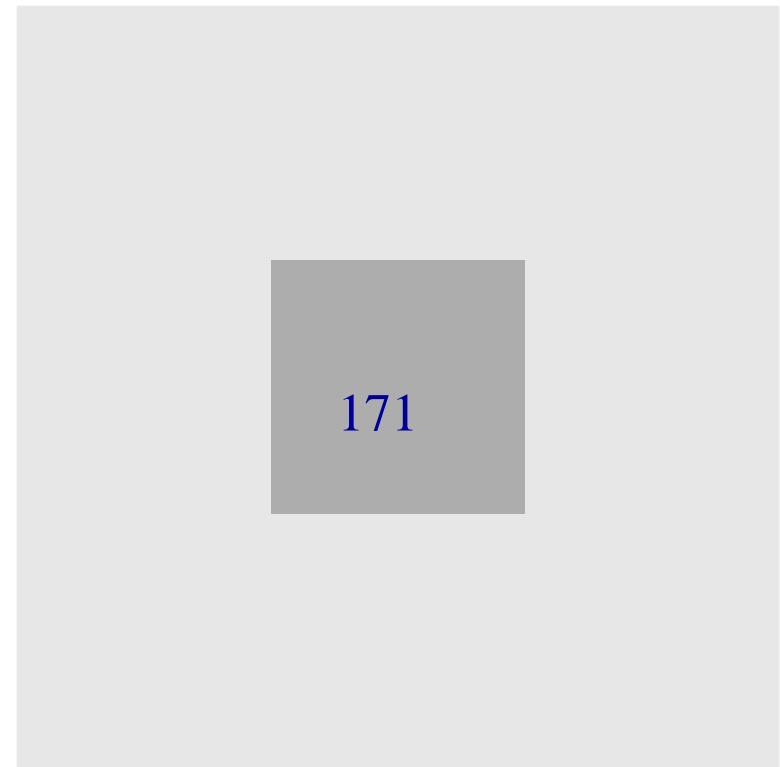
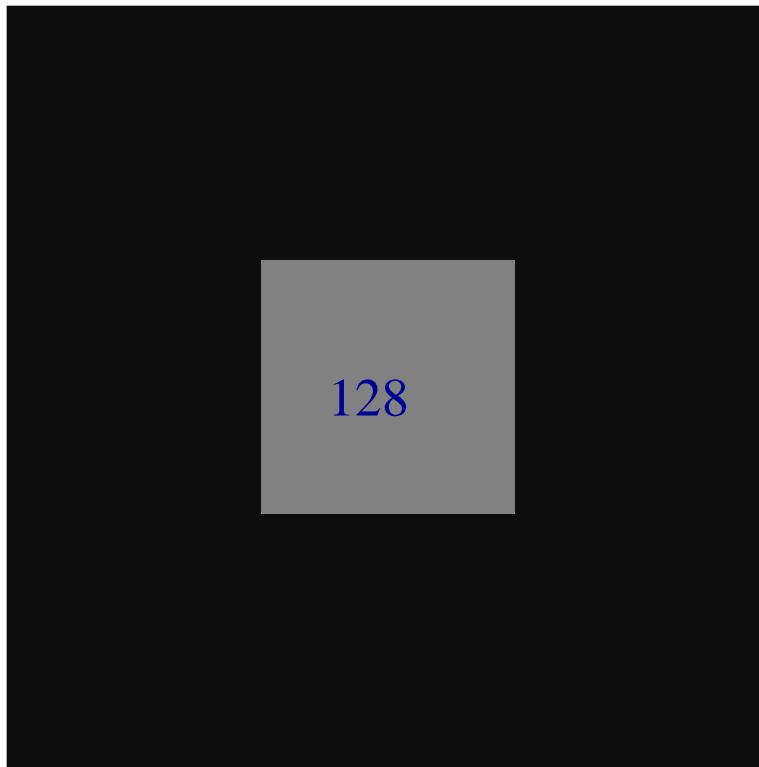
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

# Simultankontrast

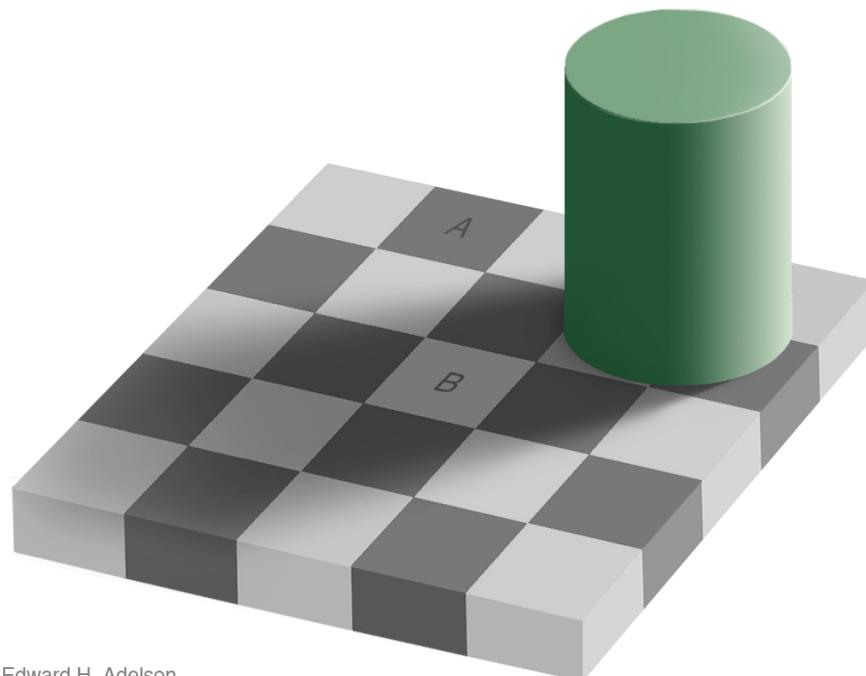




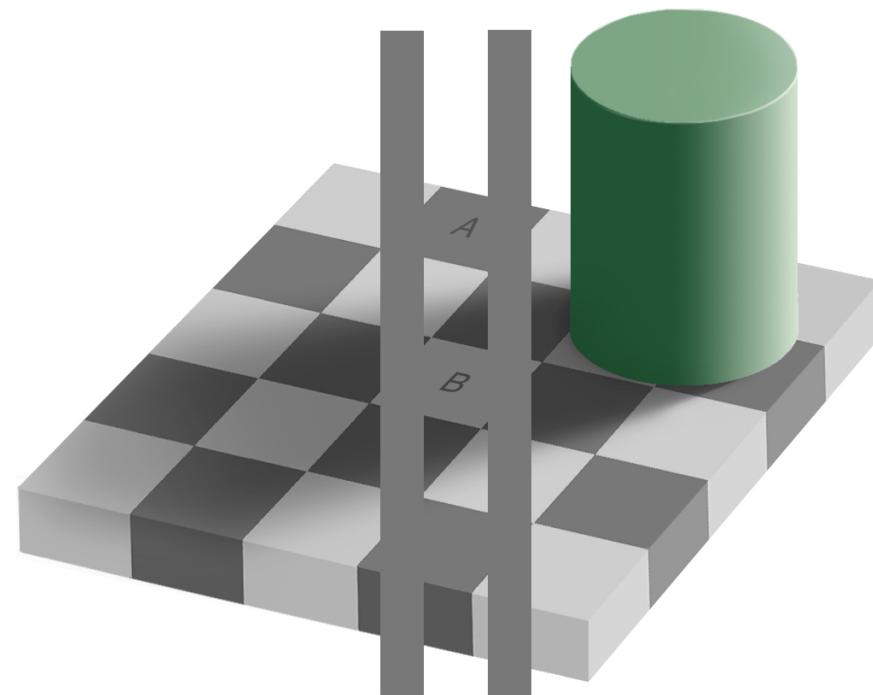
# Simultankontrast



# 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)

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

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

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

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:

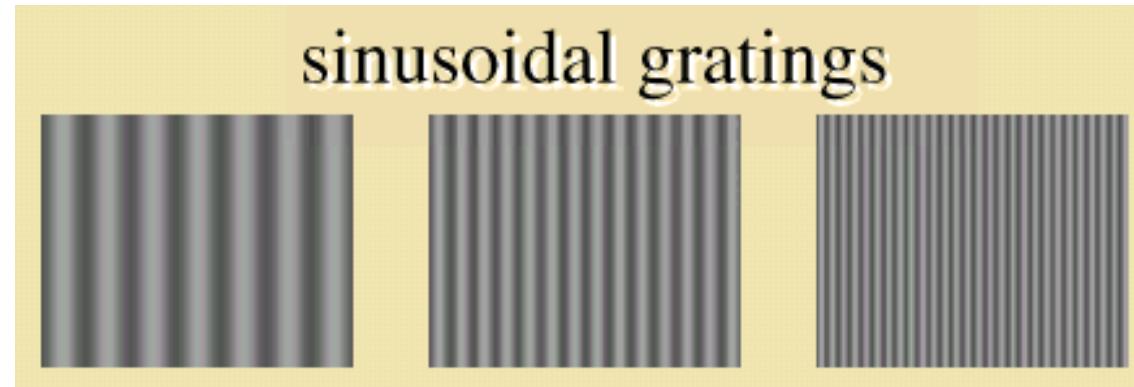
- Punktsehschärfe ca.  $1'$
- Rastersehschärfe ca.  $1' - 2'$
- Liniensehschärfe ca.  $0,5'$
- Doppellinien ca.  $30''$
- Vernier oder Nonius Sehschärfe  $5'' - 7''$
- Snellen-Optotypen  $30''$  (5' Buchstabengröße)
- Landolt-Ringe  $30''$

Daumenregel:

1cm Objekt in 57 cm Abstand =  $1^0$

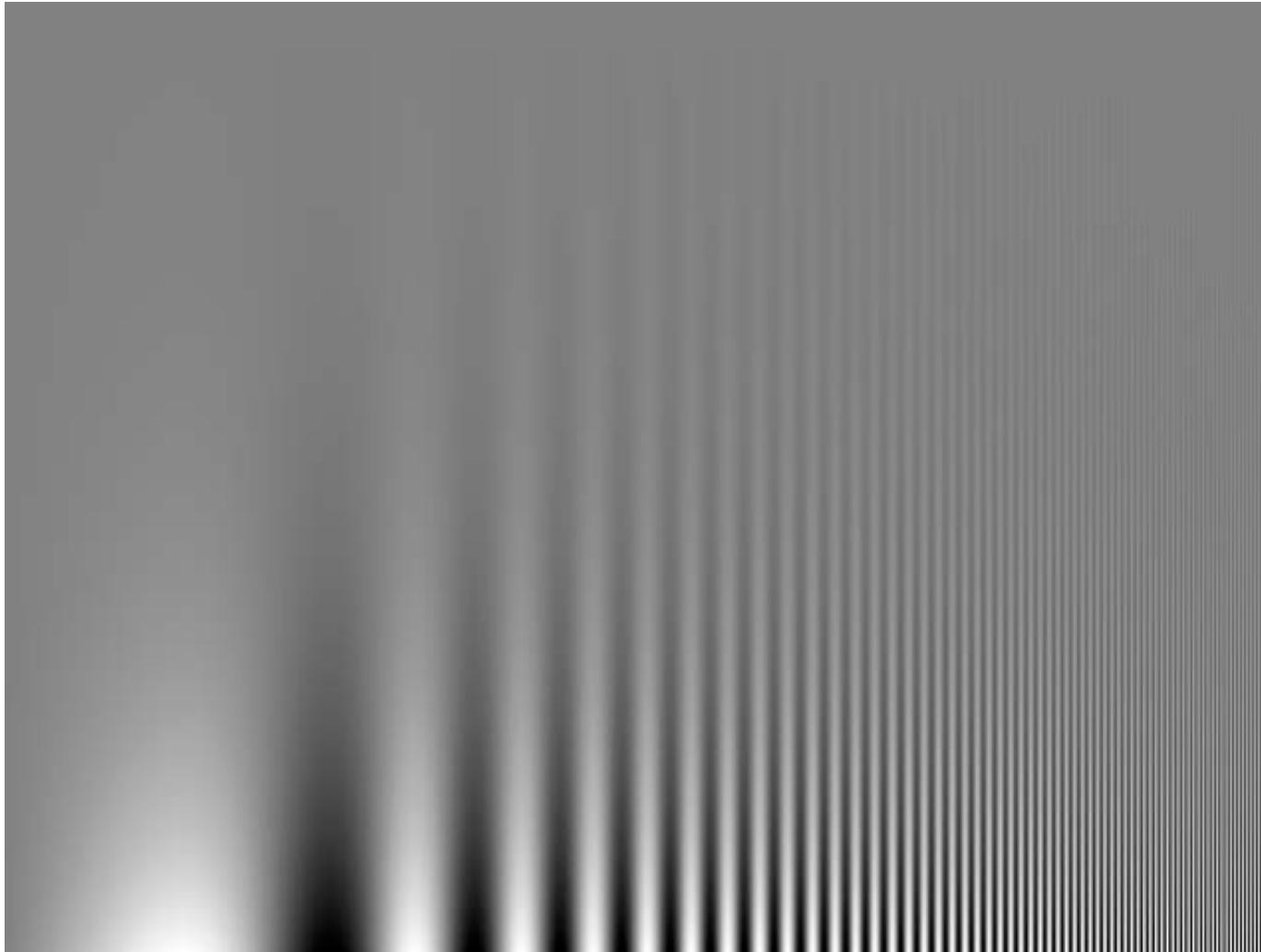
# Kontrastempfindlichkeit

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



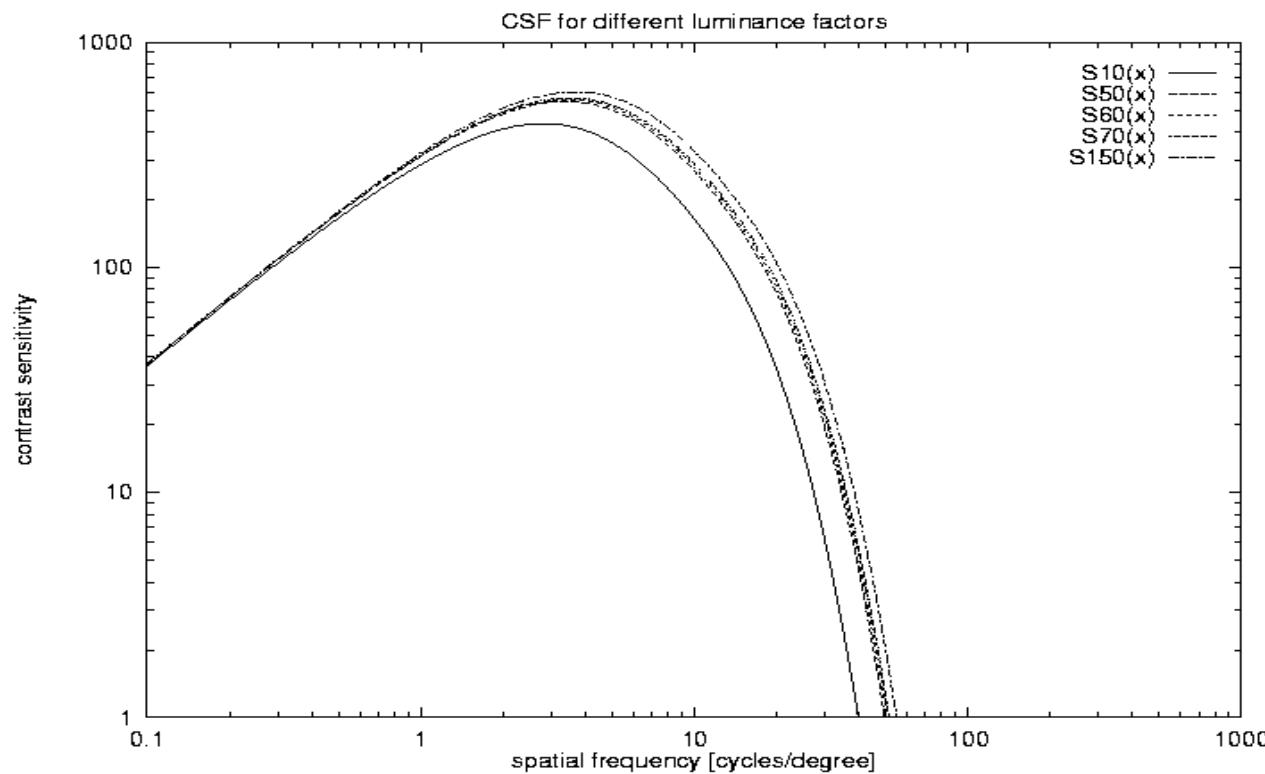


# Kontrastempfindlichkeitsfunktion



# Kontrastempfindlichkeitsfunktion

- CSF = contrast sensitivity function





# Frühe Wahrnehmung

- 10 ms oder schneller

897390570927940579629765098294  
08028085080830802809850-802808  
567847298872ty4582020947577200  
21789843890r455790456099272188  
897594797902855892594573979209



# Frühe Wahrnehmung

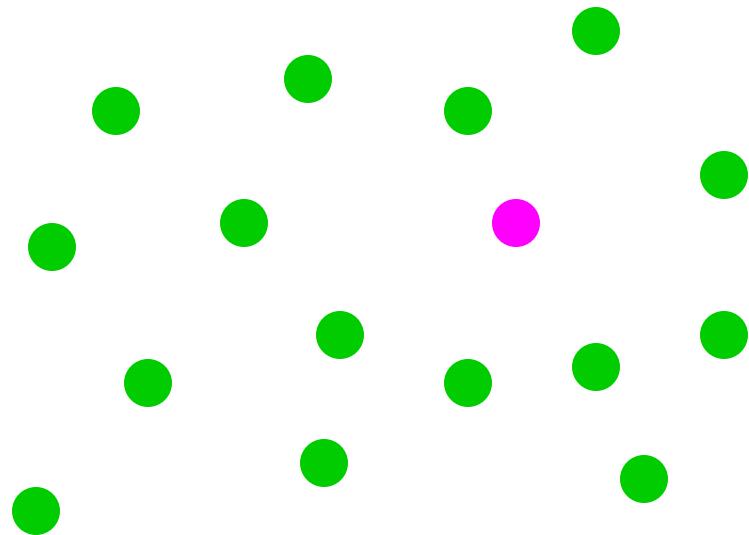
897390570927940579629765098294  
08028085080830802809850-802808  
567847298872ty4582020947577200  
21789843890r455790456099272188  
897594797902855892594573979209

# Frühe Wahrnehmung

## Farbe



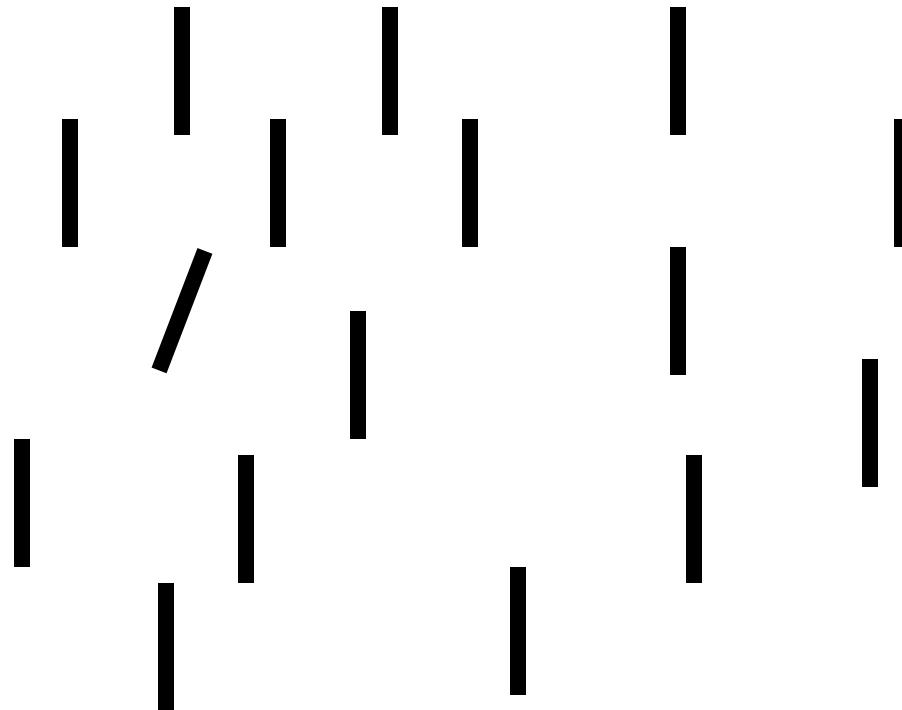
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# Frühe Wahrnehmung Richtung



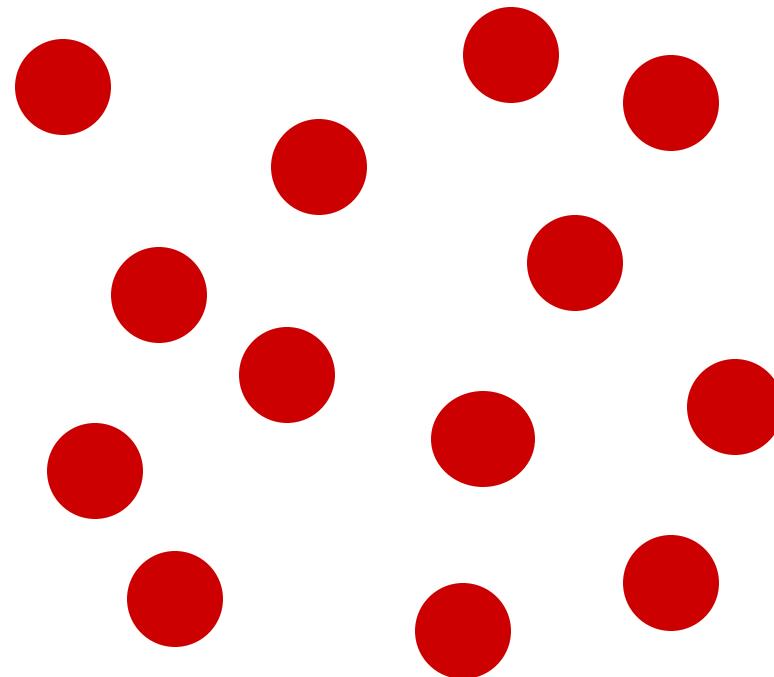
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# Frühe Wahrnehmung Bewegung



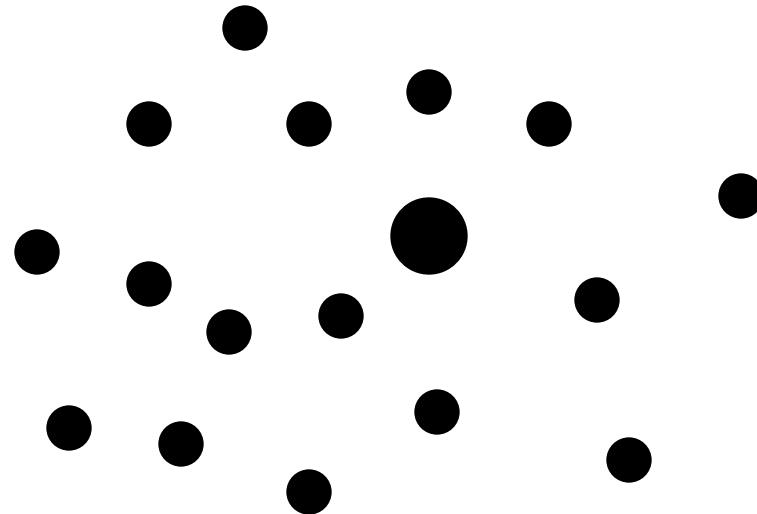
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# Frühe Wahrnehmung Größe



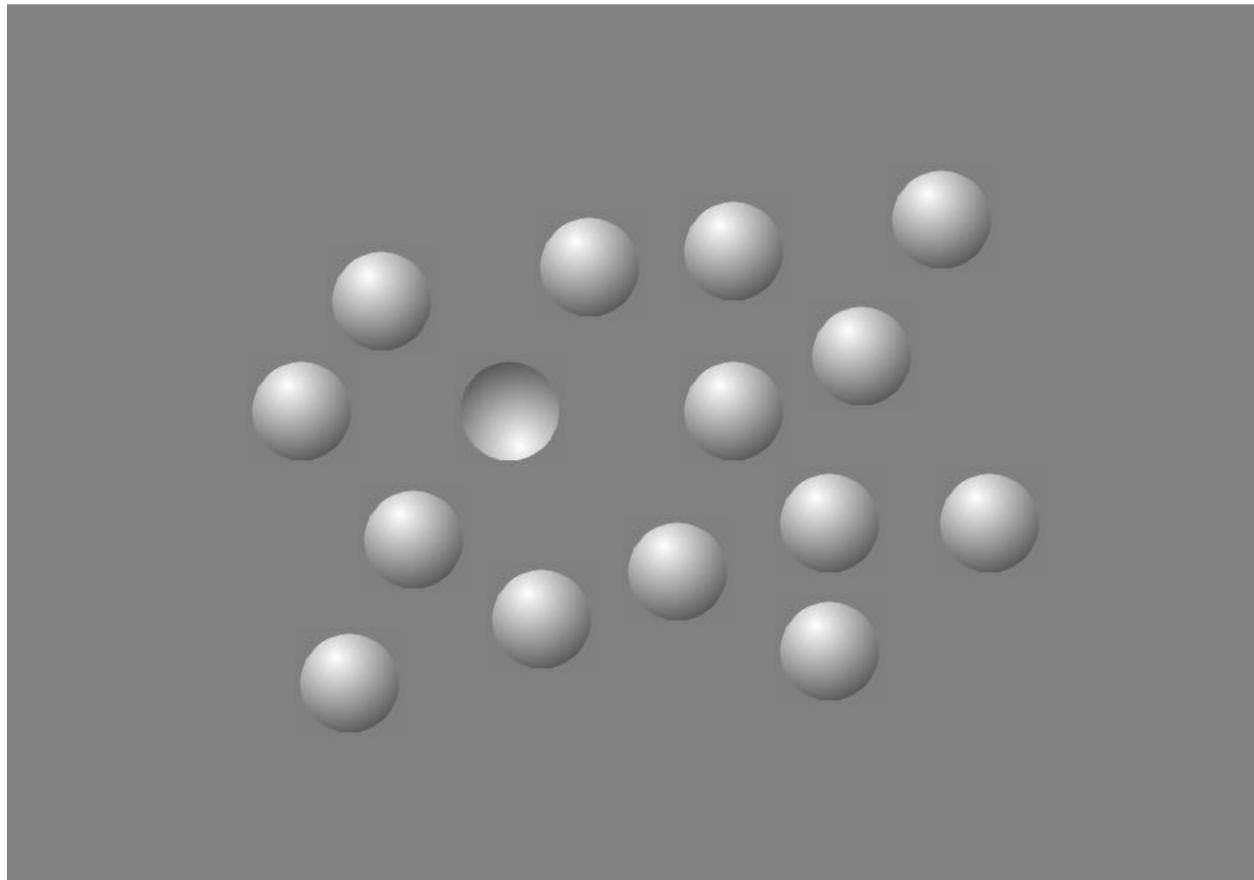
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# Frühe Wahrnehmung Beleuchtung/Schattierung



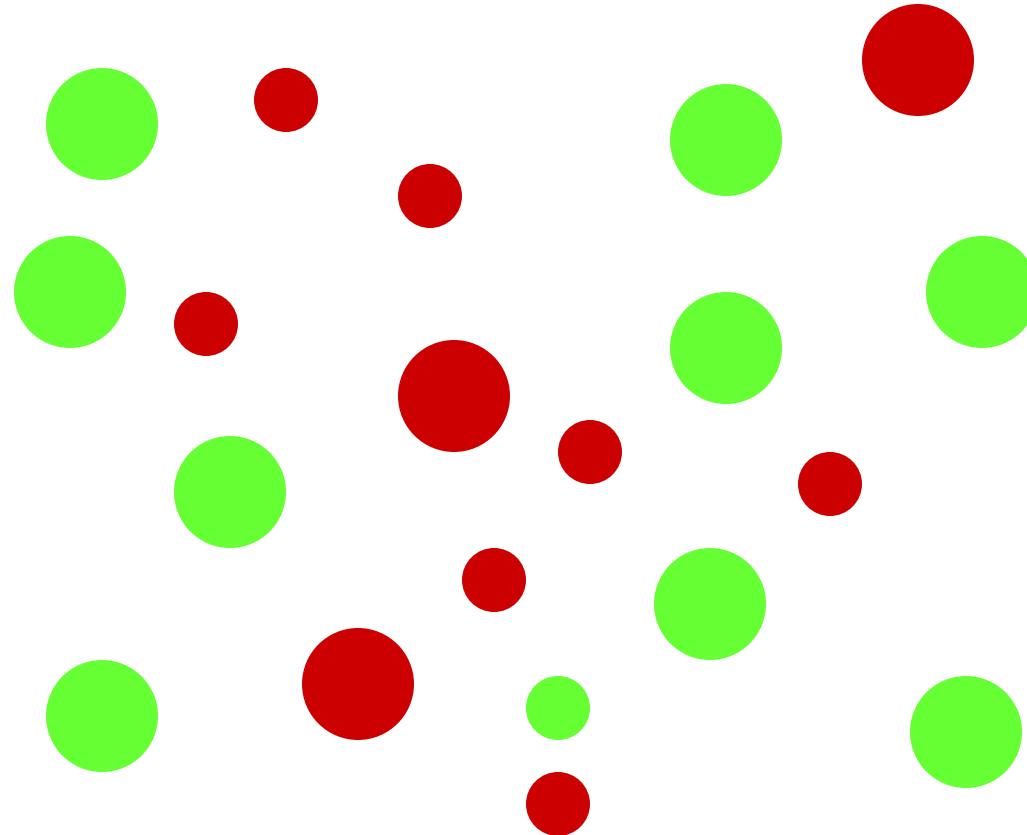
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# 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)



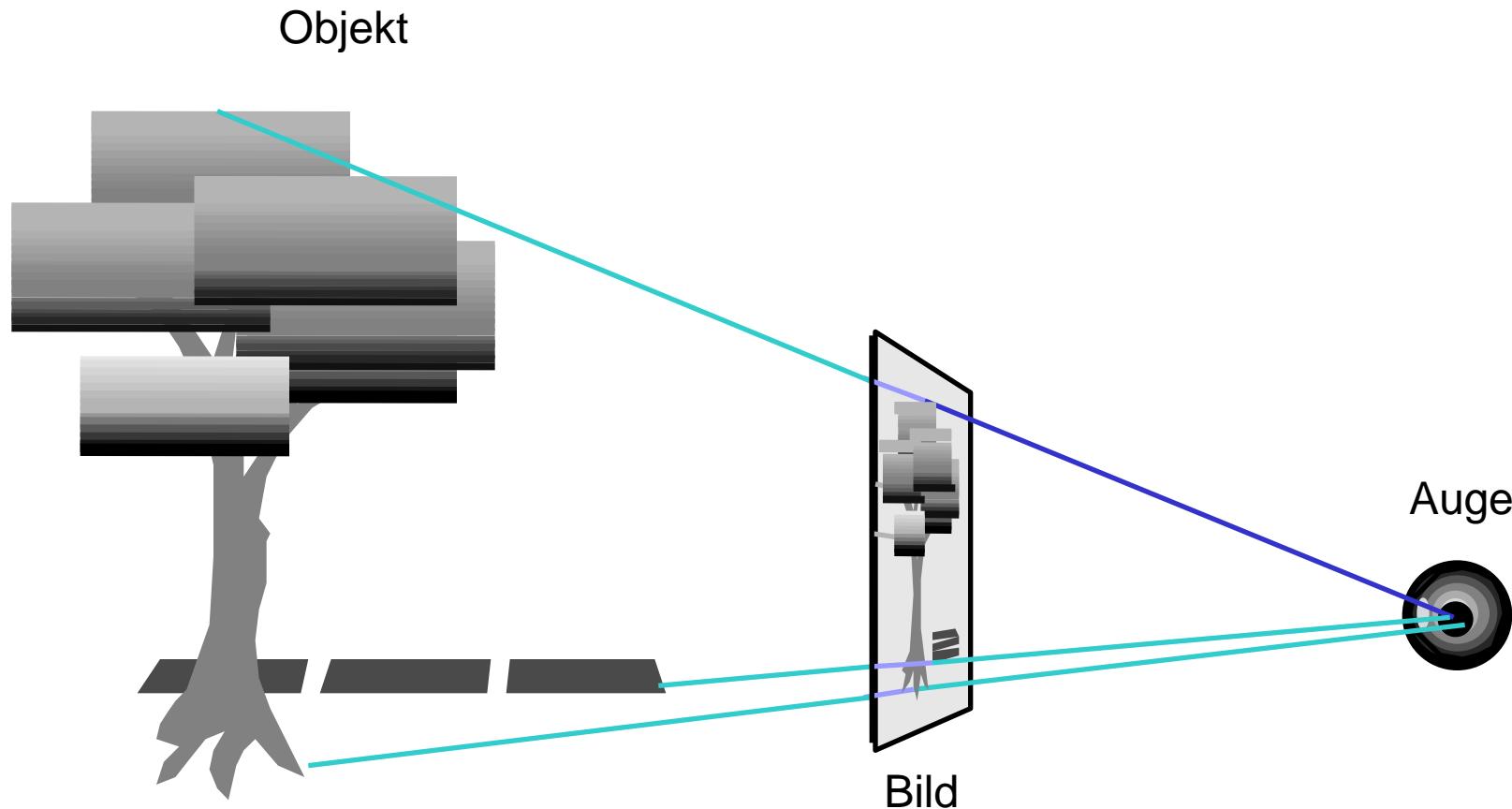
# Raumwahrnehmung

- 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)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



# Monokulare Raumwahrnehmung

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



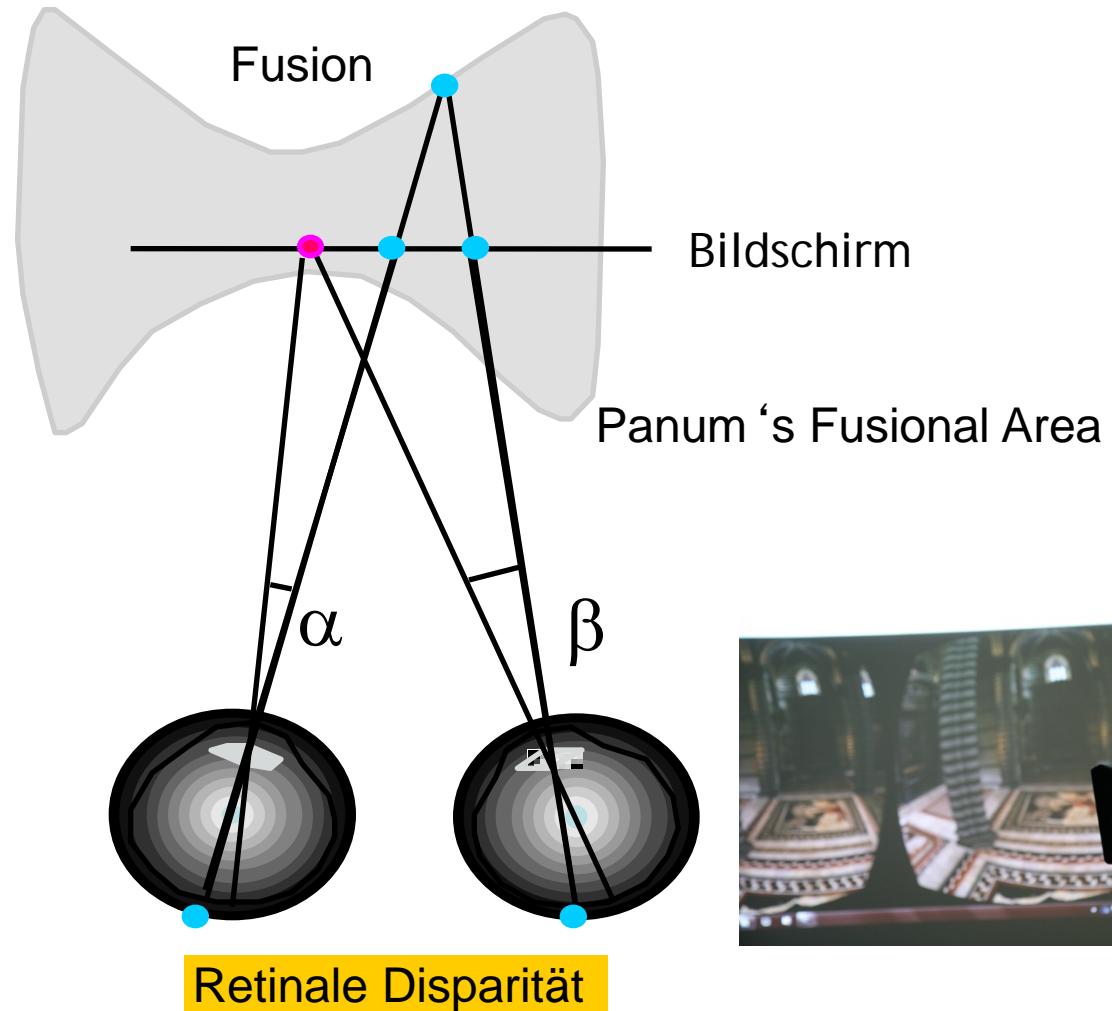
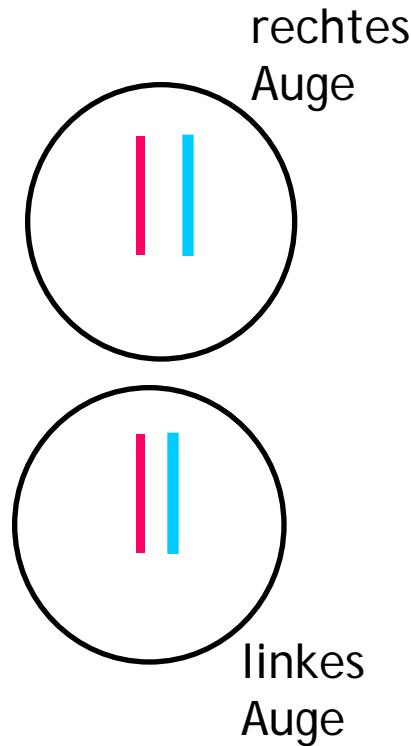
[[Treehouse of Horror VI](#)]



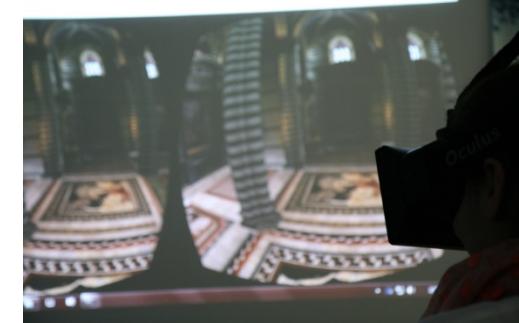
# Depth Cue Theorie

- 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 (mit einem Auge)
    - ...
  3. Dynamische Depth Cues (Animation)
    - ...

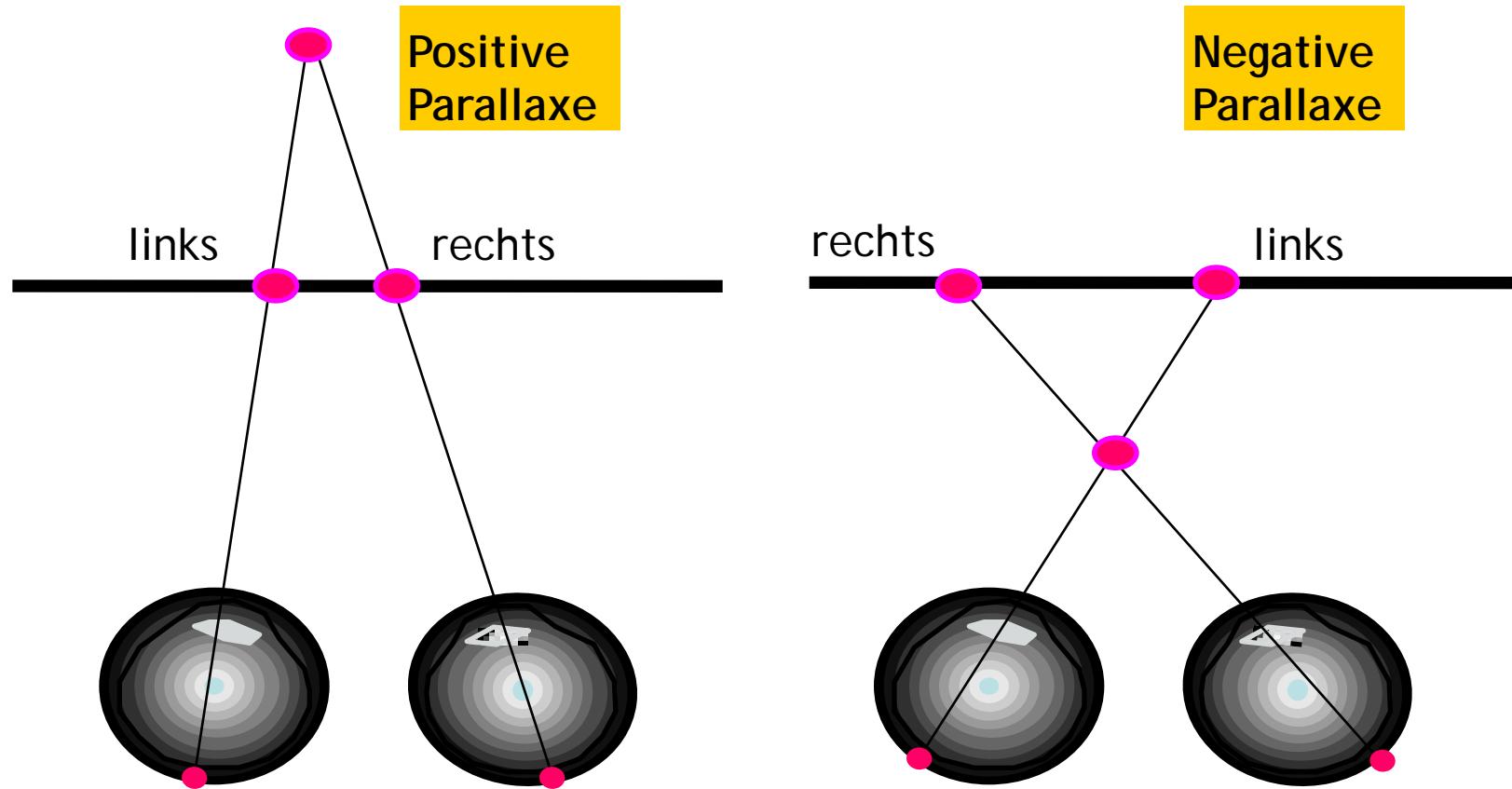
# 1. Stereoskopie



$$|\alpha - \beta| = \text{Parallaxe}$$



# Positive und negative Parallaxe

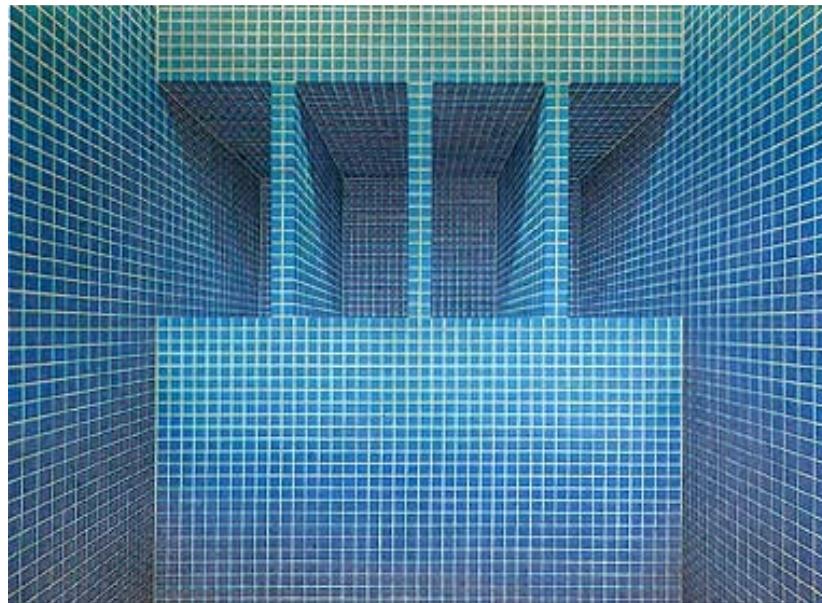




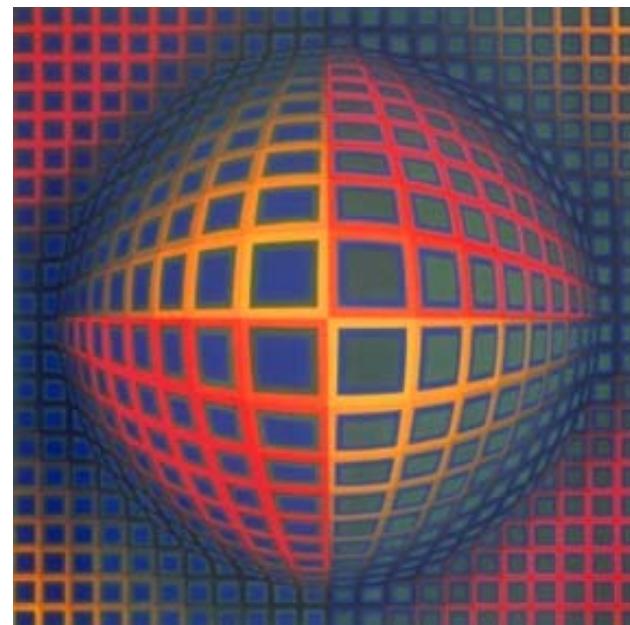
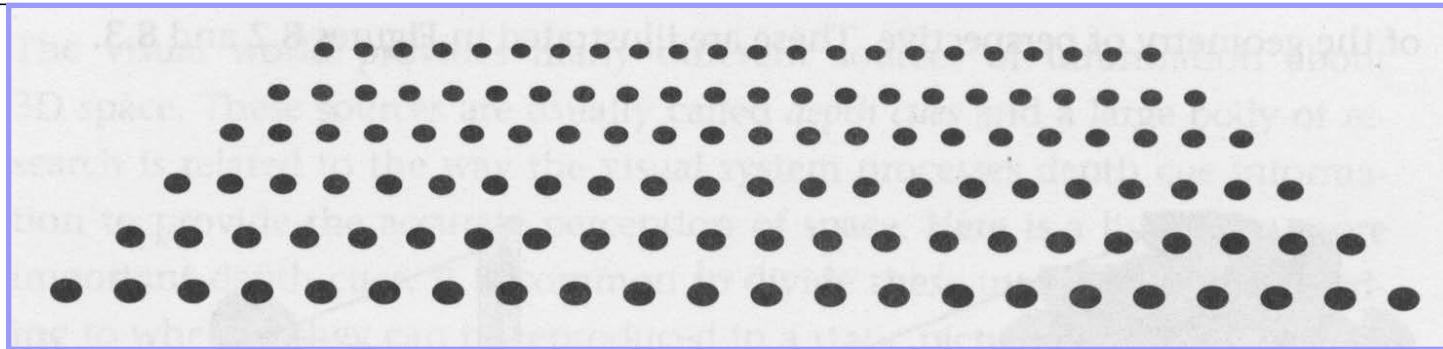
## 2. Pictorial Depth Cues

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

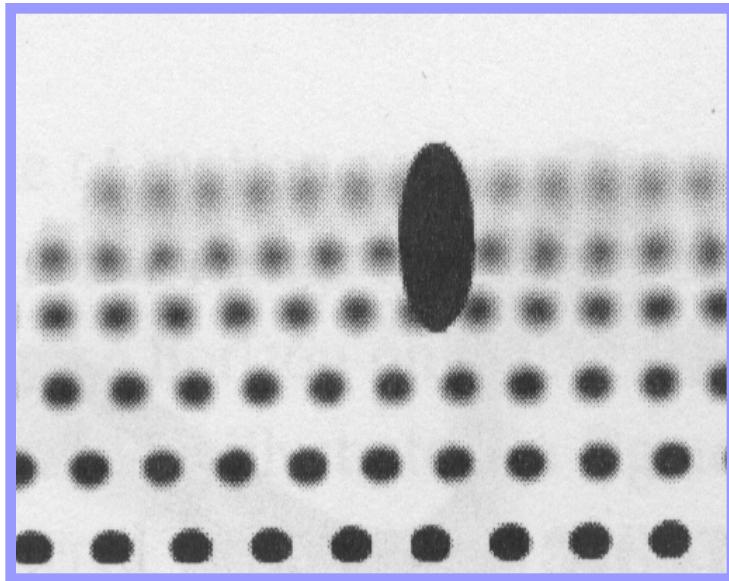
# Linearperspektive



# Texturgradient



# Fokus und Blur

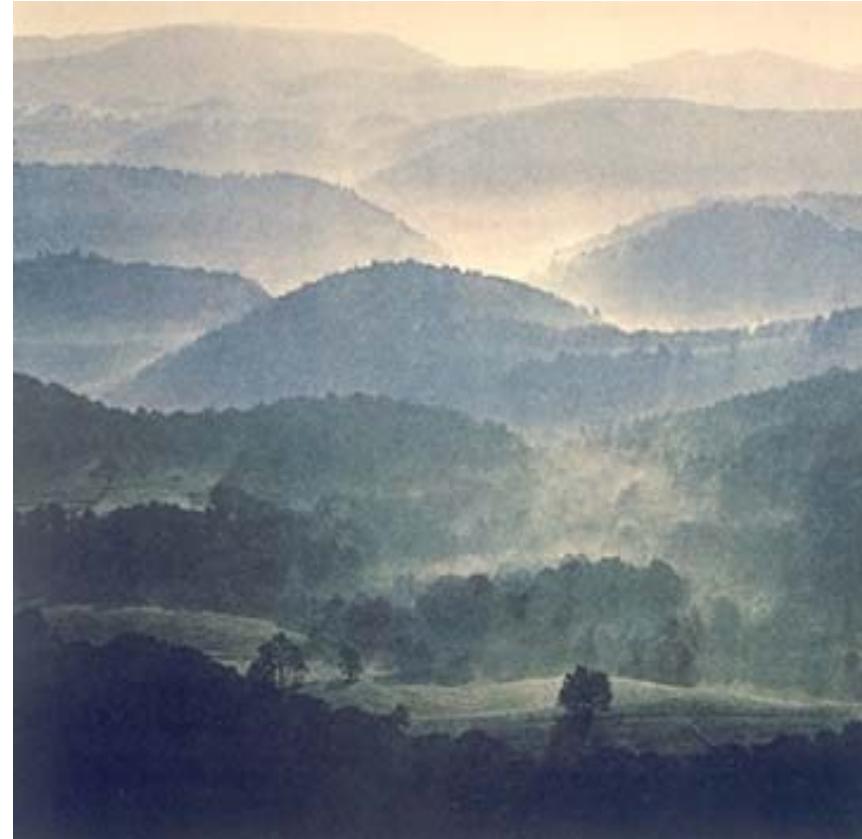


Betrachtungs-abstand	Nahgrenze	Ferngrenze
50 cm	43 cm	60 cm
1 m	75 cm	1,5 m
2 m	1,2 m	6,0 m
3 m	1,5 m	Unendlich

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

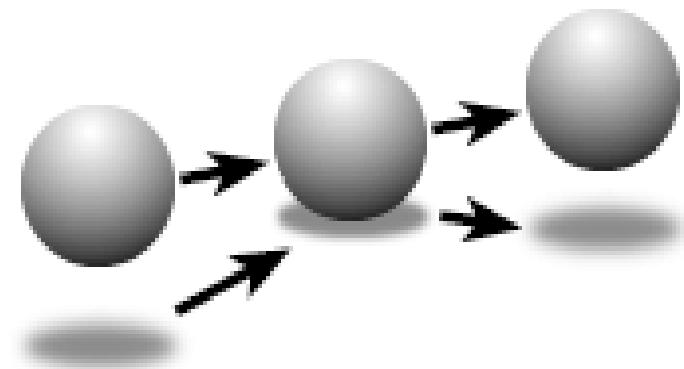
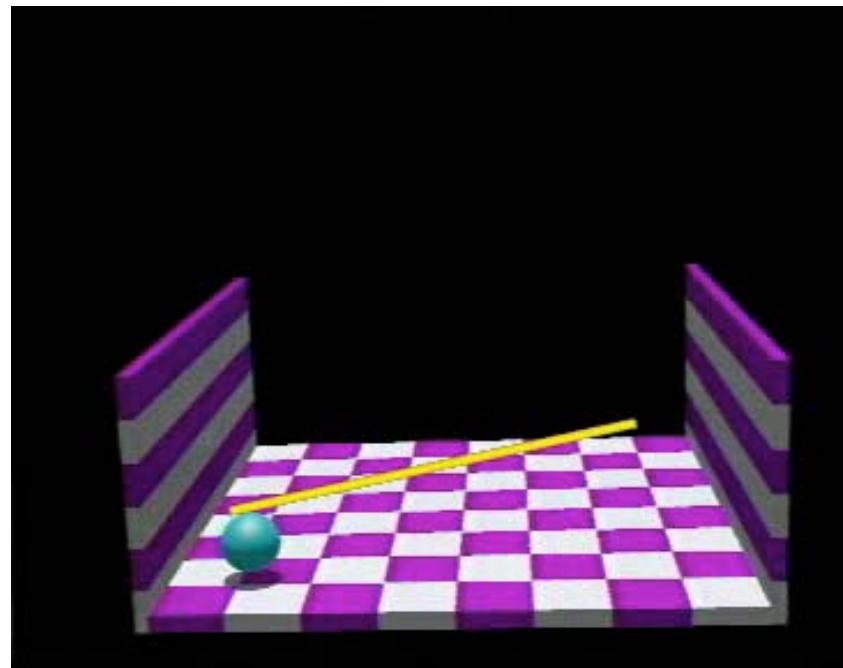


# Atmosphärische Tiefe



# 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

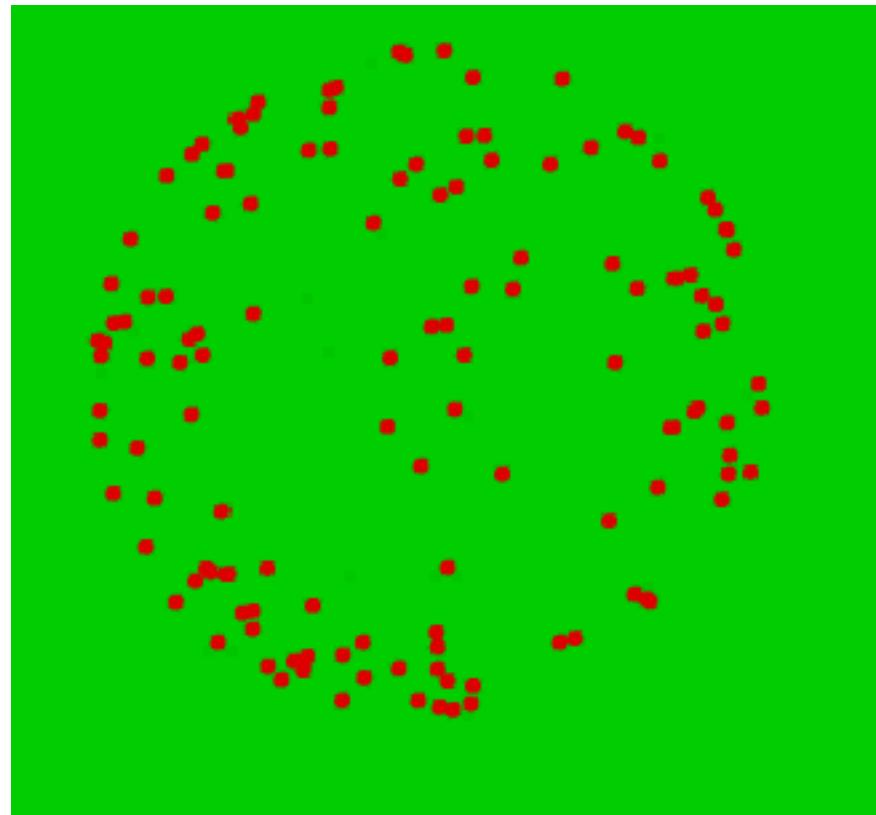
- [click](#)



# Kinetic Depth Effect / Structure from Motion



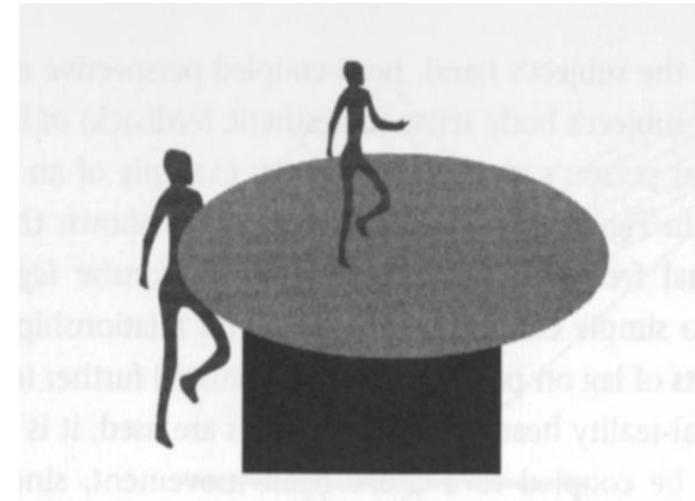
- click



# 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

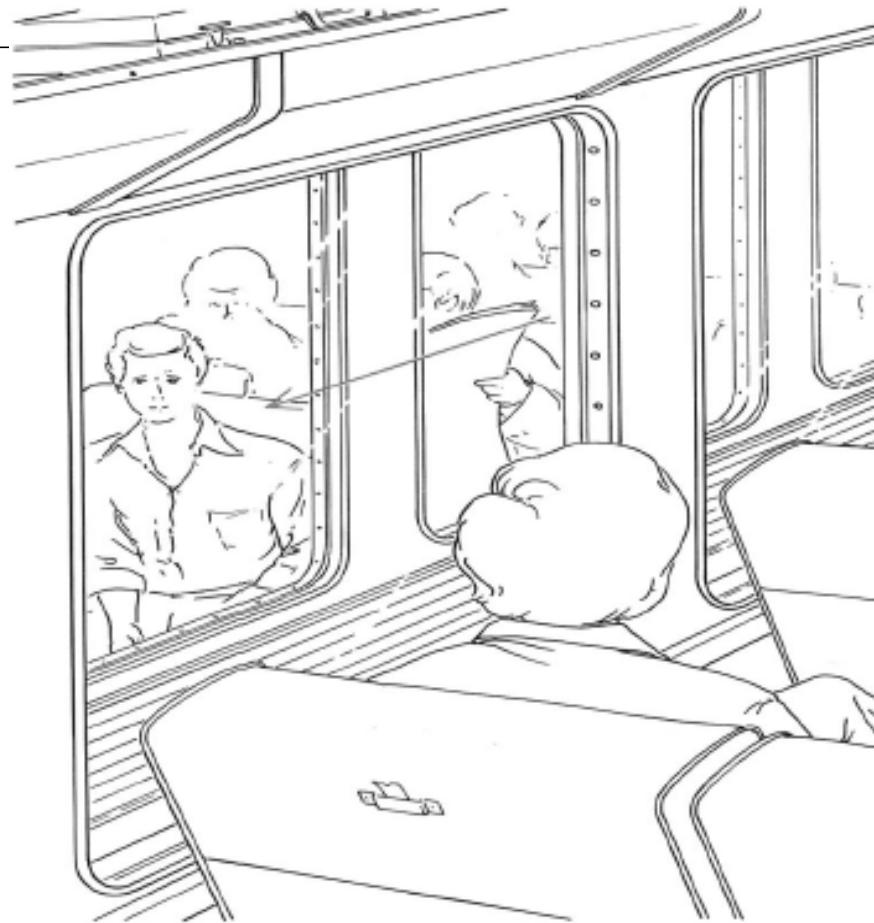


# Raumwahrnehmung

- 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

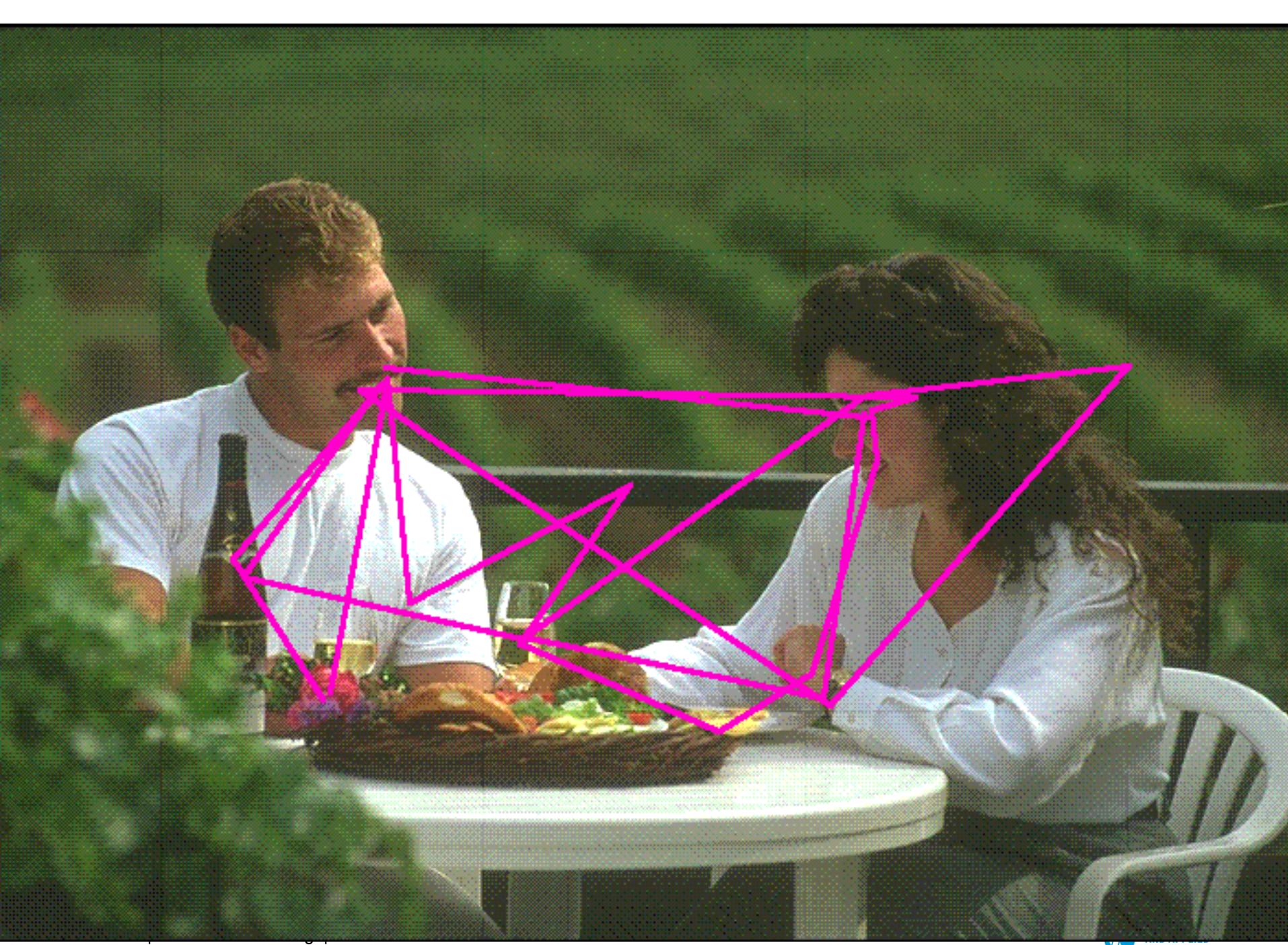


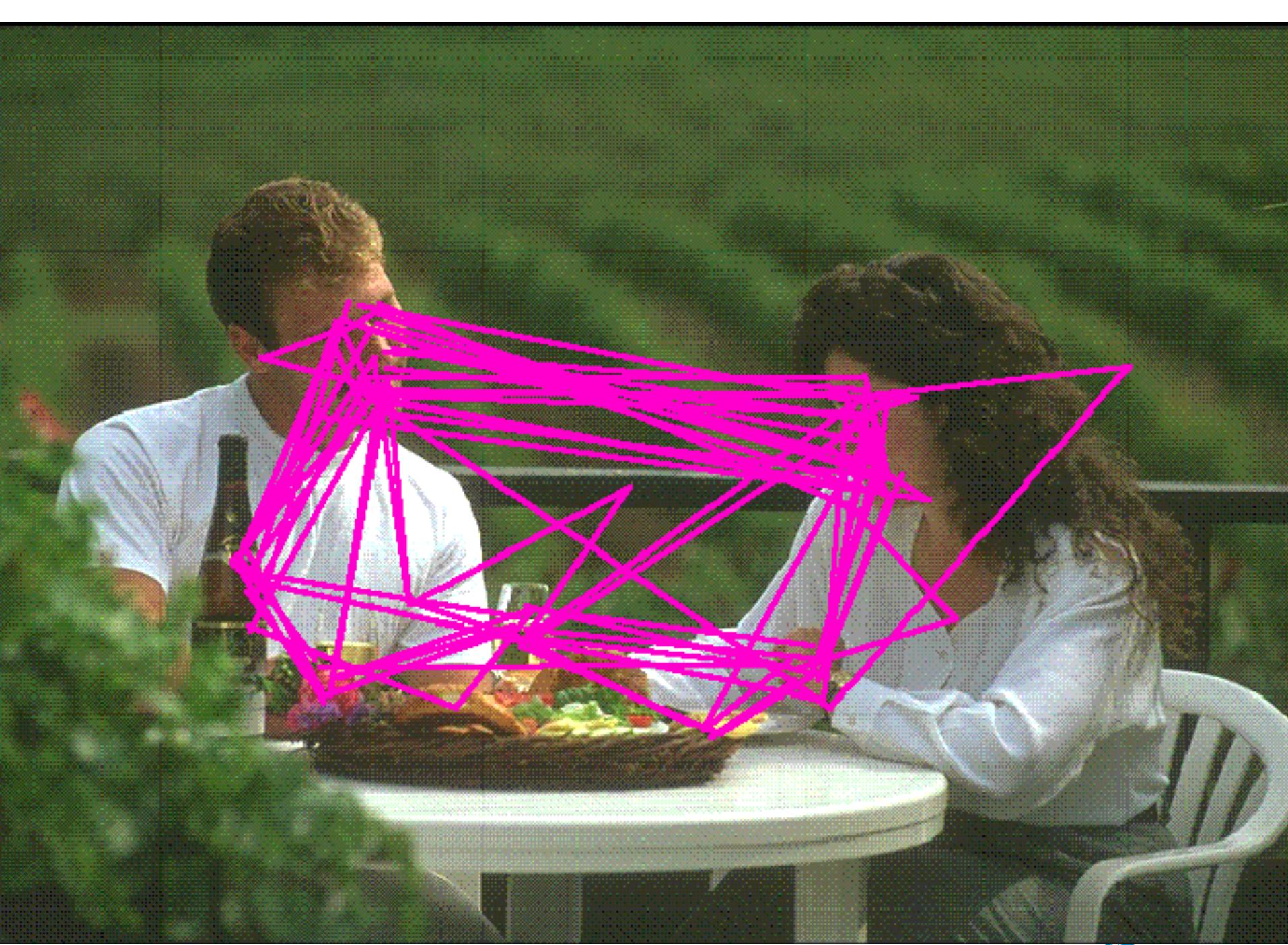
CB during Blinks (O'Regan, Deubel & Clark & Rensink, 2000)

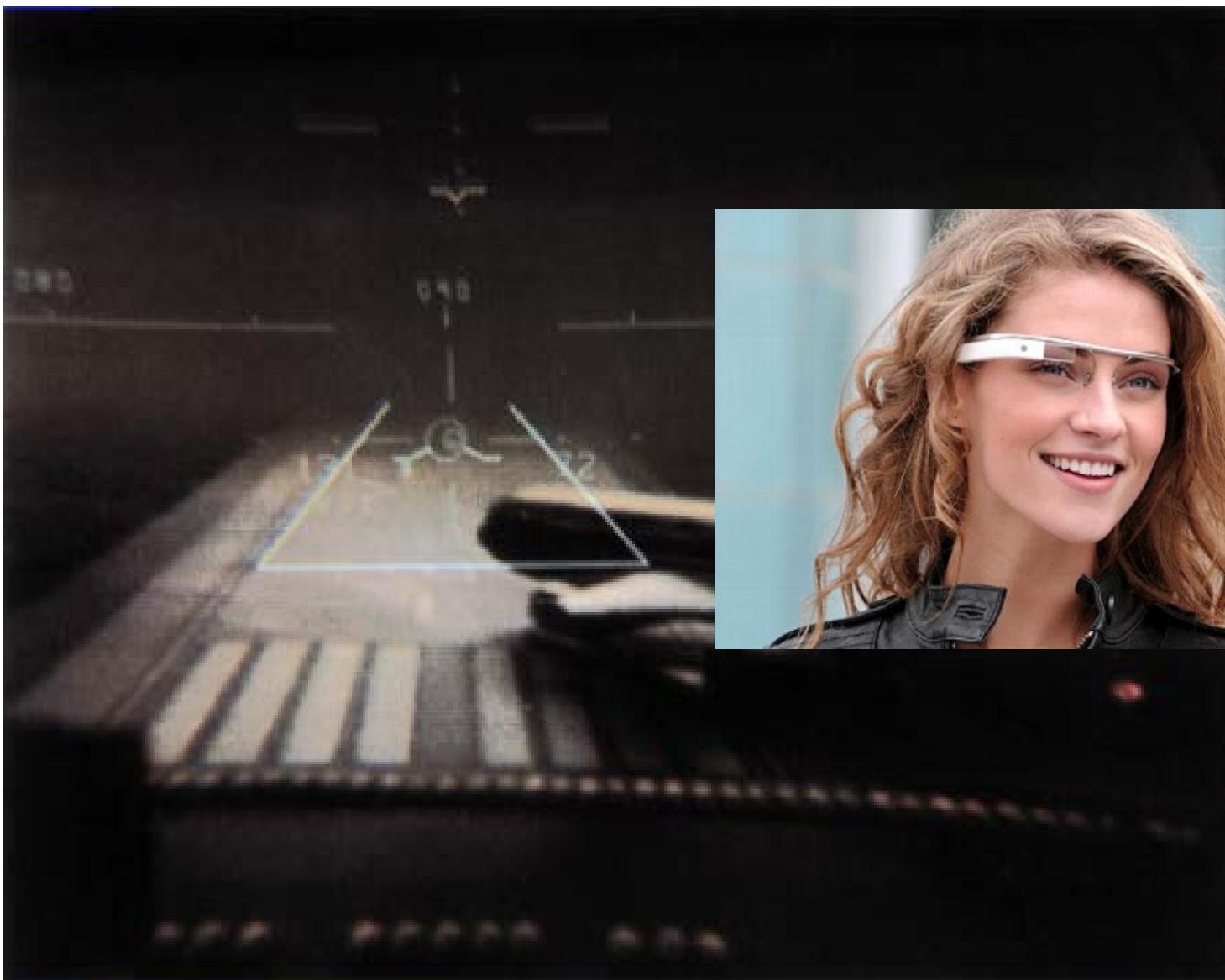
- click



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



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

# 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 ( $\pm 2$ ) „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



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





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

---

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!