

# Messen optischer Größen, Messen aus Bildern

## Übersicht

Optische Strahlung, Sensorik  
Geometrie, Photogrammetrie

- Kamerakalibrierung
- Stereo



## Menschliche Wahrnehmung

- Neurophysiologie
- Kognitive Psychologie

## Digitale Bildanalyse

- Digitales Rasterbild, Kenngrößen
- Bildverarbeitungsoperationen, Segmentation
- Salient point detection + description

# Das Menschliche Visuelle System Neurophysiologie

Analogie

Kamera ↔ Auge

Stereo

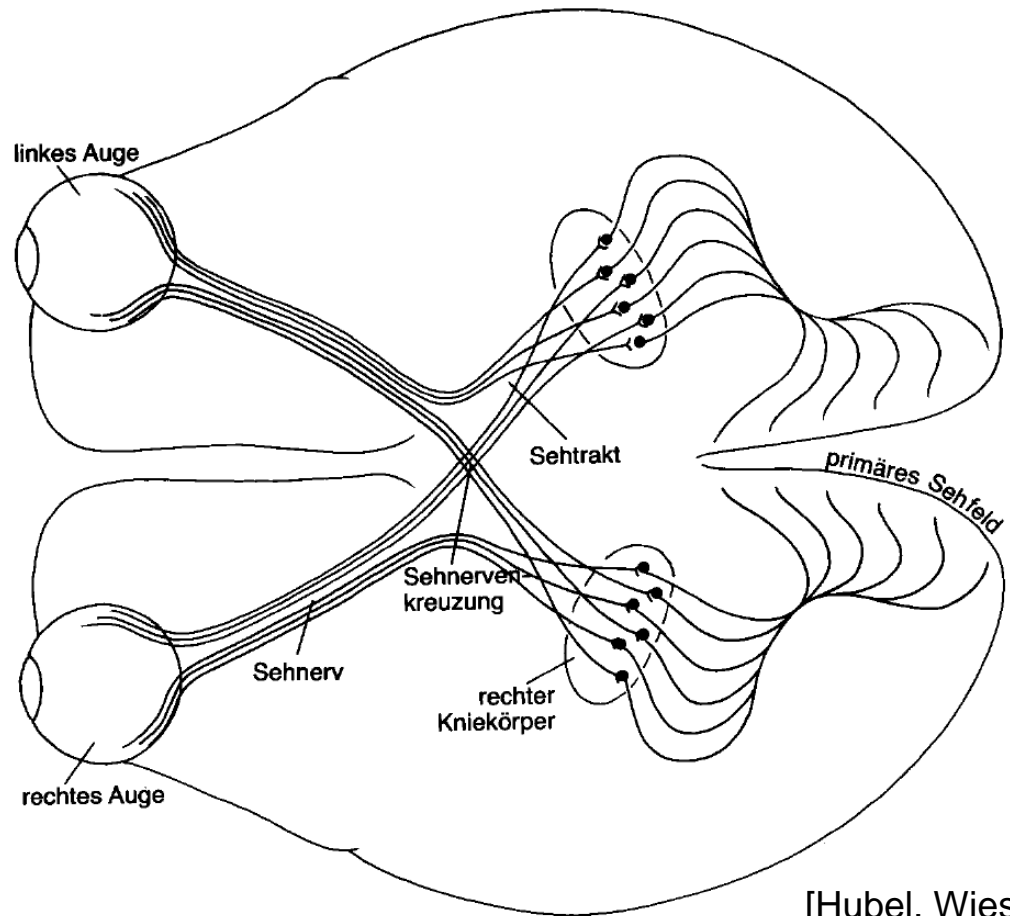
Parallele, verteilte

Verarbeitung:

Nervenzellen

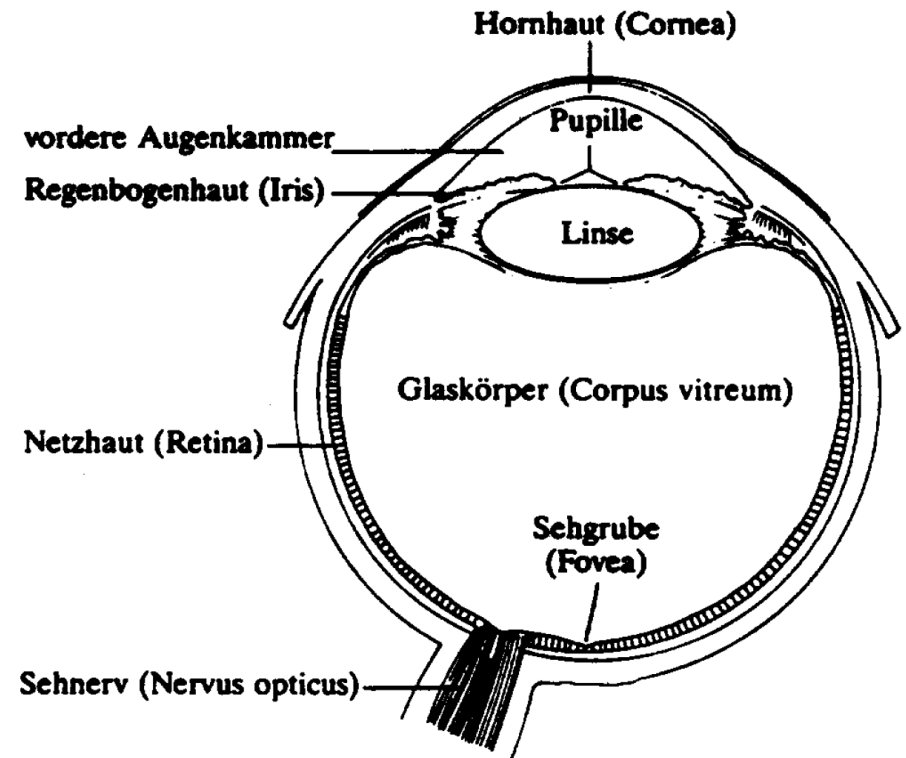
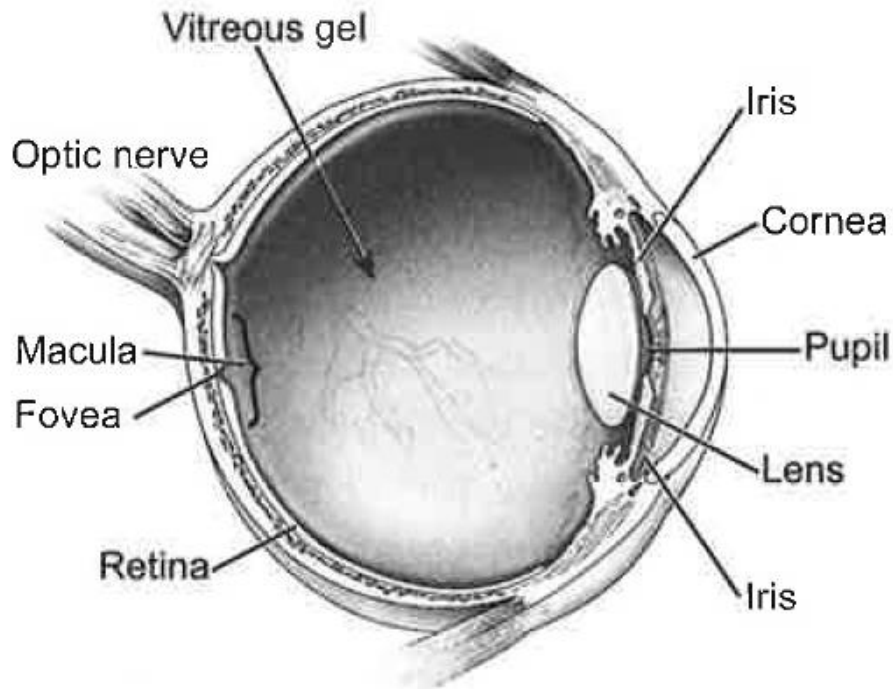
Sehnervenkreuzung

Primäres Sehfeld:  
„visueller Cortex“



[Hubel, Wiesel, 1986]

# Das Menschliche Auge (1)



[Stone, Vision and Brain]

# Das Menschliche Auge (2)

Fovea: Sehgrube, gelber Fleck, Stelle des schärfsten Sehens

Lichtempfindliche Zellen:

- Zapfen (Farbsehen)
- Stäbchen (monochrom)

Fovea: Nur Zapfen

Makula: Zapfen + Stäbchen, Zapfen nach außen abnehmend

Periphere Retina: V.a. Stäbchen, Dichte nach außen abnehmend

Ganglienzellen der Netzhaut, Axone im blinden Fleck gebündelt

# Nervenzelle

Im Gehirn:

~  $10^{11}$  Nervenzellen

~  $10^{14}$  Synapsen

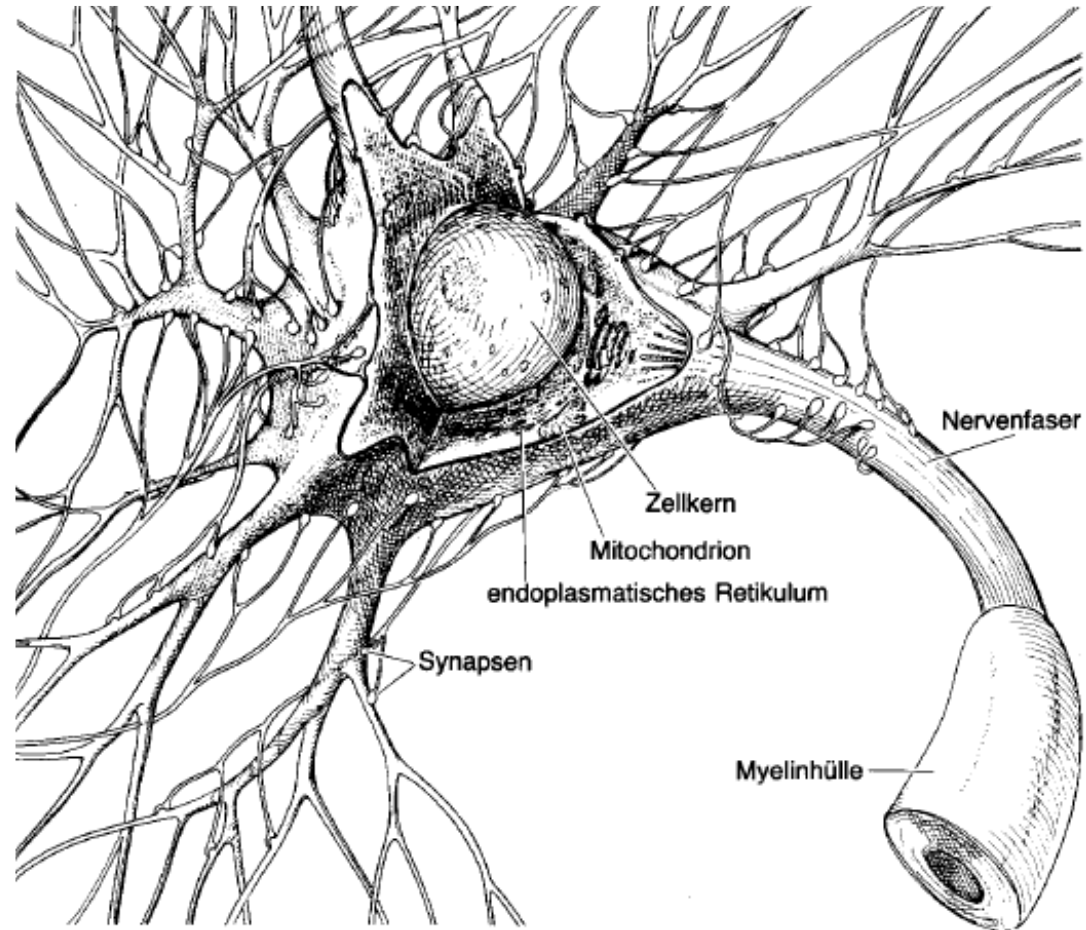
Verarbeitungsgeschwindigkeit

~1kHz

*Komplexität: # Synapsen*

Nur wenige 100 Verarbeitungsschritte Input → Output

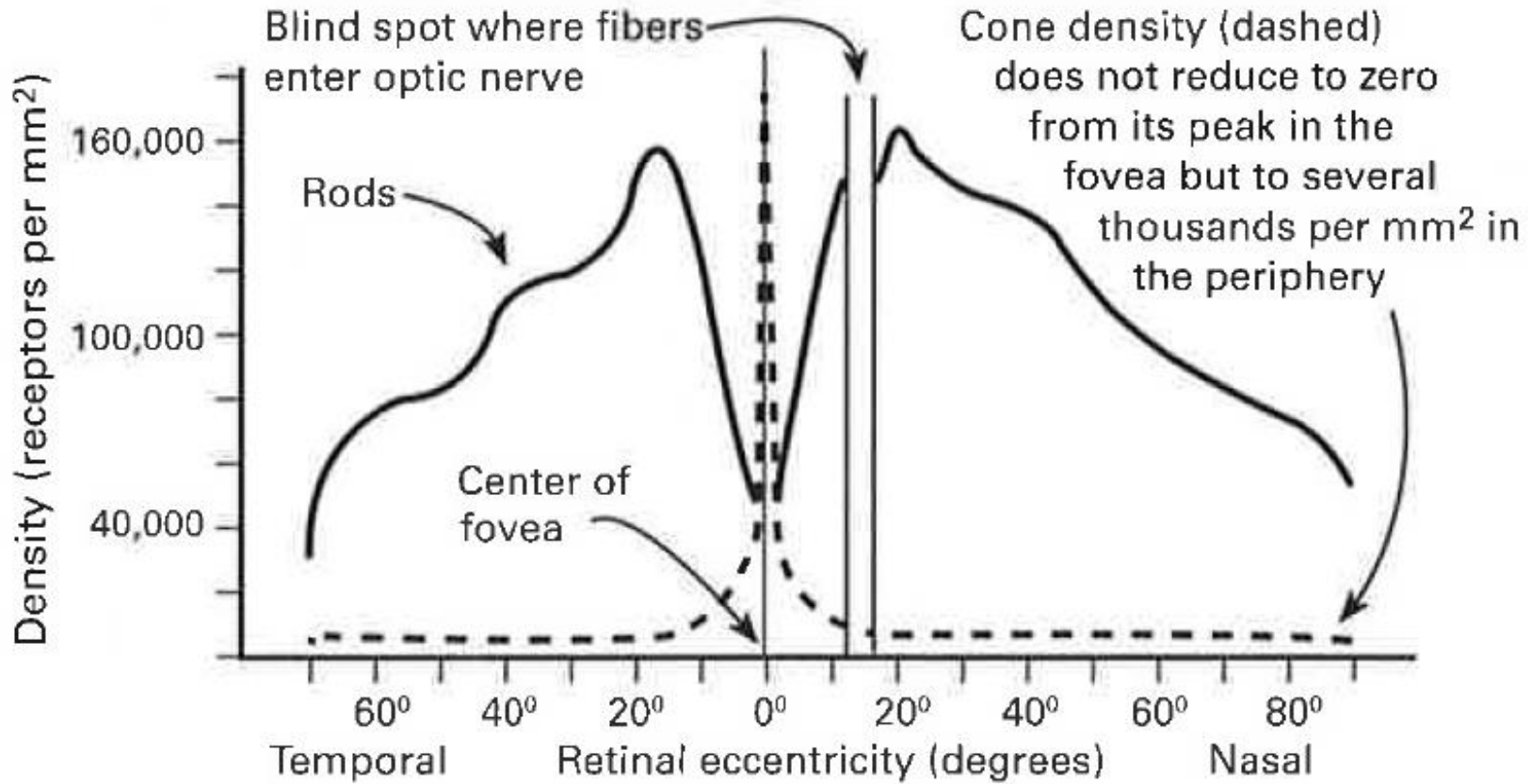
*Massive Parallelität!*



© Carol Donner

# Die Retina

Insges. ~ 126 Mio Photorezeptoren

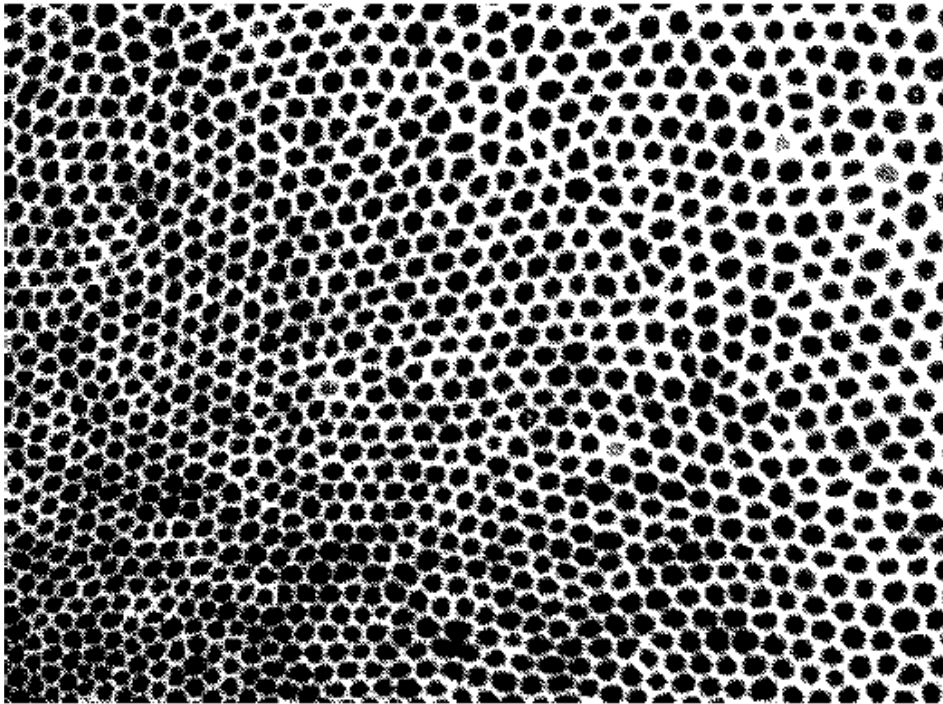


[Stone, Vision and Brain]

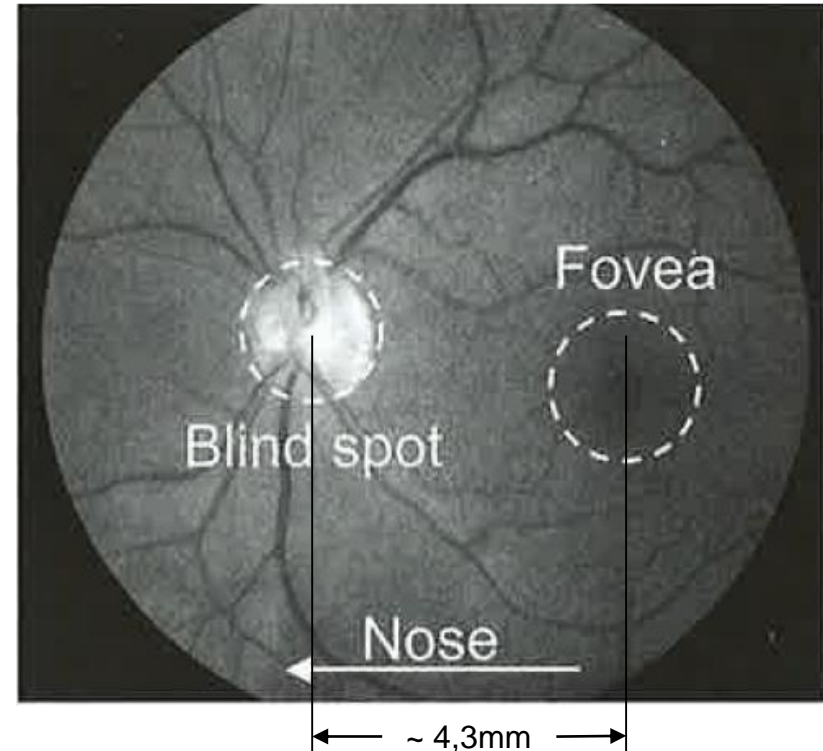


# Die Fovea

Schnitt durch die Fovea:  
 Höchste Packungsdichte →  
 Hexagonale „Wabenstruktur“



[Stone, Vision and Brain]



# Reizleitung Auge → Visueller Cortex

Sehnervenverkreuzung

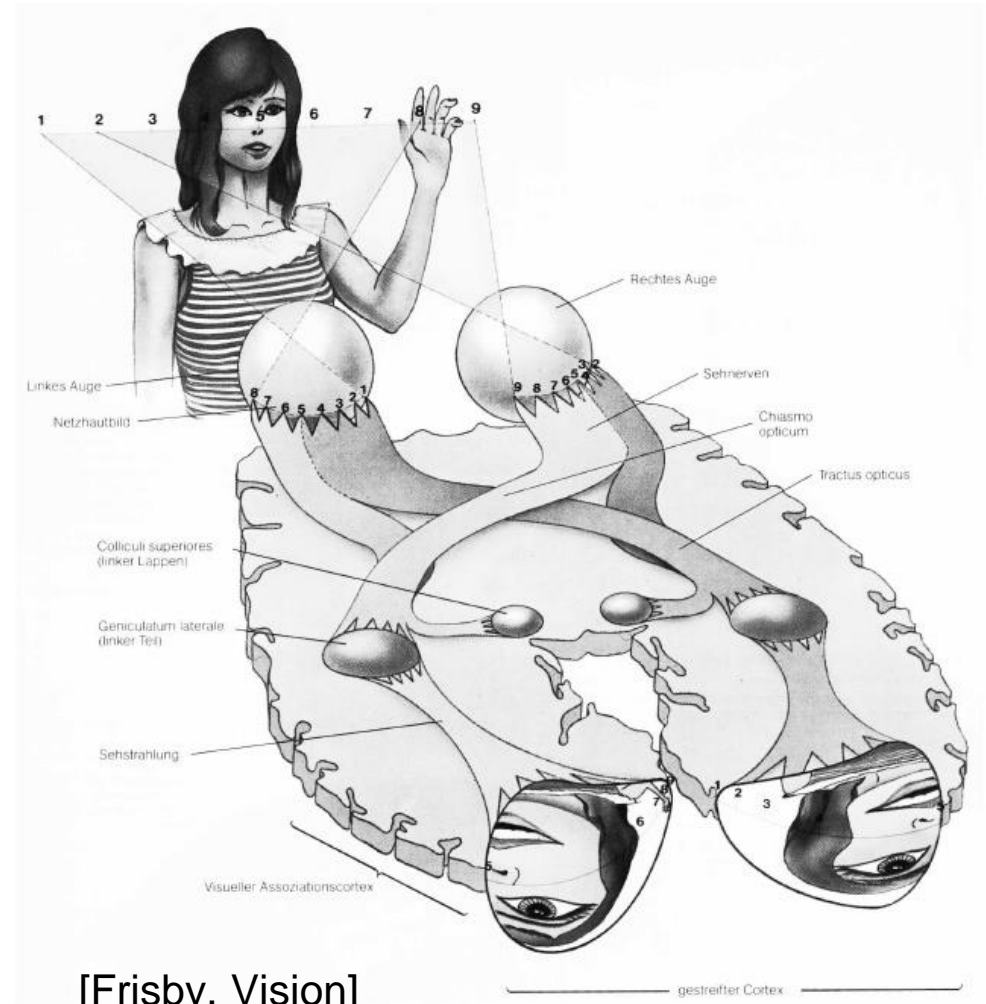
Linke/rechte

Gesichtsfeldhälfte



Rechte/linke

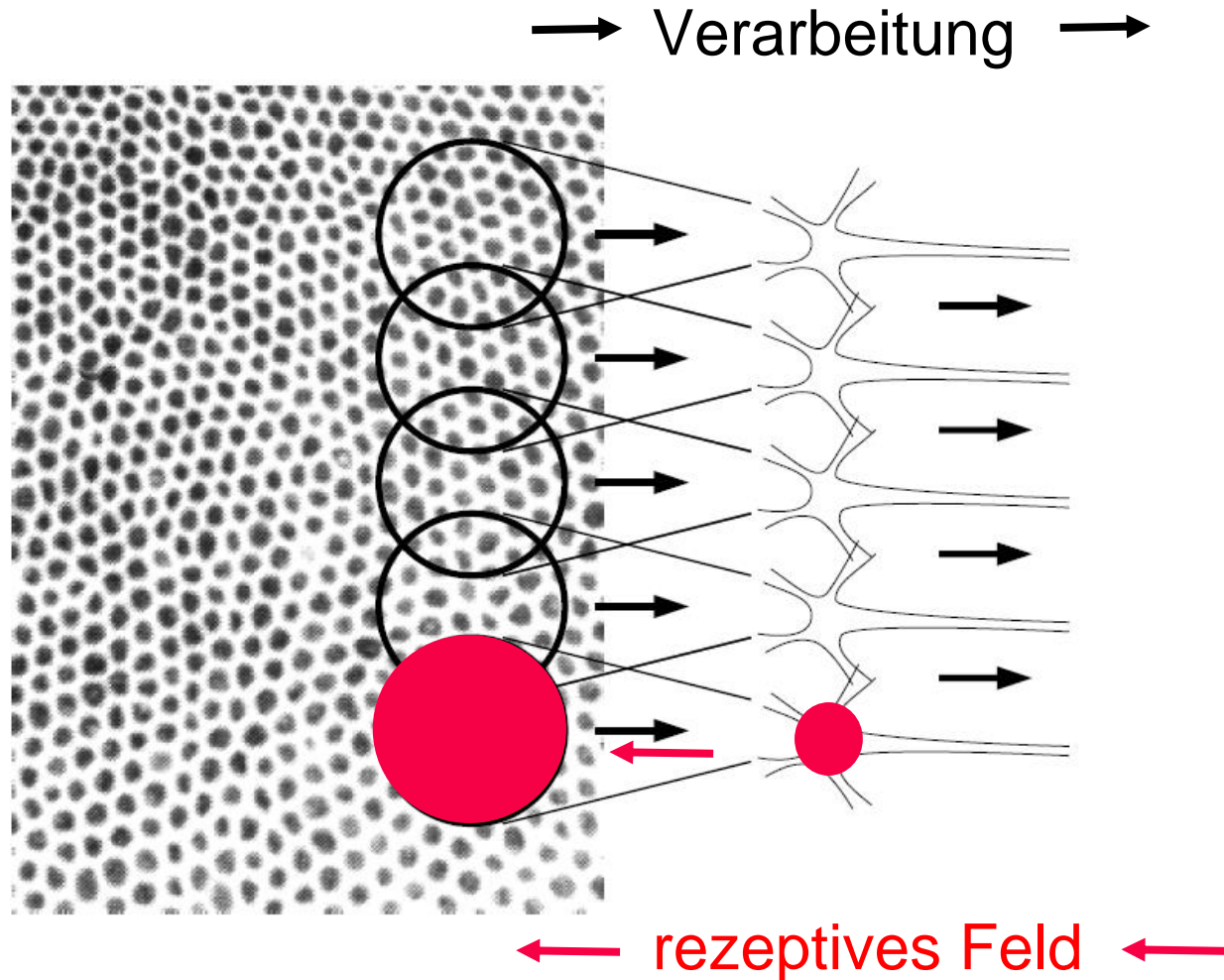
Gehirnhälfte!!!



[Frisby, Vision]



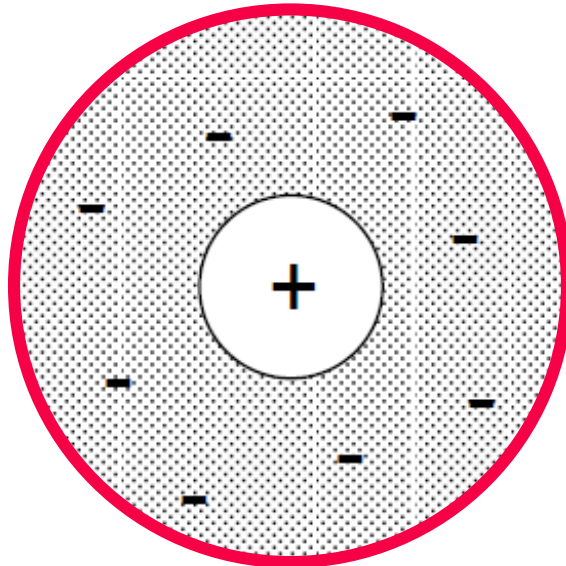
# „Rezeptives Feld“ – was „sieht“ eine Nervenzelle?



# Rezeptive Felder im Visuellen System

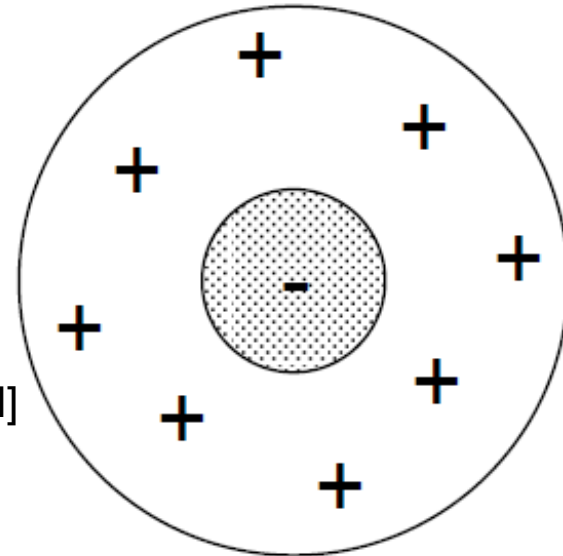
Kreisförmiges rezeptives Feld

## On-Off Zellen



[Hubel & Wiesel]

## Off-On Zellen



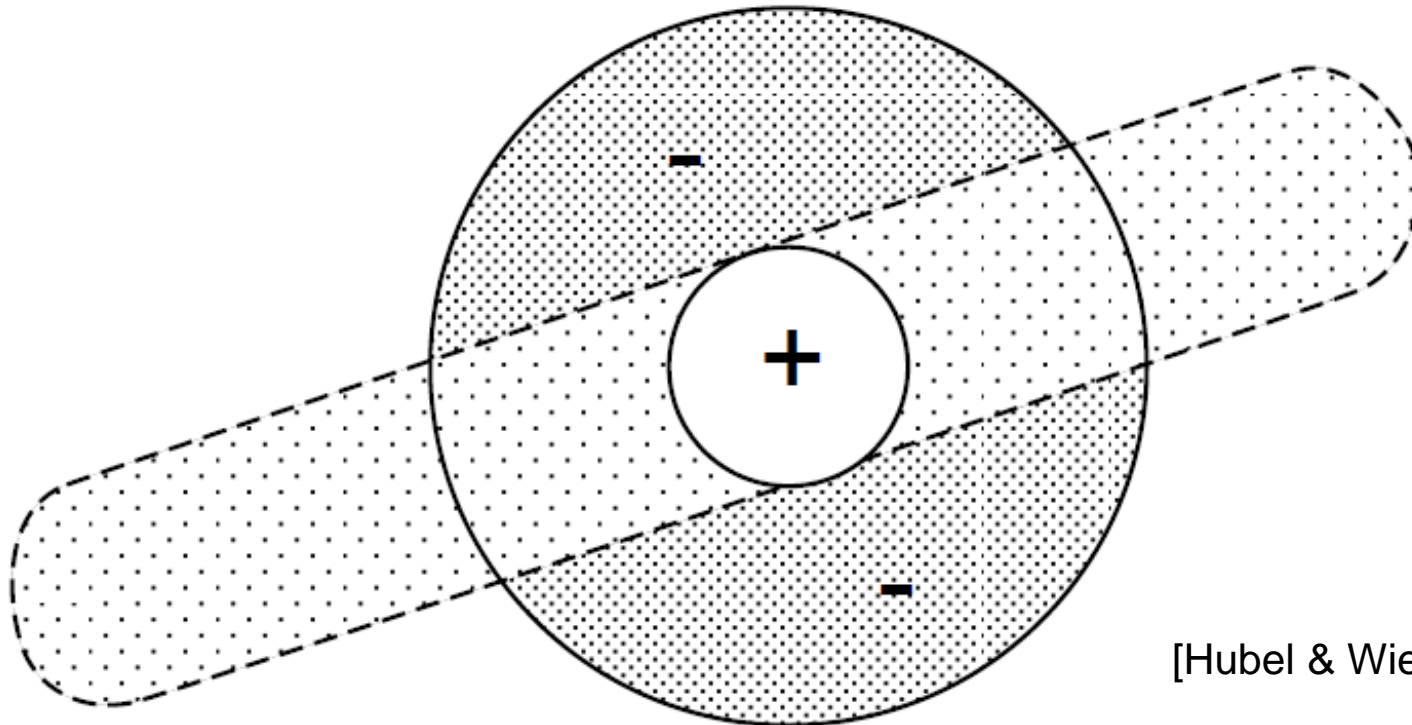
feuern maximal, wenn

helles Zentrum  
dunkler Rand

dunkles Zentrum  
heller Rand

# Reaktion einer On-Off Zelle auf eine helle Linie

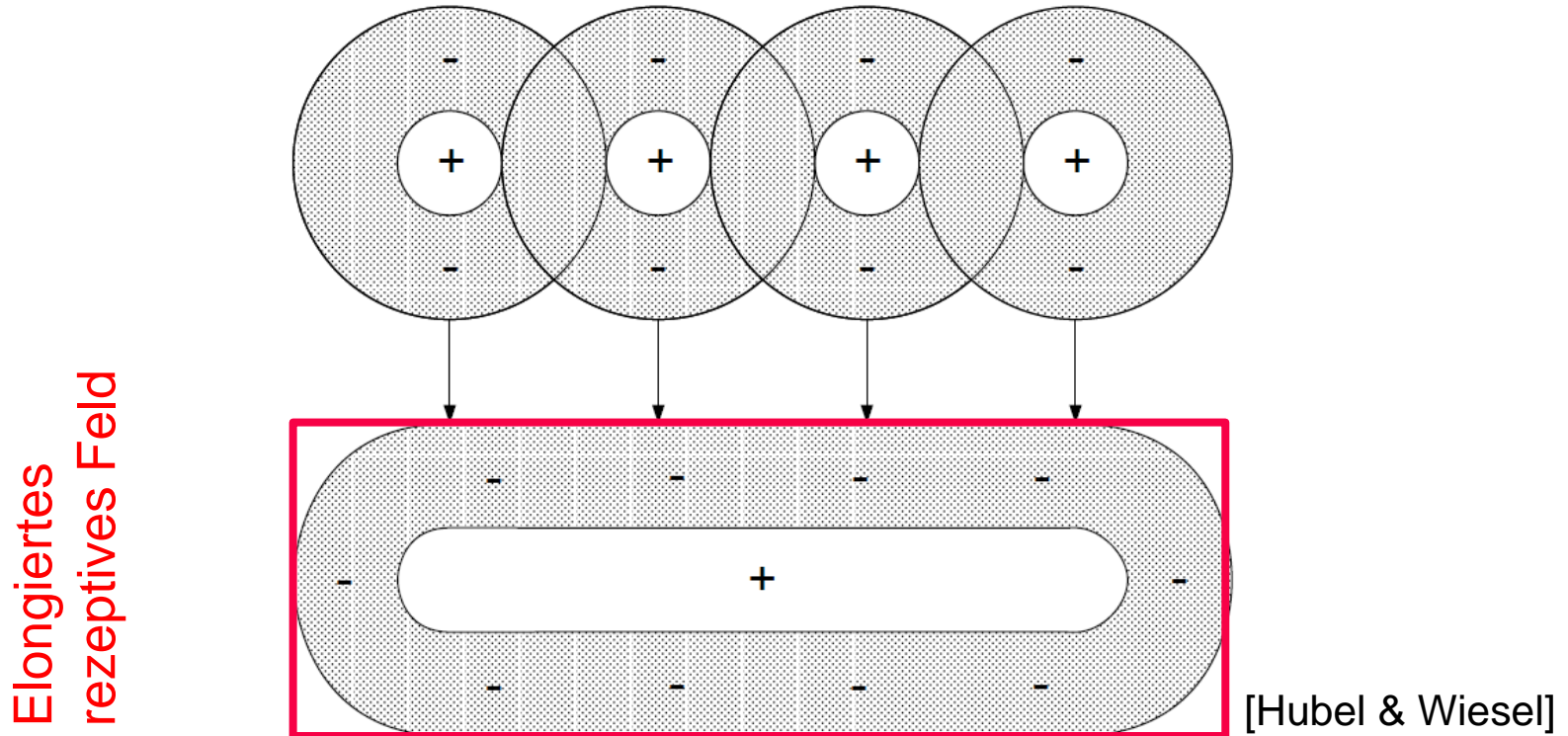
Die Zelle feuert auch, aber nicht maximal



[Hubel & Wiesel]

# Einfache Zelle

Verarbeitet Input von mehreren On-Off / Off-On Zellen

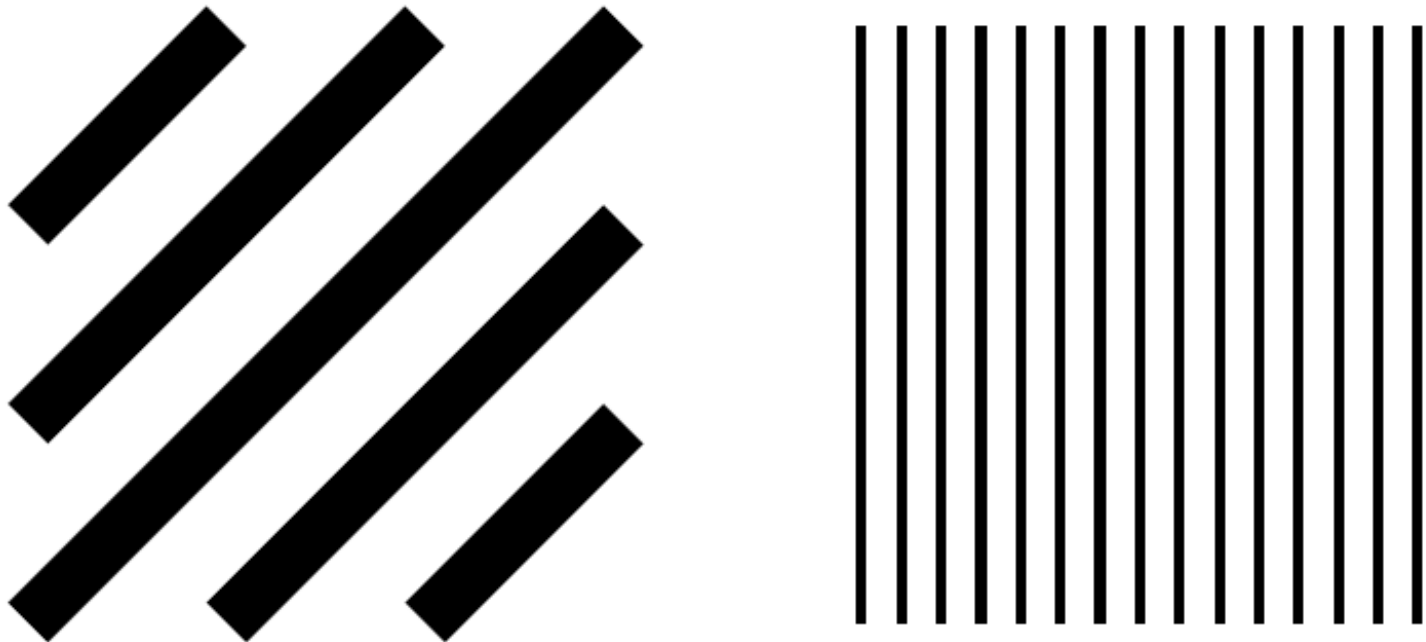


Feuert, wenn eine Linie oder Kante einer bestimmten Orientierung an einer bestimmten Stelle der Retina abgebildet wird

# Komplexe Zelle

Verarbeitet Input von mehreren einfachen Zellen

Rezeptives Feld:  
Gesamte Retina



Feuert, wenn ein Muster an beliebiger Stelle der Retina abgebildet wird: Ortsfrequenz + Orientierung

# Analogie Kamera ↔ Auge

Bildebene

Kugelförmige Retina

Quadratische/rechteckige  
Pixel

Hexagonale Packung  
der Photorezeptoren

Konstante räumliche Auflösung

Variable Auflösung

20-40 Mpixel

Fovea ↔ Peripherie  
~126 MRezeptoren

Farbbild

Farbe nur im Zentrum



# Zusammenfassung: Erste, neurophysiologisch belegte Verarbeitungsschritte

Bedeutung von:

- Auffälligen Punkten
- Linien-/Kantenstücken
- Orientierung

Gesichtsfeldhälften  $\leftrightarrow$  Hemisphären (li/rechte Gehirnhälfte):

- Beide Augen liefern Information in beide Hemisphären
- Lokale Verarbeitung von Stereo-Information

# Komplexe weitere Verarbeitung visueller Information → Kognitive Psychologie

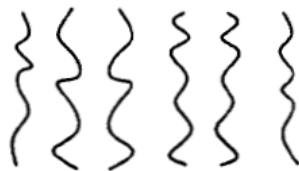
Z.B.: Nachweis von Bottom-Up Gruppierungsmechanismen

a) . . . . . Proximity

b) . . . . . Similarity

c) [ ] [ ] [ ] [ Closure

d)  Continuation

e)  Symmetry

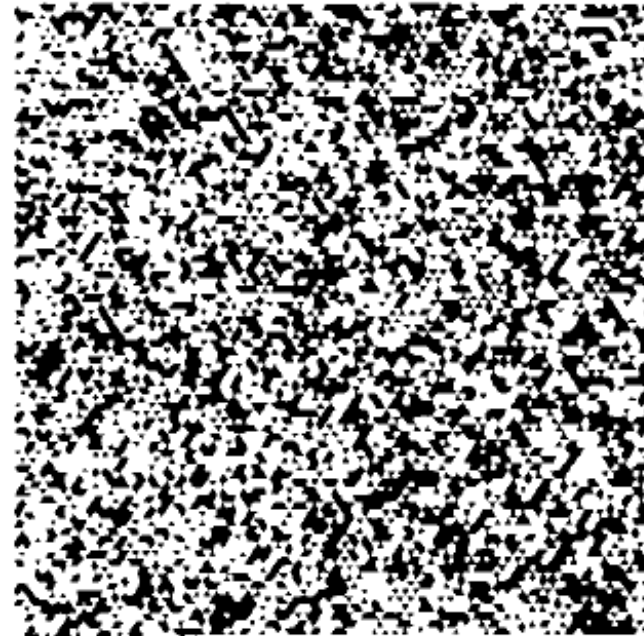
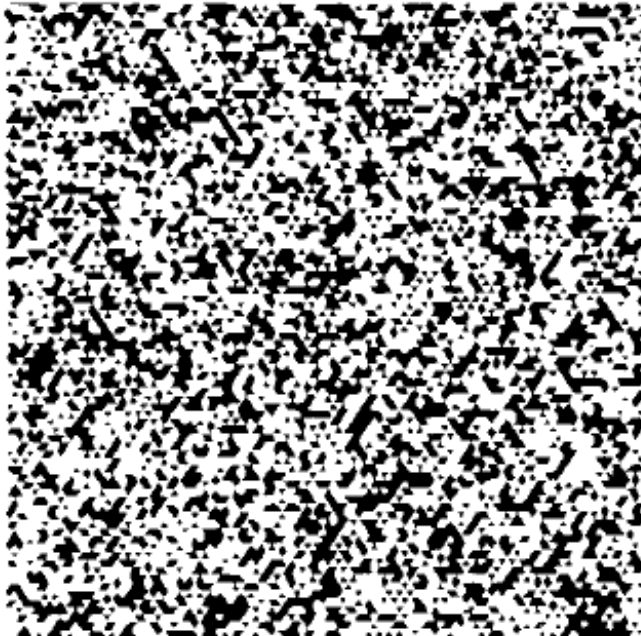
Hierarchie von Gruppierung:

a) > b) > ... > e)

f)  [Lowe]

# Nachweis: Stereo ist ein „visueller Modul“

[B. Julesz – random dot stereogram]



# Ein Test: Was ist das?



[Lowe]

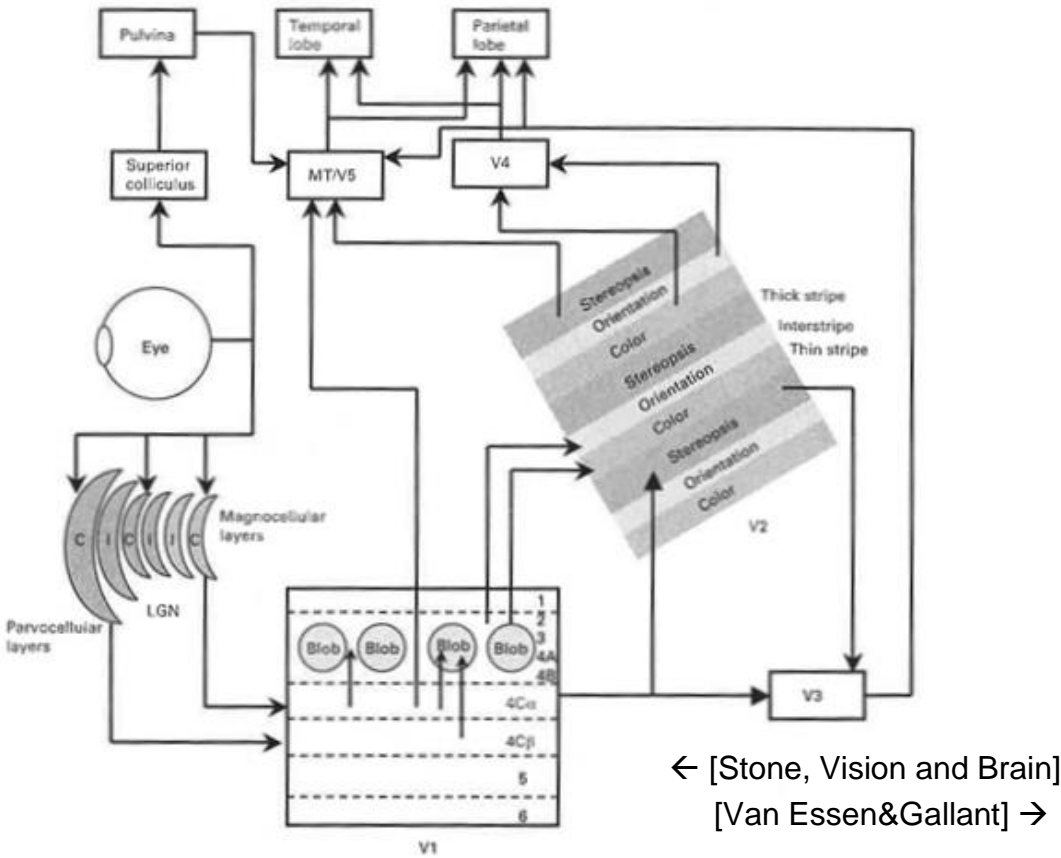
# Ein Test: Was ist das?



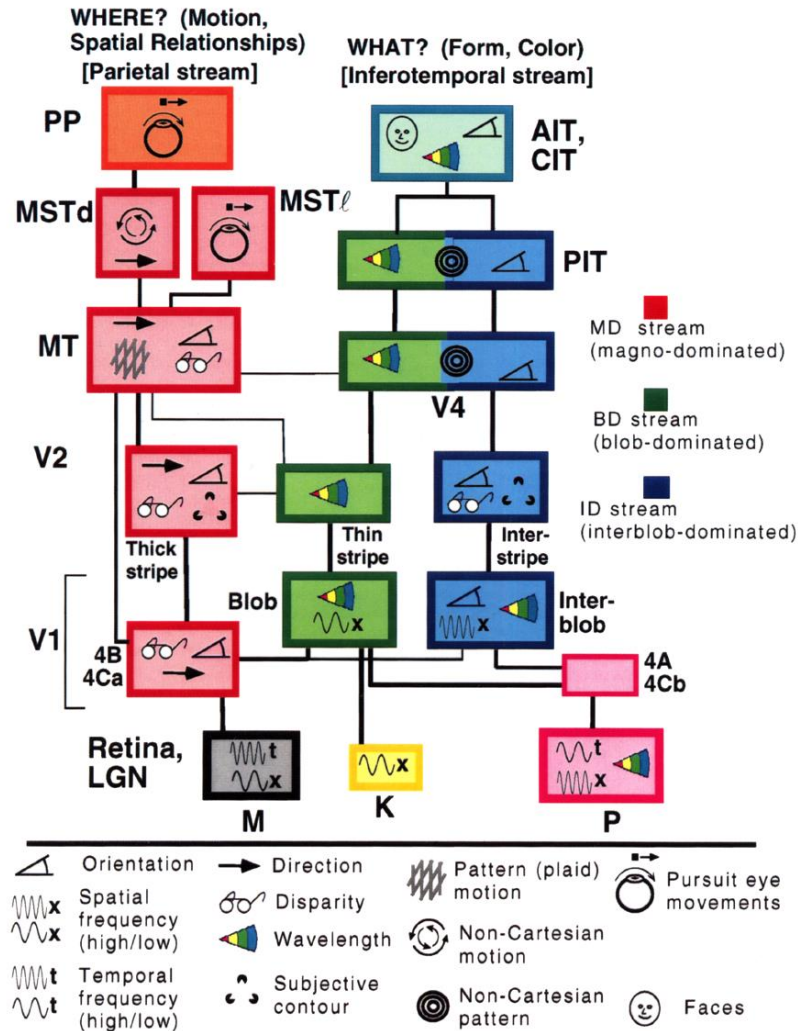
[Lowe]

Bottom-Up / Top-Down Gruppierung !

# Zur Illustration – Stand des Wissens: Visual Pathways, Funktionen von Arealen, FMRI, ...



**Figure 4.7**  
Unpacking the striate cortex. The outputs of different ganglion cells in each eye project to specific layers of the LGNs (C = contralateral, I = ipsilateral). These then project to striate cortex (V1), which project to discrete stripes of V2. These project to areas V3-V5, which are specialized for processing different types of information.



**Figure 2.** Hierarchical Organization of Concurrent Processing Streams in the Macaque Monkey. Boxes represent visual areas, compartments within an area, and subcortical centers; solid lines represent major connections between structures (usually reciprocal pathways); and icons represent characteristic neurophysiological properties. Subcortical streams in the retina and lateral geniculate nucleus (LGN) include the M, K, and P streams (grey, yellow, and pink, respectively). Cortical streams in early and intermediate stages include the MD, BD, and ID streams (red, green, and blue, respectively). The PP complex is shown in orange. The IT complex includes posterior inferotemporal areas (PIT), which are components of the BD and ID streams, and central and anterior areas (CIT and AIT). Pathways are based on information cited in Felleman and Van Essen, 1991, and Van Essen and DeYoe, 1994. Physiological specializations are based on information cited in Felleman and Van Essen, 1987, DeYoe and Van Essen, 1986, and in the present text.