

## Visualisierung WS 2006/07 Die Sehkaskade 2



### Inhalt

Widerholung und Vertiefung

Netzhaut (Fortsetzung)

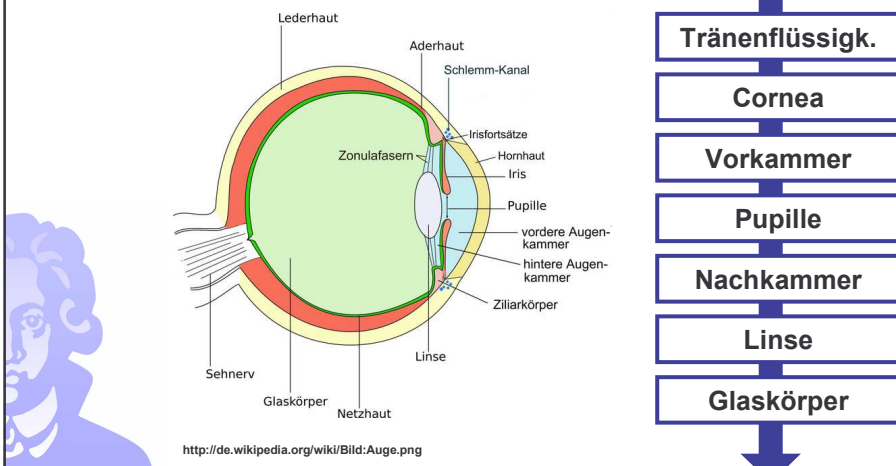
Nervus Opticus

Neokortex

Ausblick



## Querschnitt des Auges & Sehkaskade im präoptischen System

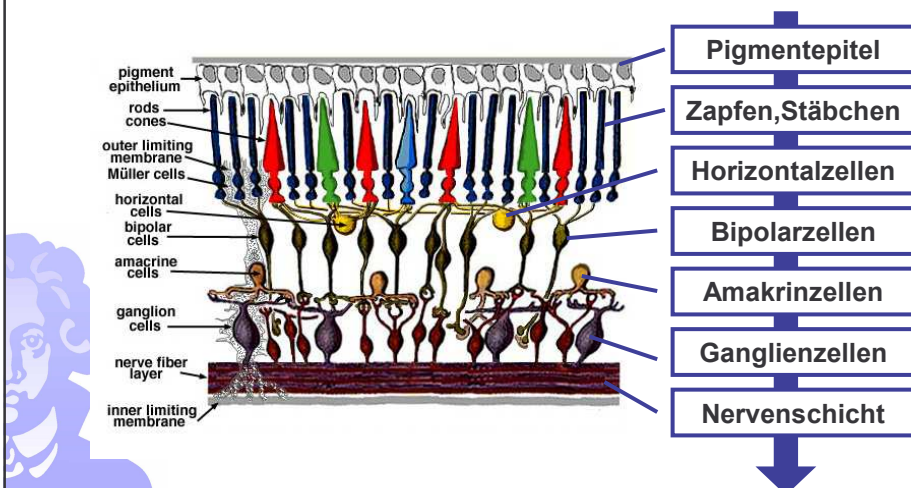


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

3/119

## Sehkaskade in der Netzhaut

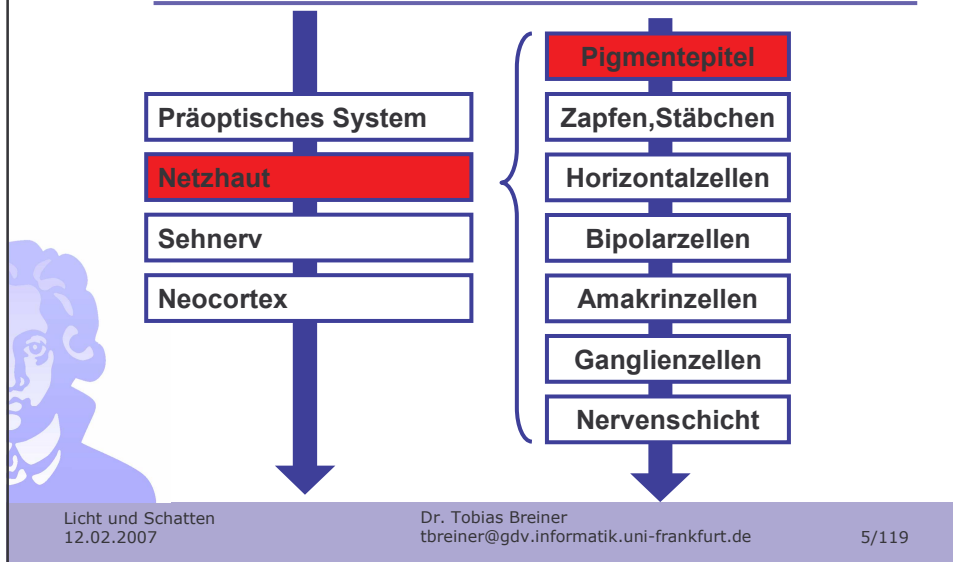


Licht und Schatten  
12.02.2007

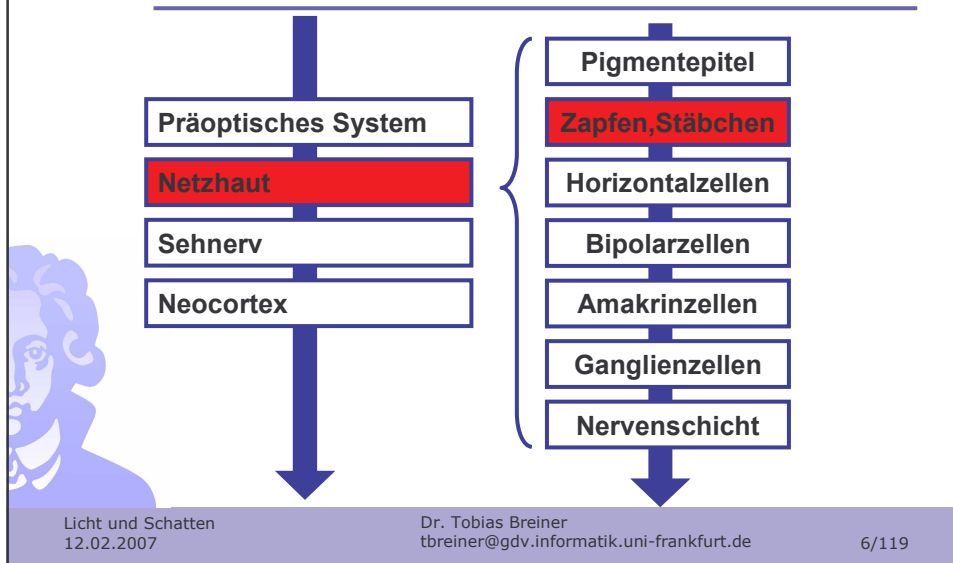
Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

4/119

## Seh-Kaskade – Hornhaut



## Seh-Kaskade – Hornhaut



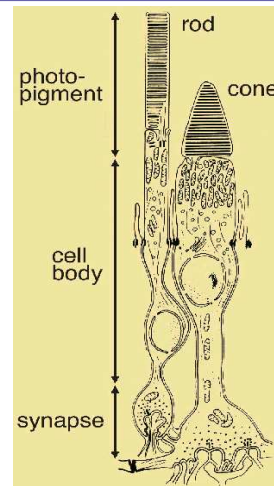
# Rezeptortypen

## o Stäbchen (Rods)

- 100 - 120 Millionen
- Nur außerhalb der Fovea
- Eingelagerter Sehfärbstoff Rhodopsin (Sehpurpur)
- Maximale Empfindlichkeit bei ca. 498 nm (grün)

## o Zapfen (Cones)

- 7-8 Millionen
- Primär in der Fovea
- 3 verschiedene Typen mit unterschiedlich photosensitiven Segmenten
- Maximale Empfindlichkeiten bei ca. 420 nm, 534 nm, 564 nm



# Opsine

Das Opsin in den Stäbchen ist:

- o Rhodopsin = Sehpurpur (~500nm, Chromosom 7)

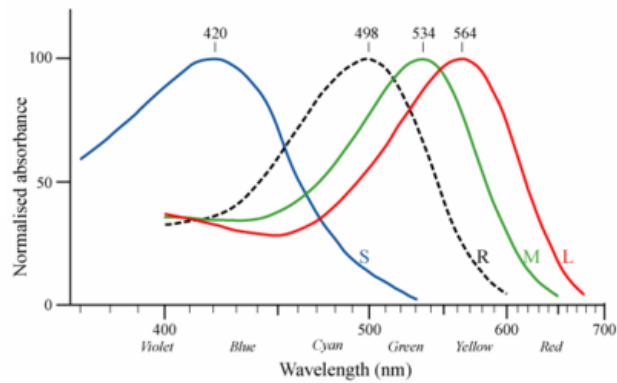
Die 3 Opsine in den Zapfen (Photopsine) sind:

- o **Porphyropsin = Photopsin 1 (Rot, ~543 nm, X-chromosom)**
- o **Iodopsin = Photopsin 2 (Grün, ~522 nm, X-Chromosom)**
- o **Cyanopsin = Photopsin 3 (Blau, ~420 nm, Chromosom 7)**

Die jeweiligen Opsine unterscheiden sich jeweils nur in wenigen Aminosäuren



## Opsine - Empfindlichkeit



<http://www.inrp.fr/Access/biotic/evolut/mecanismes/opsines/html/pigments.htm>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Photopsin>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

9/119

## Zapfen

Art, Verteilung und Anzahl der Zapfen ist stark  
Abhängig von:

- Spezi
- Geschlecht
- Genetischen Faktoren
- Alter

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

10/119

## Zapfenmaxima bei verschiedenen Spezies in nm

Zapfentypen:	UV	S	M	L	XL
Mensch, Typ1	-	424	530	565	-
Mensch, Typ2	-	420	535	565	-
Pferd	-	428	539	-	-
Sonnenvogel	370	460	530	-	620
Falke	370	460	530	560(?)	620
Ratte	-	-	-	-	-
Buntbarsch	-	455	532	579	-
Plotz	360	450	530	-	620
Honigbiene	340	440	540	-	-

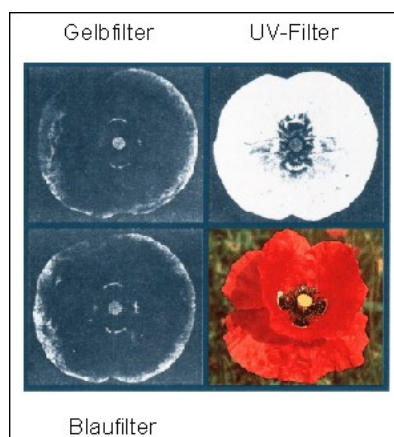
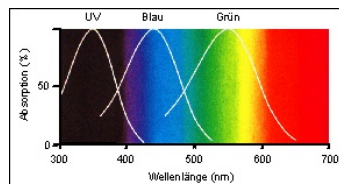
Quellen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Farbsehen> & <http://www.sinnesphysiologie.de/komplex/farbe.htm> & Buer, Friedrich; Regner, Martin: Mit „Spinnennetz-Effekt“ und UV-Absorbieren gegen den Vogeltod an transparenten und spiegelnden Scheiben; Zeitschrift für Vogelkunde und Naturschutz in Hessen . Vogel und Umwelt 13: 31 – 41 (2002)

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

11/119

## Farbwahrnehmung anderer Spezies



<http://www.sinnesphysiologie.de/komplex/biefasph.htm> / Dietrich Burkhardt: Die Welt mit anderen Augen Aus Forschung und Medizin

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

12/119

## Anzahl der Zapfentypen bei Tieren

---

**Non-Chromaten:** z.B. Fledermäuse

**Monochromaten:** z.B. Wale, Robben

**Dichromaten:** z.B. Hund, Katze

**Trichromaten:** z.B. Primaten, Mensch,  
Biene

**Tetrachromaten:** z.B. die meisten Beuteltiere,  
Vögel und Fische

**Pentachromaten:** z.B. Falken, Adler,  
Raben, Tauben,  
div. Schmetterlingsarten



## Neueste Erkenntnisse

---

### Tetrachromaten sind unter uns!

Einige menschliche Mutanten scheinen einen vierten Zapfentyp zwischen Grün und Rot zu besitzen

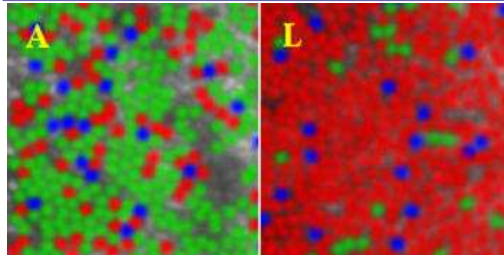
Bisher sind nur weibliche Tetrachromaten gefunden worden.

Sie sind allesamt Träger des Rot-Grün-Blindheits-Gens auf einem X-Chromosom.

Sutherland Ryan: Preliminary evidence of superhuman tetrachromats 2004  
<http://www.ryansutherland.com/media/tetrachromats.pdf>



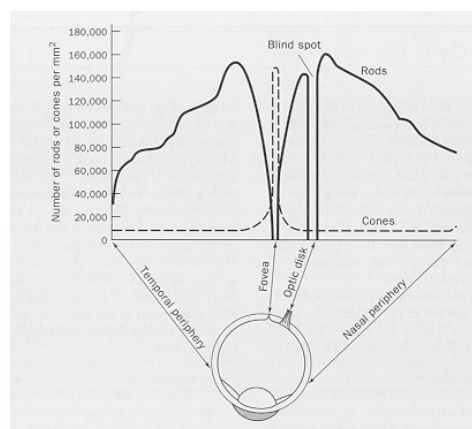
## Verteilung der Zapfen



Schwankung des Zahlenverhältnisse von Rot- zu Grünrezeptoren zwischen 1,1:1 und 16,5:1

Hofer, Heidi; Williams, David: Journal of Neuroscience, Vol. 25(42) (2005)

## Verteilung der Rezeptoren in der Fovea



**Blauzapfen (~2%)  
und Stäbchen  
befinden sich  
weitestgehend  
außerhalb der  
Fovea**

**Rot- und  
Grünzapfen (98%)  
weitestgehend in  
der Fovea**



## Rezeptoren für kurze Wellenlängen

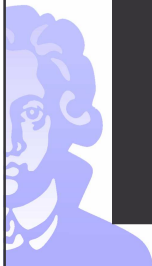
Blue text on a dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive



Blue text on dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive

Blue text on a dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive. Chromatic aberration in the eye is also a problem

Blue text on a dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive



## Farbenblindheit (Achromatopsie)

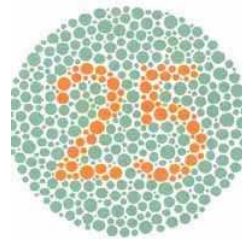
Das, was im Volksmund als Rot-Grün-Blindheit bezeichnet wird ist idR. keine Farbenblindheit, sondern lediglich eine Farbensehchwäche bzw. Farbensehanomalie.

X-Chromosomal vererbt =>

9 % aller Männer und ca.

0,8% der Frauen

Erklärung: Die Gene für Rot- und Grün-Pigment liegen auf dem X-Chromosom, das Gen für das Blau-Pigment auf dem Chromosom Nr. 7.



## Deuteranomalie

- Wenn beim Grün-Pigment an der Position 285 Threonin durch Alanin ersetzt ist, verschiebt sich das Absorptionsmaximum des Pigments von 535 nm nach 549 nm => **Deuteranomalie.**



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

19/119

## Farbensehschwächen/ bzw. Blindheit

**Protanopen** (Fehlen von Rotzapfen)

**Protanomalie** (Veränderung der rezeptiven Wellenlänge der Rot-Zapfen)

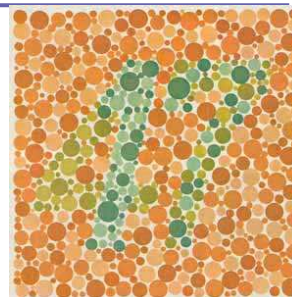
**Deuteranopen** (Fehlen der Grünzapfen)

**Deuteranomalie** (Veränderung der rezeptiven Wellenlänge der Grün-Zapfen = Häufigste störende Fehlsichtigkeit)

**Tritanopen** (Fehlen der Blauzapfen)

**Tritanomalie** (Veränderung der rezeptiven Wellenlänge der Blau-Zapfen = leichte Form, hat fast 1/3 der Bevölkerung)

**Blauzapfenmonochromasie** (Fehlen von Rot- und Grünzapfen)



17 oder 47?

Wenn 17: Rot-Grün-  
Sehschwäche

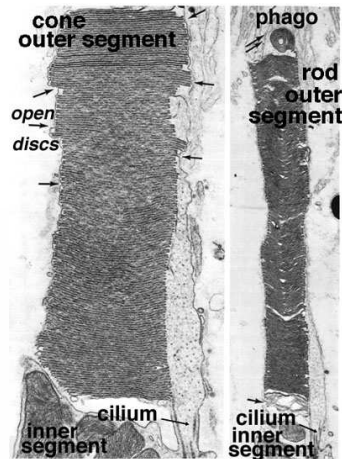


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

20/119

# Photorezeptoren



<http://webvision.med.utah.edu/photo1.html>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

21/119

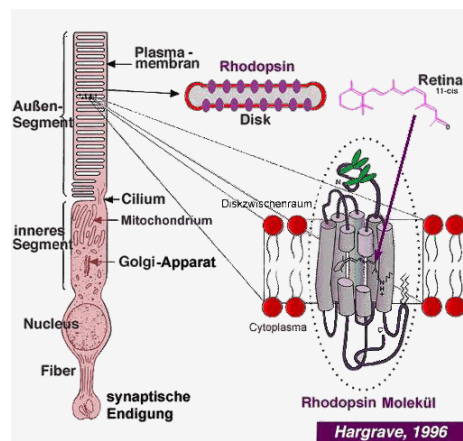
# Stäbchenaufbau

Photorezeption findet in Disks statt

Mehrere 1000 Disks übereinander

Jede Disk enthält ~10.000 Rhodopsinmoleküle

=> Über 10 Mio Rhodopsinmoleküle pro Stäbchen



Hargrave, 1996

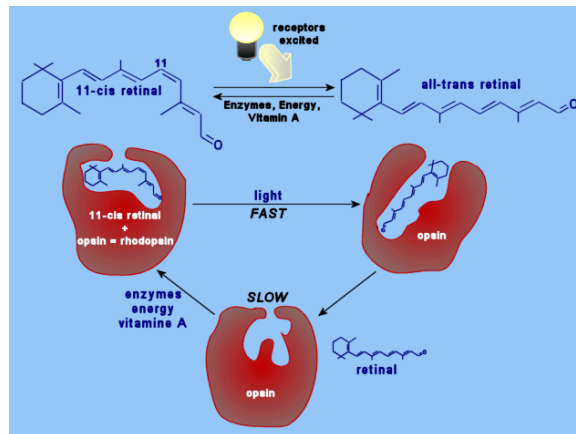
[http://www.physik.uni-augsburg.de/~ferdi/sinnesorgane/auge\\_2/auge\\_2.htm](http://www.physik.uni-augsburg.de/~ferdi/sinnesorgane/auge_2/auge_2.htm)

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

22/119

## Bleichen des Retinals



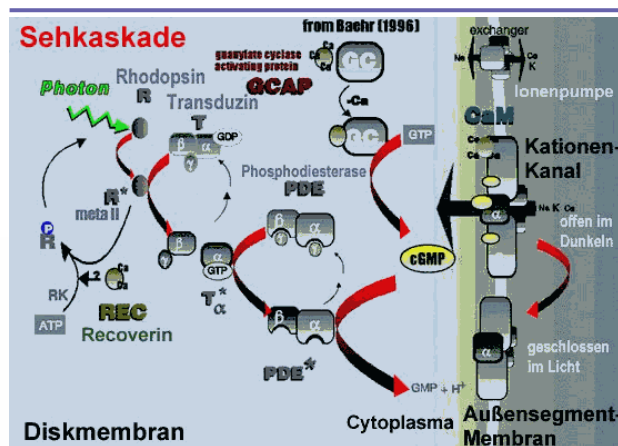
<http://cas.bellarmine.edu/tietjen/HumanBioogy/Sensory/Rhodopsin.gif>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

23/119

## Photo-chemische Vorgänge Signaltransduktionskaskade



Quellen: <http://webvision.med.utah.edu/photo1.html>  
[http://www.physik.uni-augsburg.de/~ferdi/sinnesorgane/auge\\_2/image6.gif](http://www.physik.uni-augsburg.de/~ferdi/sinnesorgane/auge_2/image6.gif)

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

24/119

## Photo-chemische Vorgänge Signaltransduktionskaskade

---

1. Licht trifft auf Rhodopsin. Das All-Cis-Retinal im Rhodopsin wird dadurch zu All-Trans-Retinal verwandelt
2. Bindung des belichteten Rhodopsins an den Transmitter Transducin
3. Aktivierung der cGMP-Phosphodiesterase (PDE) durch Transducin
4. Die aktivierte PDE spaltet cGMP zu 5'GMP.
5. Das Absinken der cGMP-Konzentration in der Zelle führt zum Verschluss der cGMP-regulierten Kationenkanäle in der Plasmamembran
6. Hyperpolarisation an der Membran.



## Nachbilder

---

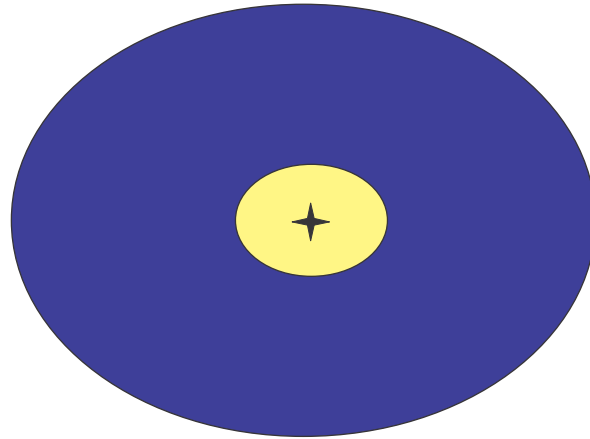


<http://www.weidigschule.de/projekte/optisch.htm>



## Zapfen-Gegenfarben

---



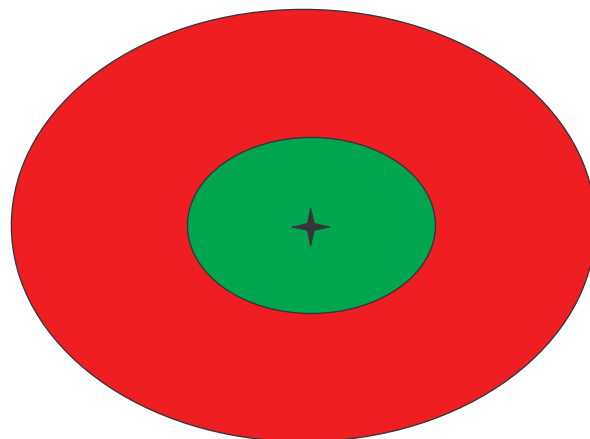
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

27/119

## Zapfen-Gegenfarben

---



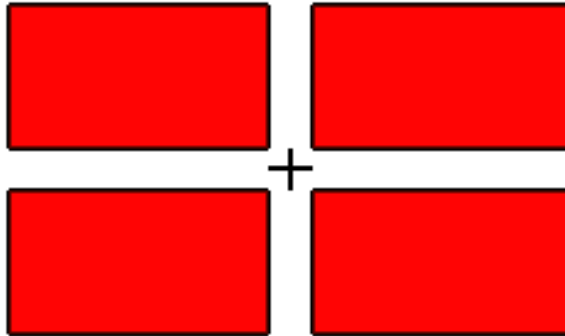
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

28/119

## Nachbilder

---



<http://www.quarks.de/illusion2/01.htm>



## Nachbilder

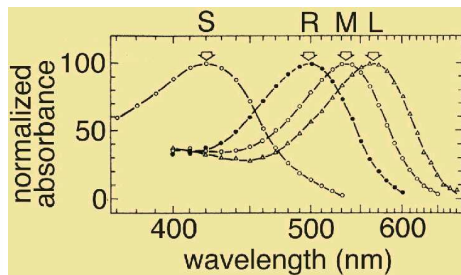
---

- Nachbilder entstehen durch den Verbrauch der Sehfärbstoffe (z.B. Rhodopsin bei Hell-Dunkel-Unterscheidungen). Sie brauchen einige Minuten bis zur vollen Regeneration.
- => Komplementärfarbe

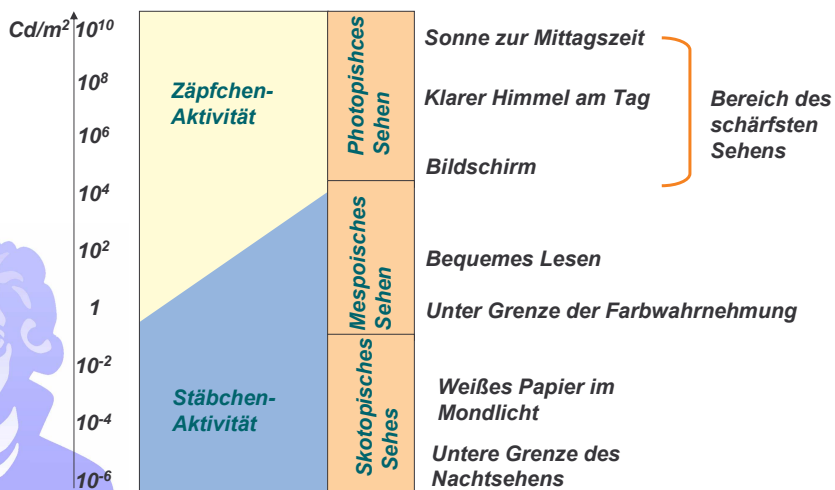


# Skotopisches und Photopisches Sehen

- Skotopisches Sehen
  - Dämmerungssehen
  - Basierend auf Stäbchen
- Photopisches Sehen
  - Tagessehen
  - Basierend auf Zäpfchen

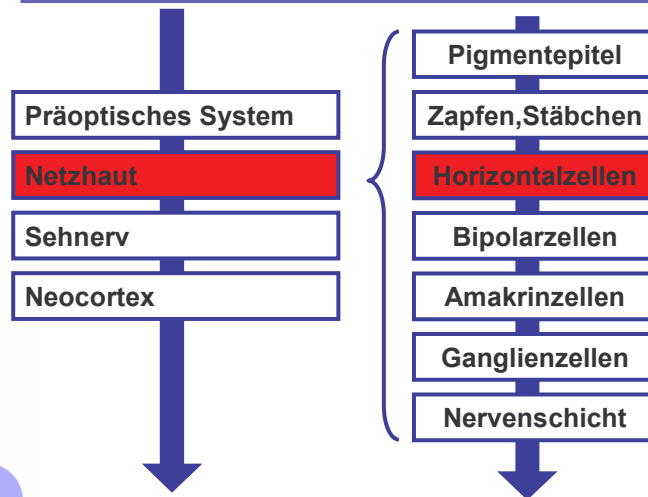


# Skotopisches und Photopisches Sehen





## Seh-Kaskade – Hornhaut

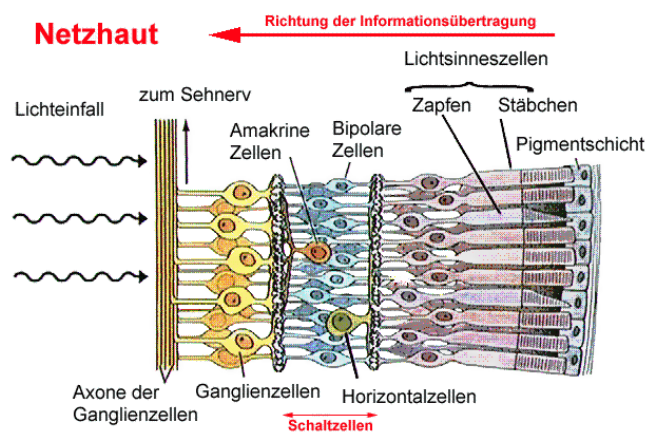


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

33/119

## Die Netzhaut (Erinnerung)



Bildquelle: <http://www.egbeck.de/skripten/12/bs12-36.htm>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

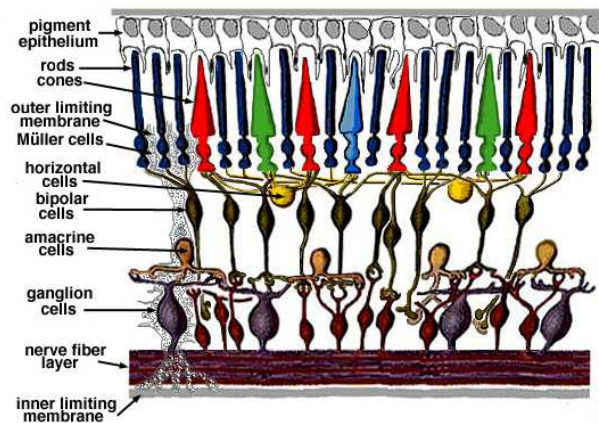
34/119

# Horizontalzellen



Bildquelle: <http://www.egbeck.de/skripten/12/bs12-36.htm>

# Die Netzhaut (Erinnerung)



# Horizontalzellen

---

- Horizontale Zellen
  - Sowohl Zellen mit und ohne Farbspezifität (rot-grün, blau-gelb)
  - Kombination der Signale mehrerer Rezeptoren in größeren Gebieten
  - Laterale Inhibition
    - => Aufhellung großflächiger schattiger Gebiete
    - => Abdunklung großflächiger heller Gebiete



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

37/119

# Horizontalzellen

---



mit Horizontalzellen

ohne Horizontalzellen

Bildquelle links: © Stephan Buß, <http://www.sichtweise.de>  
Bildquelle rechts (wie links, nur per inversen Horizontalzellenalgorithmus modifiziert)

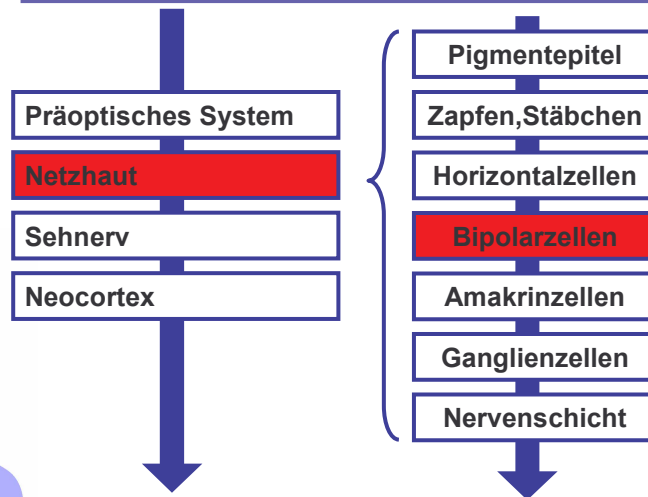


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

38/119

## Seh-Kaskade – Hornhaut

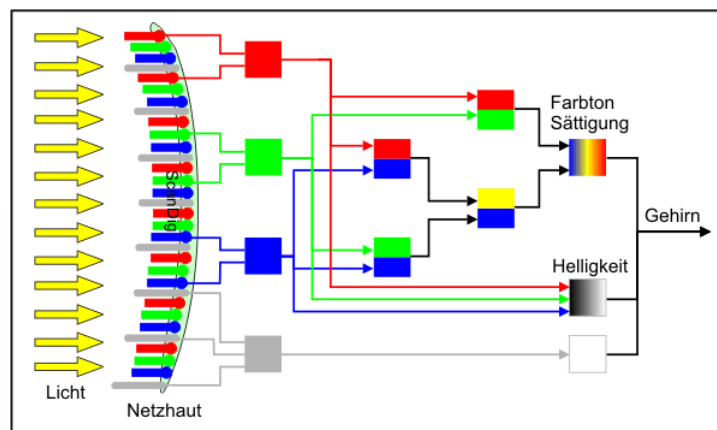


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

39/119

## Gegenfarben-Verschaltung durch Bipolarzellen



<http://www.filmscanner.info/Farbwaernehmung.html>

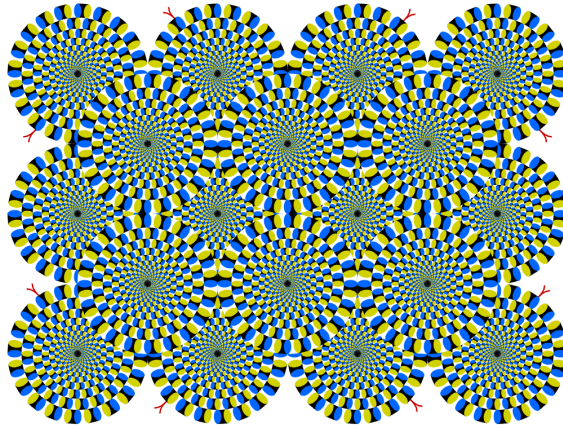
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

40/119

## Optische Effekte durch Justierung des Blau-Gelb-Kanals

---



<http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/saishin-e.html>



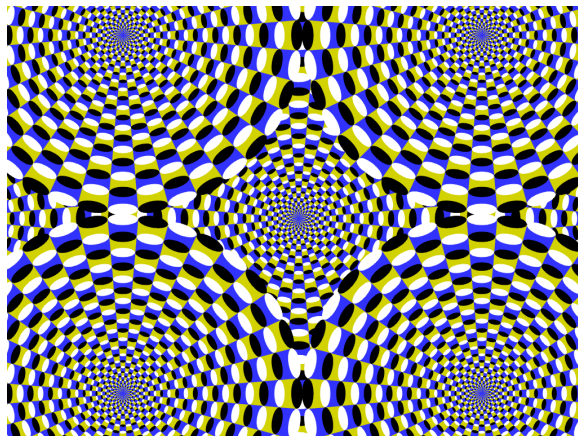
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

41/119

## Optische Effekte durch Justierung des Blau-Gelb-Kanals

---



<http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/saishin-e.html>



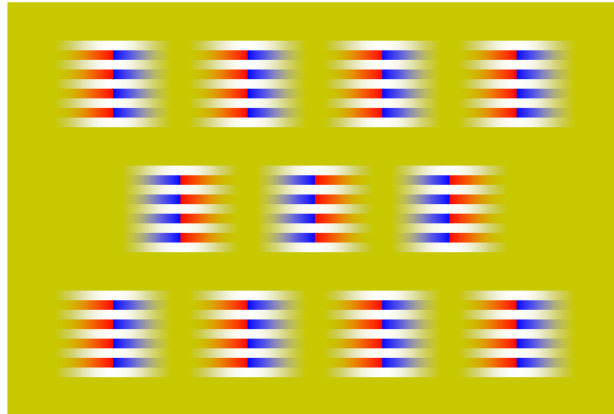
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

42/119

## Optische Effekte durch Justierung des Blau-Gelb-Kanals

---



<http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/saishin-e.html>



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

43/119

## Farben-Theorien

---

- Drei-Farben-Theorie von Hermann von Helmholtz: Es gibt drei Sehzell-Typen für drei Farben, die als Primärfarben bezeichnet werden. Nach Helmholtz werden alle anderen Farben durch additive Mischung erzeugt.
- Gegenfarbtheorie: Nach Ewald Hering werden die Farben durch Gegenfarbkanäle dargestellt: Rot-Grün, Blau-gelb, Weiß-Schwarz.
- Kries-Zonentheorie: Johannes von Kries (er arbeitete unter Helmholtz) führte beide Theorien zusammen: Auf Rezeptorebene ist die Drei-Farben-Theorie gültig, bei der Verarbeitung werden die Signale aber zu Gegenfarbkanälen zusammengefasst.



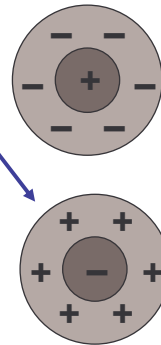
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

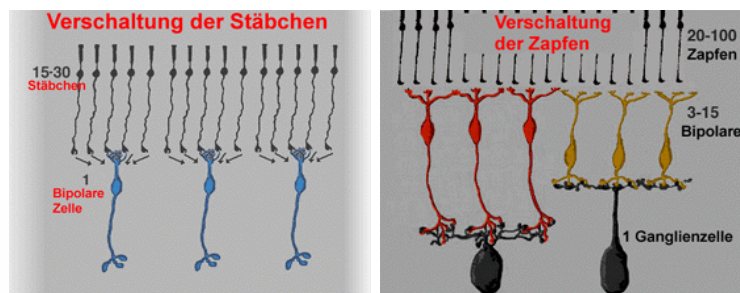
44/119

## Bipolare Zellen

- 2 Arten:
  - On-Off
  - Off-On
- Center/Surround-Charakteristik
  - Kombination der Signale mehrerer Rezeptoren
  - Inhibition vs. Verstärkung
- Kontrasterkennung

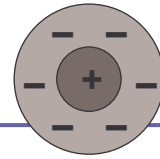


## Verschaltung der Bipolarzellen



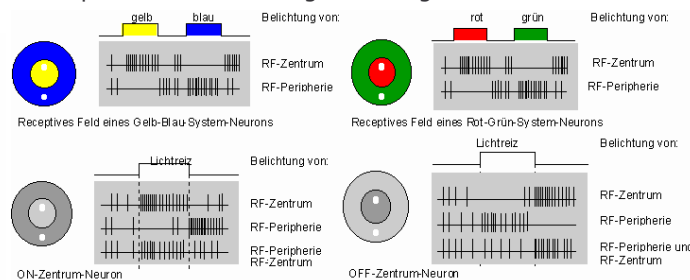
<http://www.egbeck.de/skripten/12/bs12-36.htm>

## On-Off- und Off-On-Zellen



### Beispiel: On-Off-Typen

- Die Ganglionen feuern mit Spontanrate
- Anstieg der Feuerrate, wenn Licht auf eine kleine Region der Netzhaut fällt
- Absinken der Rate, wenn Licht auf die Region fällt, die das empfindliche Zentrum genau umgibt



## DOG-Modell

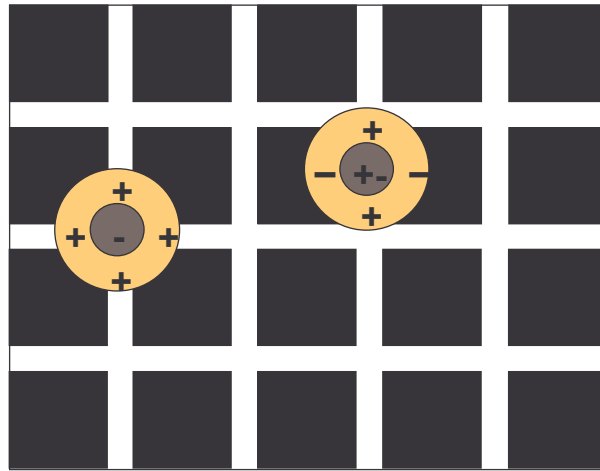
Die Center-Surround-Anatomie der retinalen Neuronen (insbesondere der Bipolarzellen) ist Basis mehrerer optischer Effekte: Simultankontrast

- Hermann Gitter Illusion
- Mach-Bänder
- Chevreul Illusion

=> DOG (Difference of Gaussians) Modell



## Beispiel: Hermann-Gitter

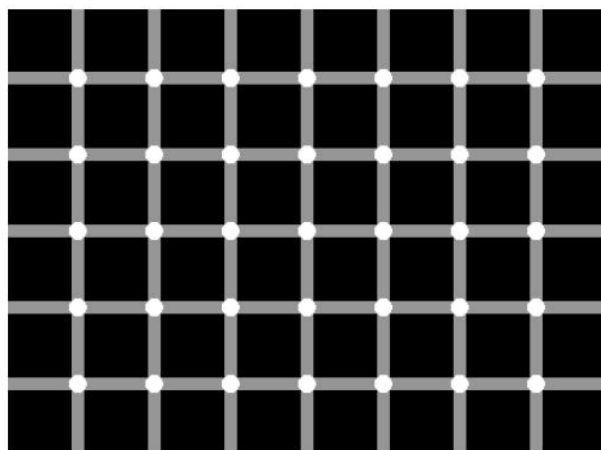


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

49/119

## Count the black Dots!

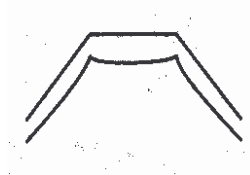
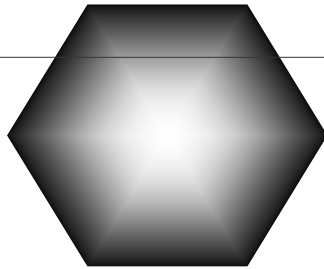


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

50/119

## Machbänder

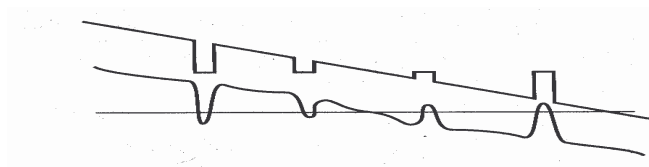


Ergebnis einer linearen Interpolation  
(z.B. nach Gouraud)

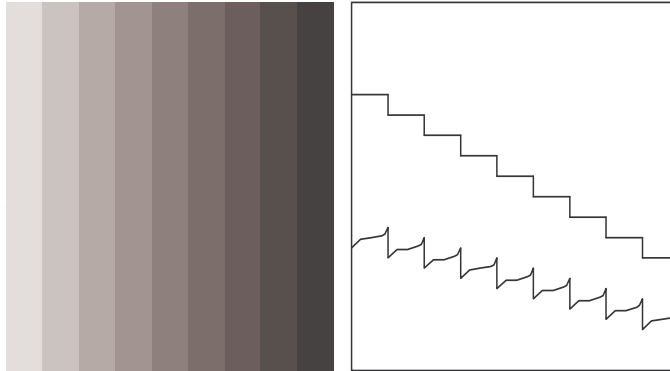
Helle Bänder erscheinen dort, wo die 1. Ableitung  
eine unstetige Änderung aufweist



## Simultankontrast 3

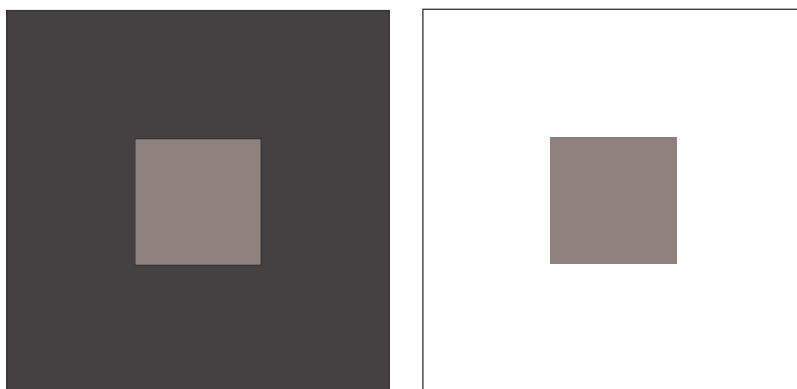


## Chevreul Illusion



- Streifen sind jeweils gleich hell
- Streifen erscheinen jeweils am linken Rand dunkler als am rechten Rand

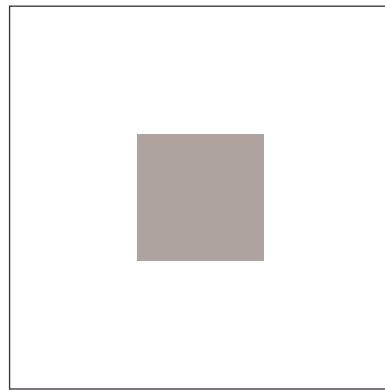
## Simultankontrast 1



## Simultankontrast 2



128



171

## Inhalt

Wiederholung und Vertiefung



Das Auge



Präoptisches System

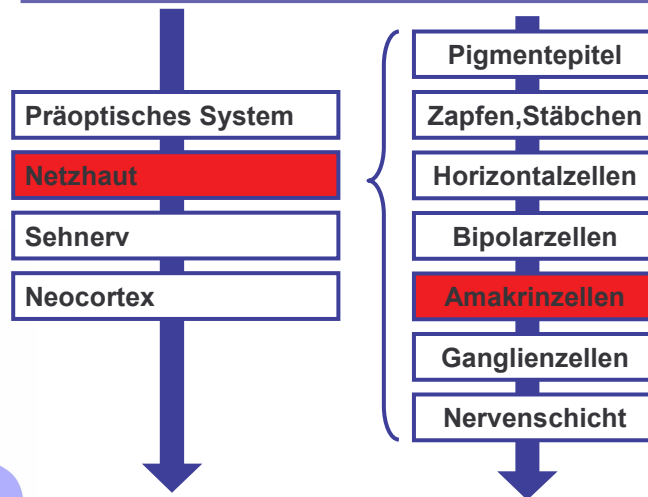


Netzhaut



Ausblick

## Seh-Kaskade – Hornhaut



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

57/119

## Amakrinzellen

- Je geringer die Lichtintensität ist, desto stärker öffnen die Amakrinzellen verschiedene Gap Junctions und senken durch den Einstrom von Ionen ihre Empfindlichkeitsschwelle.
- Die Amakrinzellen fassen die kontaktierten Zellen so bei skotopischen Sehen zu einem Netzwerk zusammen, bis die Lichtintensität wieder steigt.
- Ausgelöst wird der Effekt durch Dopamin, welches bei Lichteinfall in der Netzhaut gebildet wird.

⇒ *Mögliche Erklärung für „Rosa Brille“-Effekt?*

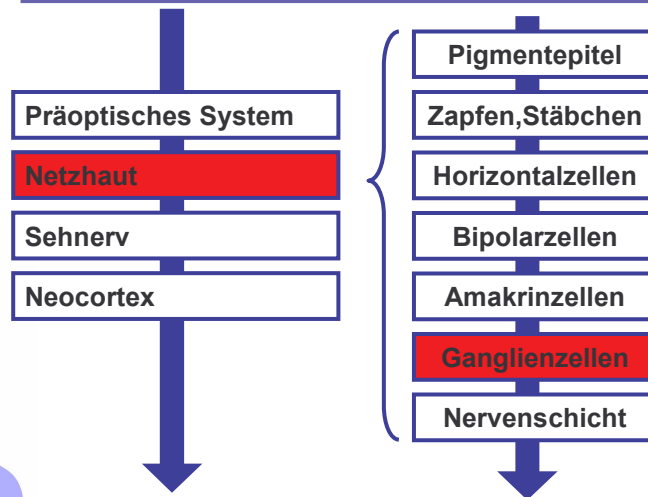
*Stephanie Urschel, Thorsten Höher, Klaus Willecke: Journal of Biological Chemistry, Vol. 281(44), pp 33163-71*

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

58/119

## Seh-Kaskade – Hornhaut



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

59/119

## Ganglienzelltypen

2 verschiedene Ganglienzell-Typen (M-Typ, P-Typ)  
mit Unterschieden bzgl.

- Größe (groß vs. klein)
- Größe des rezeptiven Feldes (groß vs. klein)
- Ortsauflösung (hoch vs. niedrig)
- Kontrastempfindlichkeit (hoch vs. niedrig)
- Reaktionszeit (schnell vs. langsam)
- Reaktionsdauer (kurz vs. lang)
- Verteilung auf der Netzhaut (periphär vs. zentral in der Fovea)
- Farbsensitivität (achromatisch vs. chromatisch)
- Erstes Anzeichen für 2 verschiedene Systeme innerhalb des visuellen Systems
  - Magno-System
  - Parvo-System

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

60/119

## Ganglienzelltypen

- 2% der normalen Ganglienzellen enthalten Melanopsin
- Sie reagieren damit auf blaues Licht der Wellenlänge 460nm
- Steuerung der Pupillenweite
- Steuerung der Epiphyse => Circadianer Rythmus

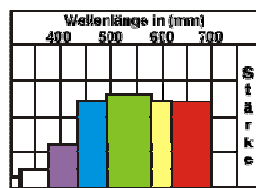


Licht und Schatten  
12.02.2007

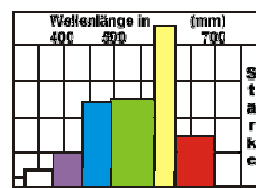
Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

61/119

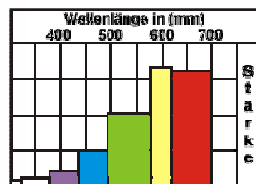
## Spektren



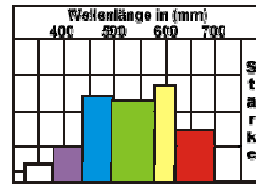
Sonne



Leuchtstoffröhre (kaltweiß)



Glühlampe



Tageslichtlampe (LifeLite)

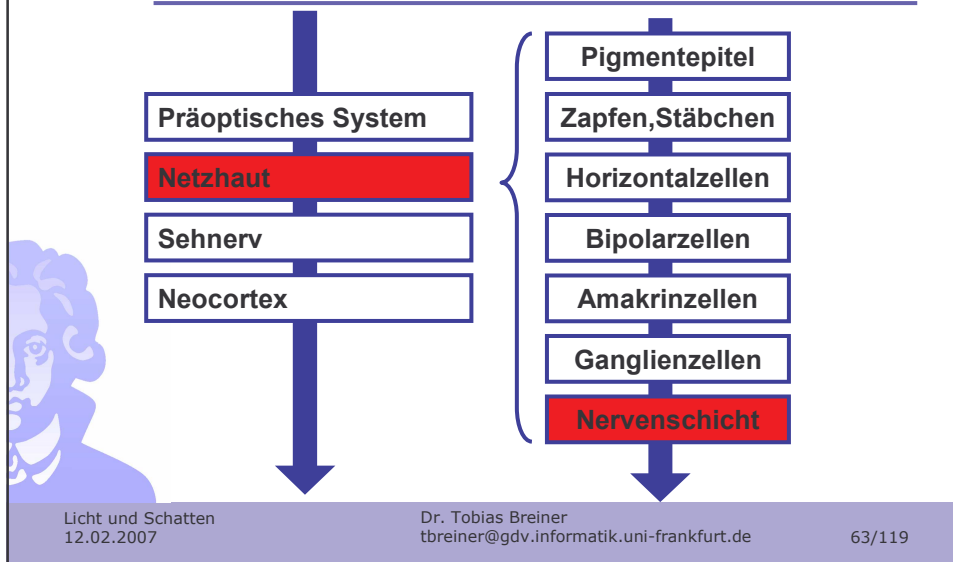
Bildquelle: <http://strom-sparen-online.de/info-tageslicht.html>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

62/119

## Seh-Kaskade – Hornhaut



## Sehnerv

- Sehnerv (*Nervus opticus*) besteht aus den Axonen der Ganglienzellen.
- Ein Teil der Fasern kreuzt in der Sehnervenkreuzung (Chiasma Opticum) => Signale aus dem linken Gesichtsfeld gelangen zur rechten Gehirnhälfte und umgekehrt





## Blinder Fleck

---



1 2 3 4 5 6 7 8 9

## Blinder Fleck

---

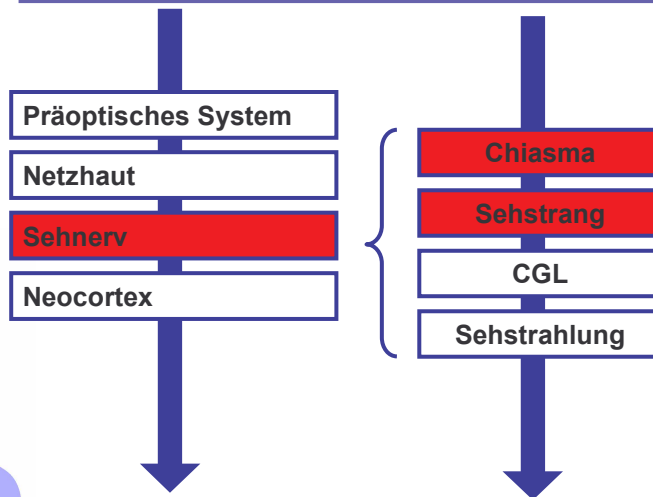


- Der Sehnerv tritt im blinden Fleck mit ca. 1,2 Mio Axonen aus dem Augapfel aus.

(Quigley et al., 1982; Balaszi et al., 1984)

- Befindet sich etwa  $15^\circ$  schläfenseitig vom Fixierpunkt
- Wir sehen das Nichts nicht!

## Seh-Kaskade – Hornhaut

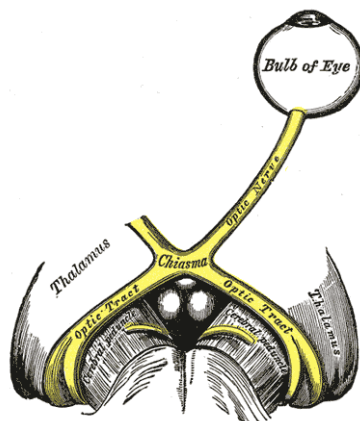


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

67/119

## Chiasma Opticum (Aussicht)

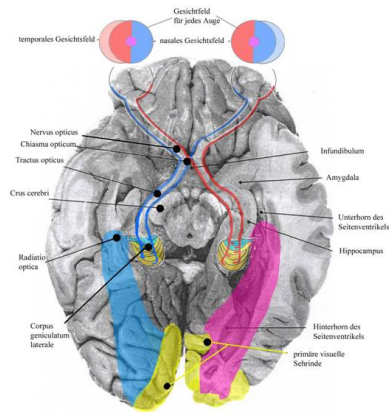


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

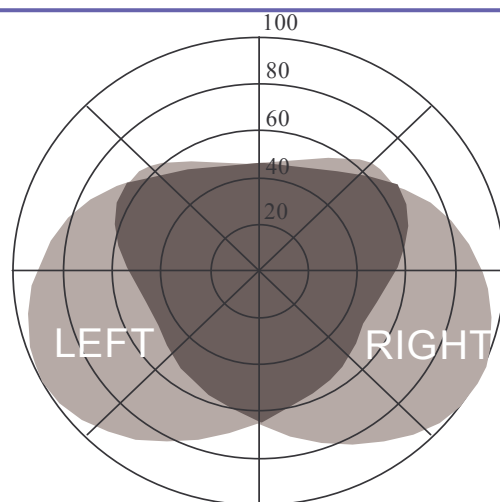
68/119

# Verlauf des Sehnerves

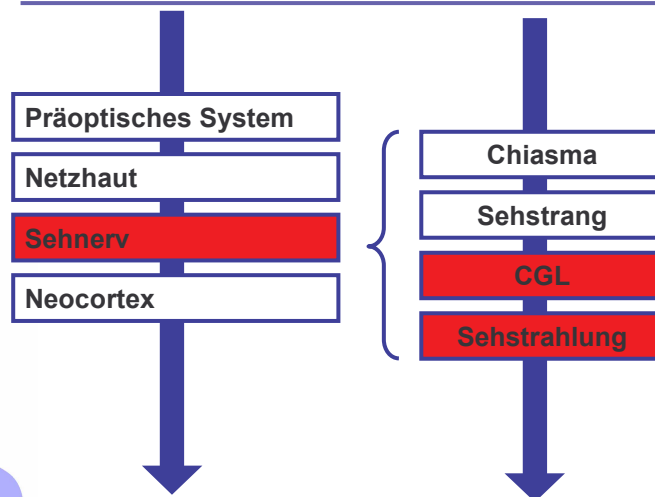


Bildquelle: <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm>

# Visuelles Feld (Gesichtsfeld)



## Seh-Kaskade – Hornhaut



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

71/119

## Corpus geniculatum laterale

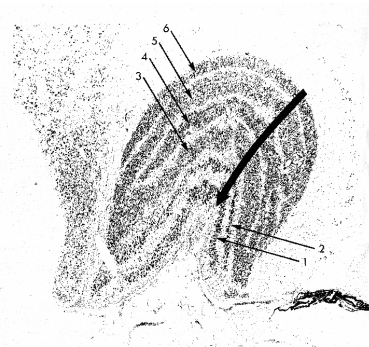
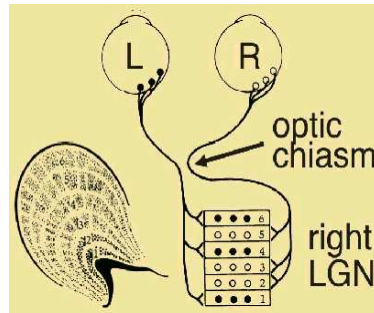
- Synonyme:
  - CGL
  - Seitlicher Kniehöcker
  - Lateral Geniculate Nucleus, LGN
- Befindet sich unterhalb des Cortex
- 6 Ebenen,
  - 3 für linkes und 3 für rechtes Auge
  - Informationen der Augen also noch getrennt, d.h. keine binoculare Verarbeitung
- 2 magnozelluläre Ebenen (1+2)
  - Verbunden mit M-Typ Ganglienzellen
- 4 parvozelluläre Ebenen (3–6)
  - Verbunden mit P-Typ Ganglienzellen
- Verarbeitung von Bewegung (M-Typ) gegenüber Farbe und Form (P-Typ) in separaten Ebenen

Licht und Schatten  
12.02.2007

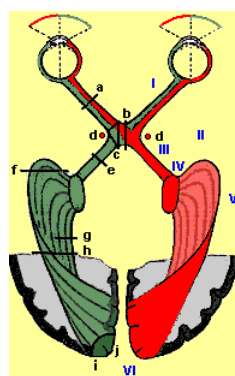
Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

72/119

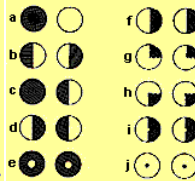
## CGL



## Gesichtsfeldausfälle



### Gesichtsfeldausfälle

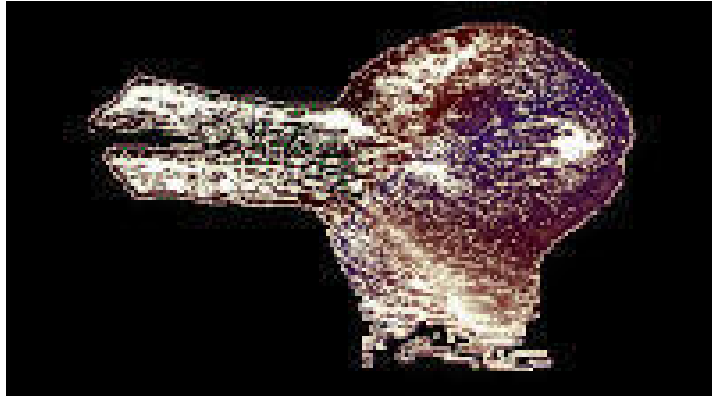


- a.) Läsion des Sehnervs
- b.) Chiasmasyndrom.
- c.) Chiasmaläsion mit Übergreifen auf den linken Sehnerv
- d.) Gleichseitige Halbseitenblindheit bei Aneurysma.
- e.) Arachnoiditis opticochiasmatica.
- f.) Verletzung des linken Tractus opticus
- g & h.) Läsionen der Sehstrahlung
- i.) Läsion der Sehstrahlung mit Aussparung der Makula
- j.) Flimmerskotom bei opthalmischer Migräne.

<http://www.medizininfo.de/augenheilkunde/sehbahnlaesion.htm>

## Was sehen Sie zuerst?

---



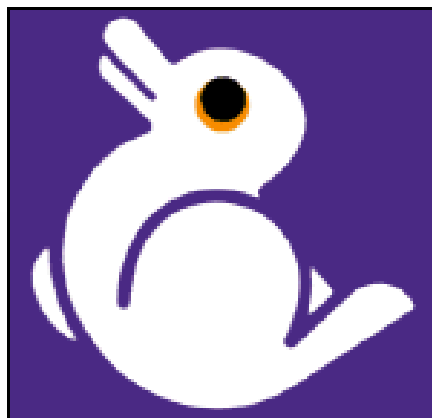
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

75/119

## Was sehen Sie zuerst?

---



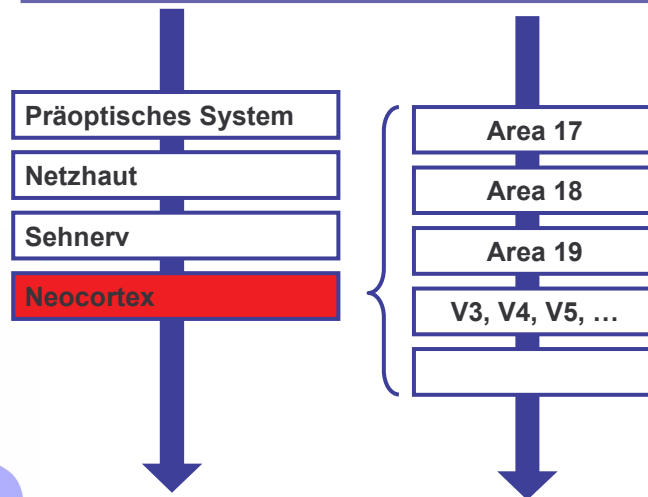
Bildquelle: <http://www.zauberbuch.de/trick6.htm>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

76/119

## Seh-Kaskade – Hornhaut



Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

77/119

## Position des visuellen Cortex

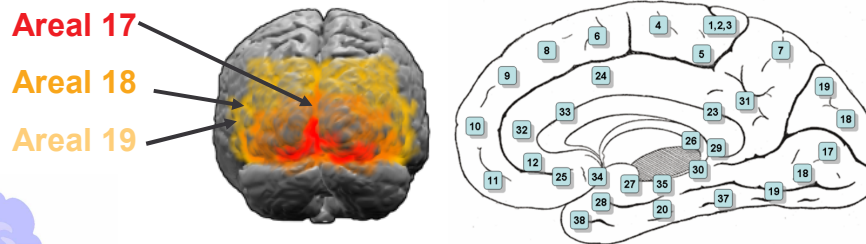
- Der **visuelle Cortex** liegt im **Lobus occipitalis** am hinteren Pol des Gehirnes.
- Er erstreckt sich bis auf die Innenseite der Hirnhemisphären zu beiden Seiten des **Sulcus calcarinus**.
- Die **Brodmanareale 18 und 19** sind konzentrisch um die sich vom Okzipitalpol entlang des sulcus calcarinus nach medial erstreckende **Brodmannareal 17** angeordnet und werden als **zirkumstriärer Cortex** bezeichnet

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

78/119

## Brodmannareal 17, 18 und 19



Bildquelle: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/b7/Ba\\_17\\_18\\_19.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/b7/Ba_17_18_19.png)

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

79/119

## Visueller Cortex (Sehrinde)

Parallele Verarbeitung visueller Signale auf 6 Ebenen

- V1: **Primärer Visueller Cortex**  
(Area 17, *Striate Cortex*)
  - Erste detaillierte Analyse
  - Ebenfalls bestehend aus 6 Ebenen
  - Verbindungen zu anderen Arealen (18, 19)
- V2, V3, V3a, V4, V5 : **Sekundärer Visueller Cortex**  
(Area 18 (V2, V3) + Area 19 (V3a, V4, V5), *Area circumstriata / extrastriata*)
  - Weitergehende Analyse
  - Augensteuerung
  - Bewegungssehen

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

80/119



## Signalverarbeitung im visuellen Cortex

### oLayout des visuellen Cortex

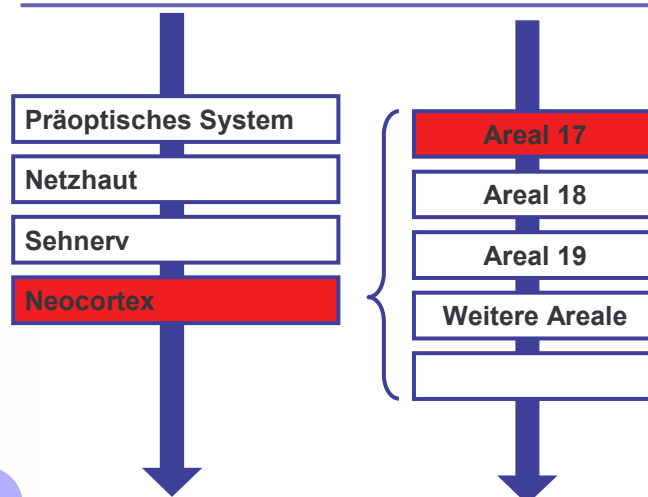
- V1: Allgemeines Scanning
- V2: Stereo Vision
- V3: Tiefenwahrnehmung und Abstand
- V4: Farbe
- V5: Bewegung
- V6: Bestimmung der objektiven (im Gegensatz zur relativen) Position von Objekten

### oBeispiele für Informationspfade durch den Cortex:

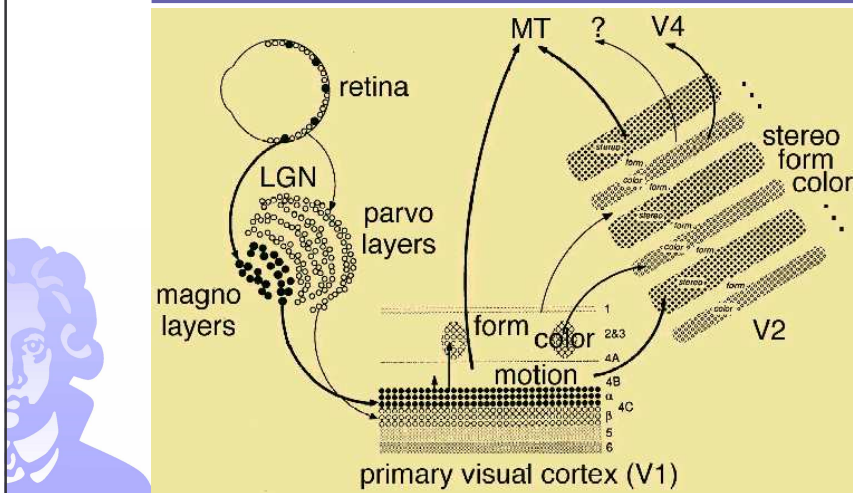
- Wo: V1-V2-V3-V5-V6
- Was: V1-V2-V4



## Seh-Kaskade – Hornhaut



## Primärer Visueller Cortex (V1)

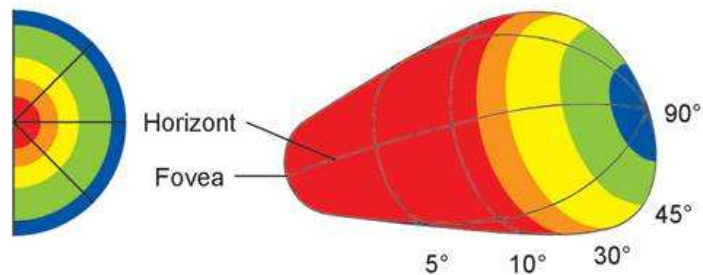


Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

83/119

## Foveale Repräsentation im visuellen Kortex



**Obwohl die Fovea Centralis im Gesichtsfeld (links) nur einen kleinen Bereich von ~2° einnimmt, beansprucht sie einen großen Teil der Neurone des Primären Visuellen Cortex (rechts).**

<http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm>

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

84/119

## Brain Pixels

---



L C M A O  
X A T I G R  
F N I T



## Striate Cortex vs. PVC

---

Trotz unterschiedlicher Definition  
weitestgehend identisch

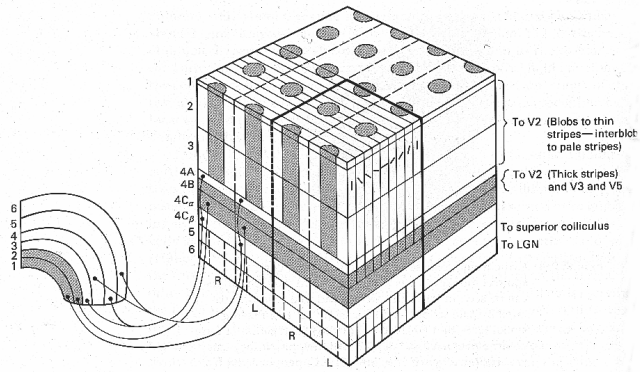
Anatomisch definiert  
Striate cortex



Funktional definiert  
Primärer Visueller  
Kortex



## Struktur der Area 17 (V1)



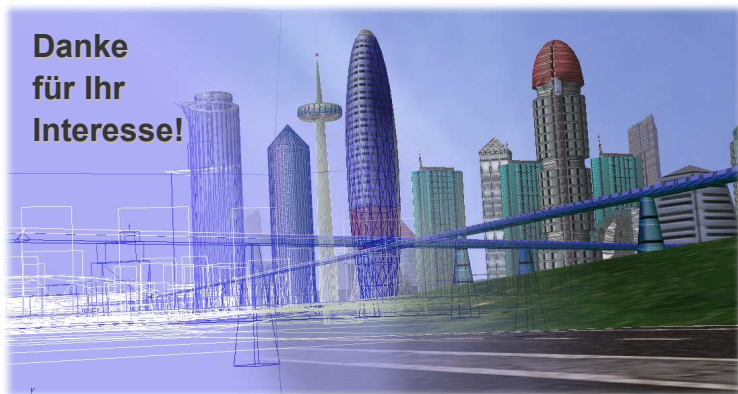
Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

87/119

## Ende

**Danke  
für Ihr  
Interesse!**



Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

Licht und Schatten  
12.02.2007

Dr. Tobias Breiner  
tbreiner@gdv.informatik.uni-frankfurt.de

88/119