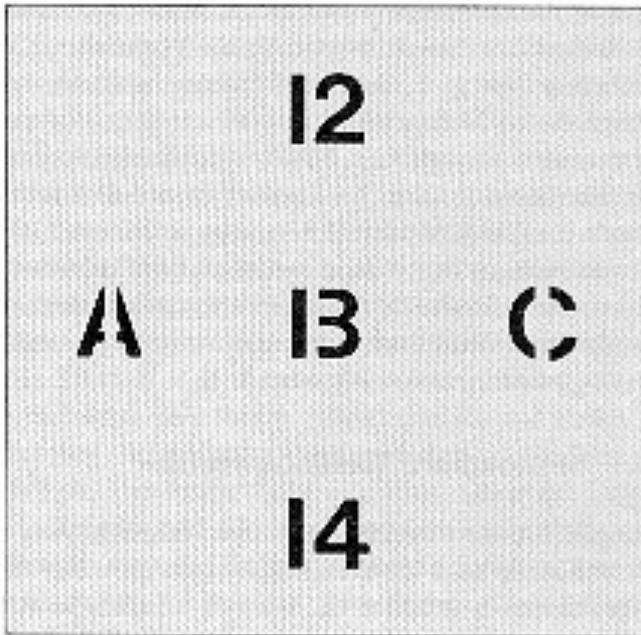


# Neuronale Codierung und Mustererkennung

- Frühe vs. späte Stadien der neuronalen Objekterkennung
- Bottom-up (stimulusgesteuerte) vs. Top-down (konzeptuell beeinflusste) Prozesse

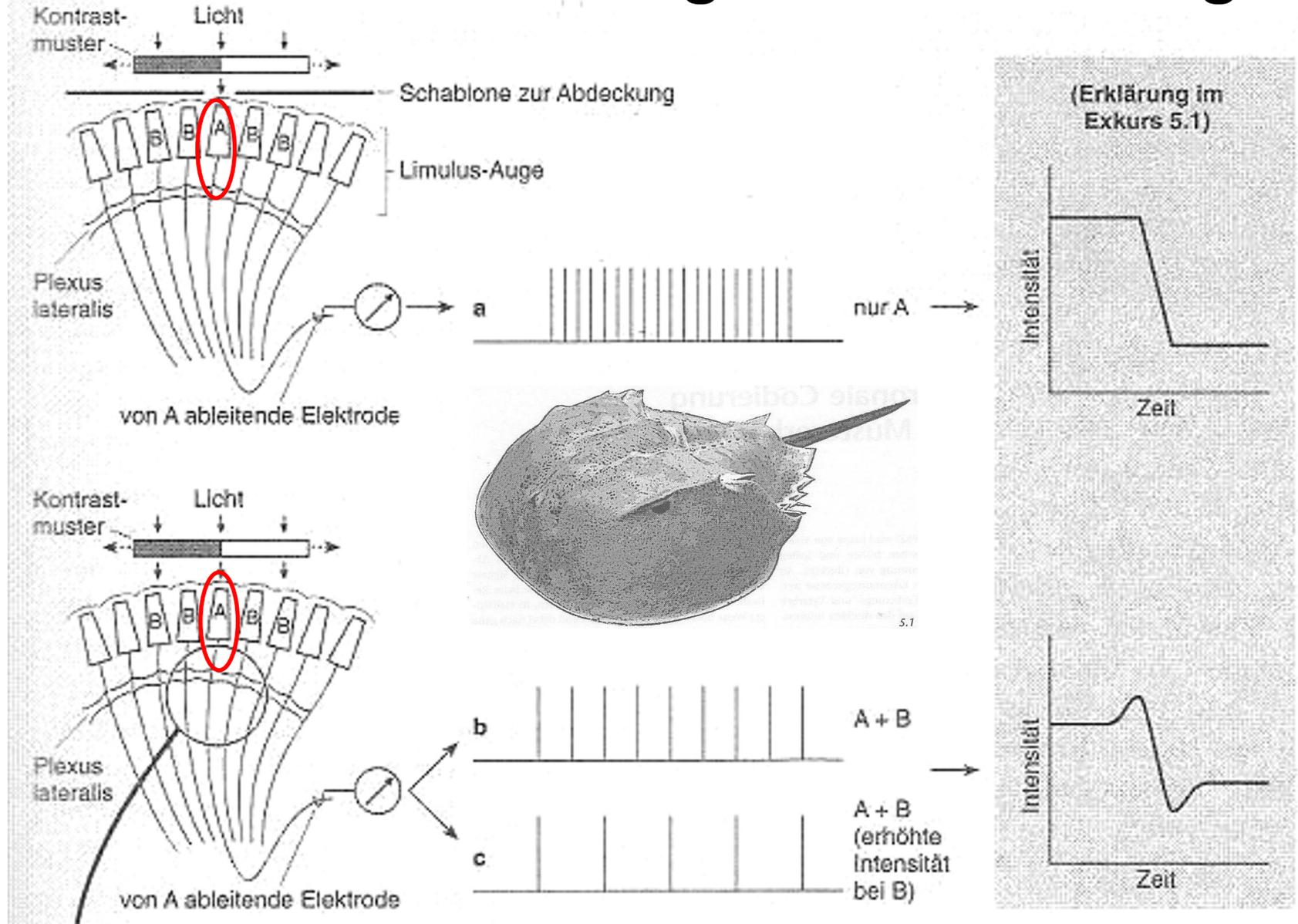


Ein Beispiel für „Top-down“ Prozesse in der Wahrnehmung

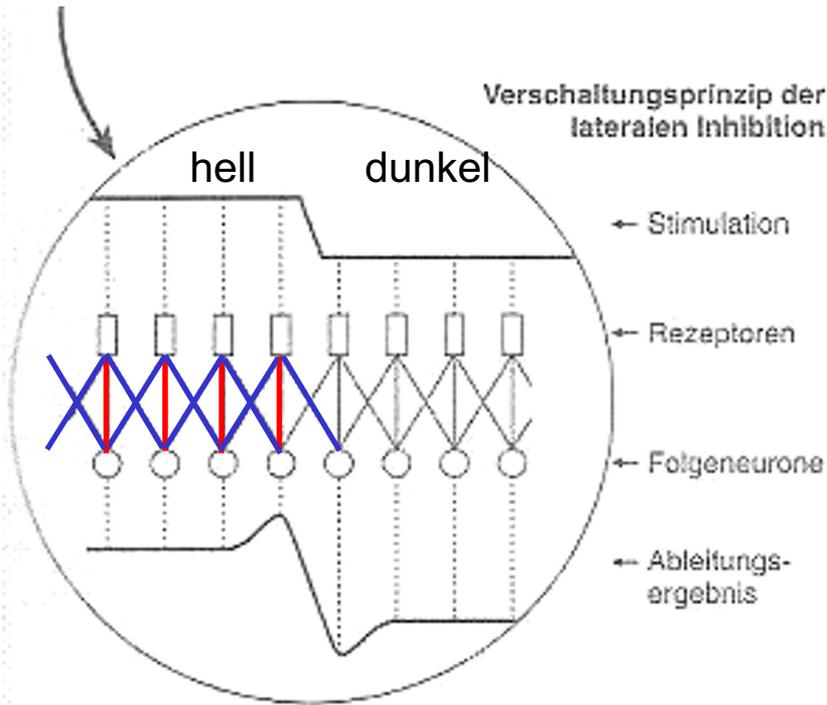
# Laterale Hemmung (Inhibition)

- Hartline & Ratcliff (1957), Studien am Pfeilschwanzkrebs (Limulus)
- Keidel (1971) und Goldstein (1996), Studien am Säugetierauge
- Wichtiger Mechanismus neuronaler Informationsverarbeitung
- Verantwortlich z.B. für Kontrastverschärfung

# Kontrastverschärfung im Limulus-Auge



# Verschaltungsprinzip; Laterale Hemmung



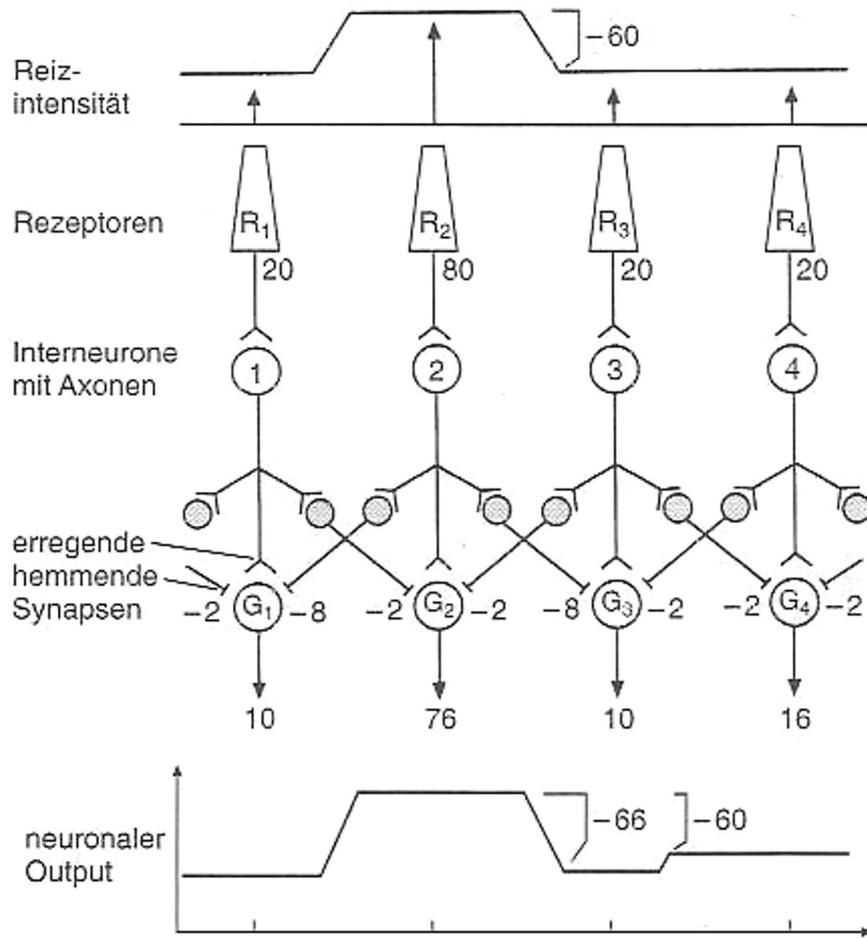
Vertikale erregende Verschaltung

Laterale hemmende Verschaltung

*5.2 Kontrastverstärkung durch laterale Hemmung im Limulus-Auge.*

# Laterale Hemmung (Inhibition)

- **Divergenzprinzip:** Jede Rezeptorzelle ist mit mehreren Neuronen der nächsthöheren Neuronenschicht verbunden
- **Konvergenzprinzip:** Jede Zelle der nächsthöheren Neuronenschicht erhält andererseits Afferenzen von vielen Rezeptoren (im menschl. Auge: ~130 Mio Rezeptoren → ~ 1 Mio Ganglienzellen)



Grundlage der  
*hypothetischen!*  
Zahlenwerte:

Reizintensität:

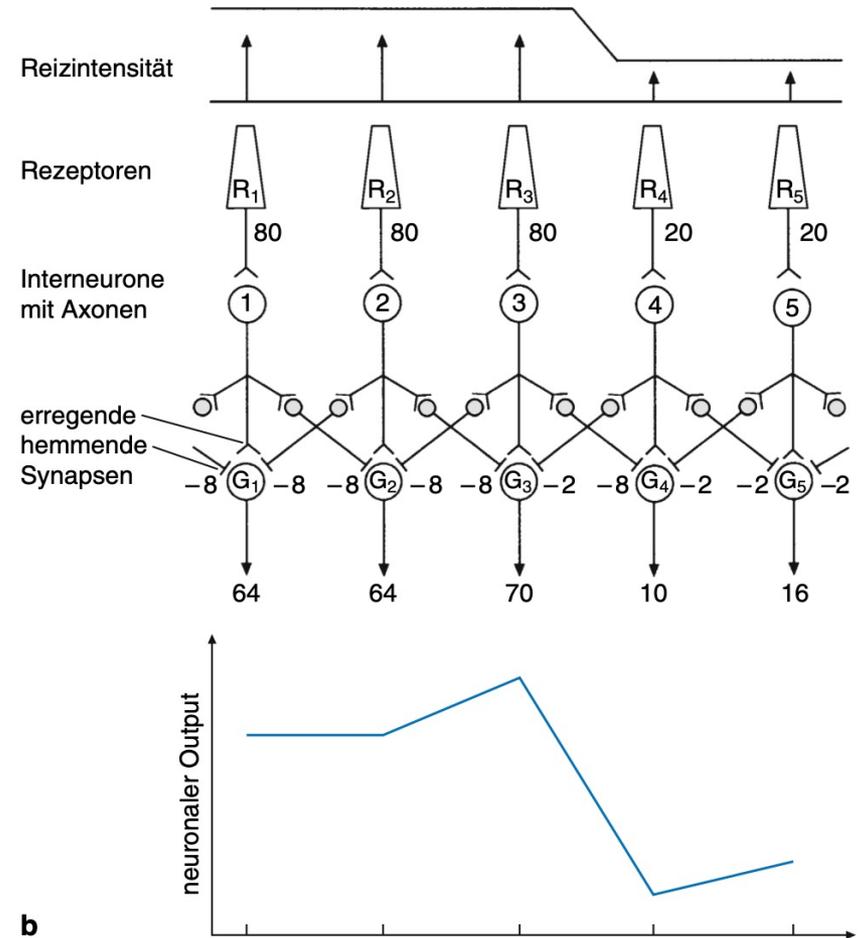
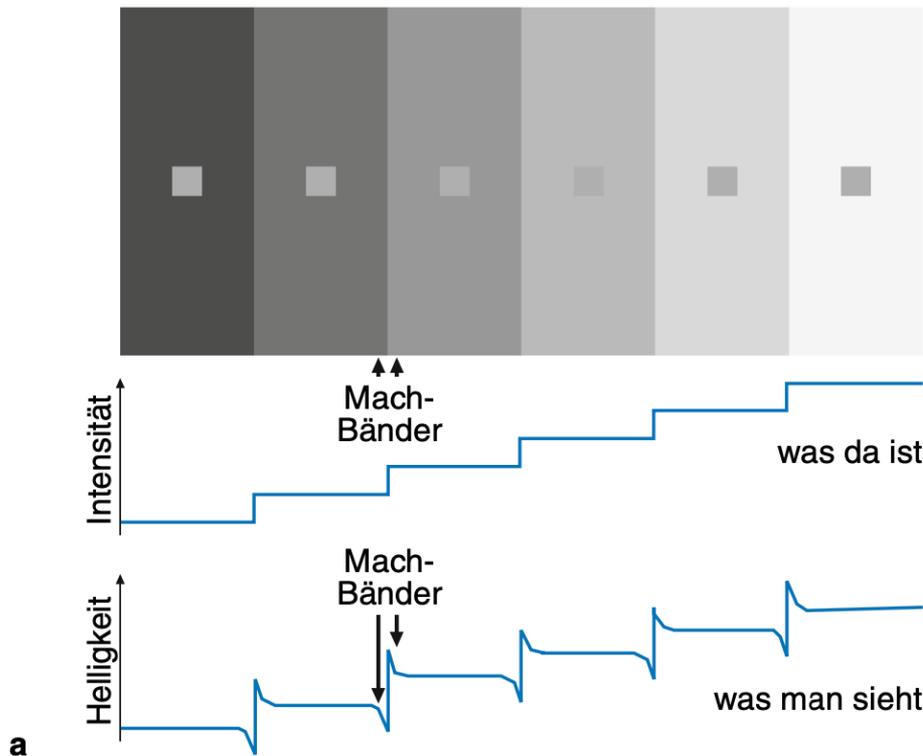
Hoch = 80, Niedrig = 20

Laterale Hemmung sei  
10% der Reizintensität

### 5.3 Prinzipschaltplan der lateralen (Vorwärts-)Hemmung

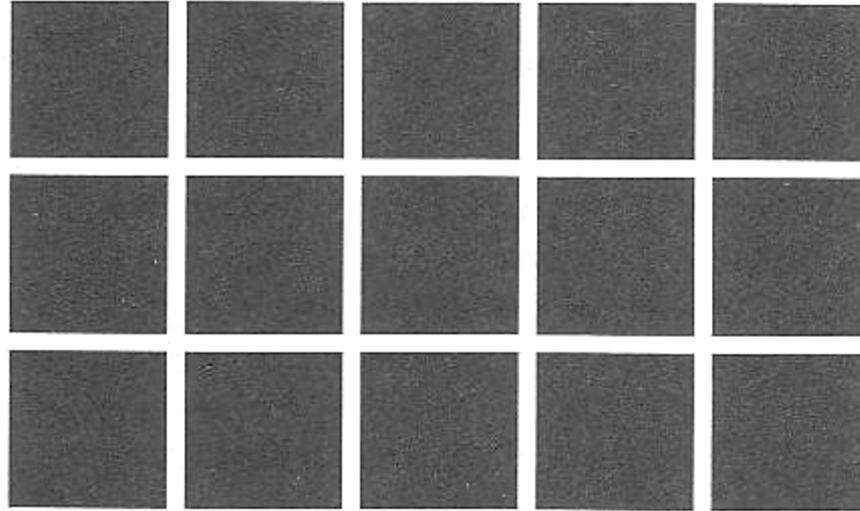
Die auf die Rezeptoren einwirkende Reizstärkeverteilung mit einem bestimmten (Helligkeits-)Maximum wird durch die hemmende Wirkung der lateral weiterleitenden Zwischenneurone in der nächsthöheren Ganglienschicht „versteilt“ (untere Kurve).

# Ein Beispiel für laterale Hemmung: Mach'sche Bänder



**Abb. 3.23 Mach'sche Bänder.** Die an der Streifenvorlage (a) beobachtbaren senkrechten Mach'schen Bänder (die Kanten der homogen gefärbten Flächen erscheinen je nach der Helligkeit der angrenzenden Fläche dunkler oder heller) lassen sich durch die neuronale Verschaltung der lateralen Hemmung (b) erklären

# Das Hering'sche Gitter



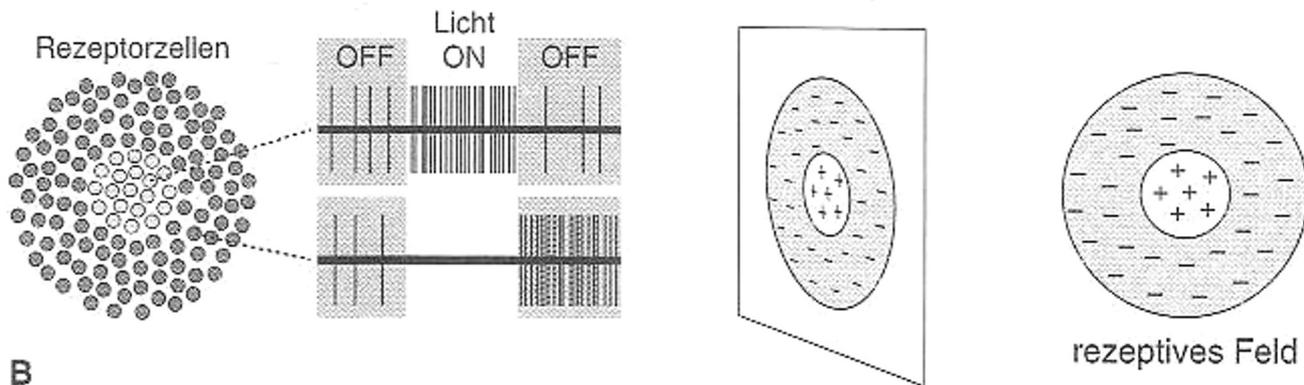
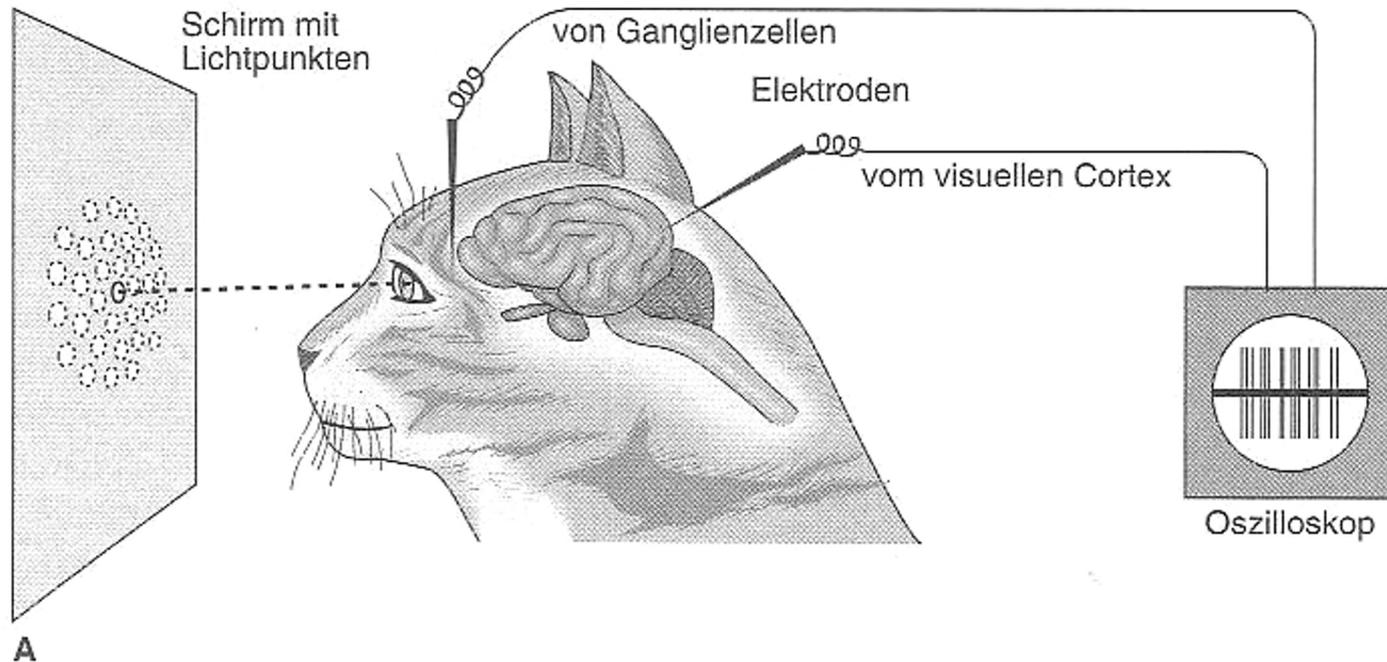
*5.5 Hering'sches Gitter.*

# Rezeptive Felder

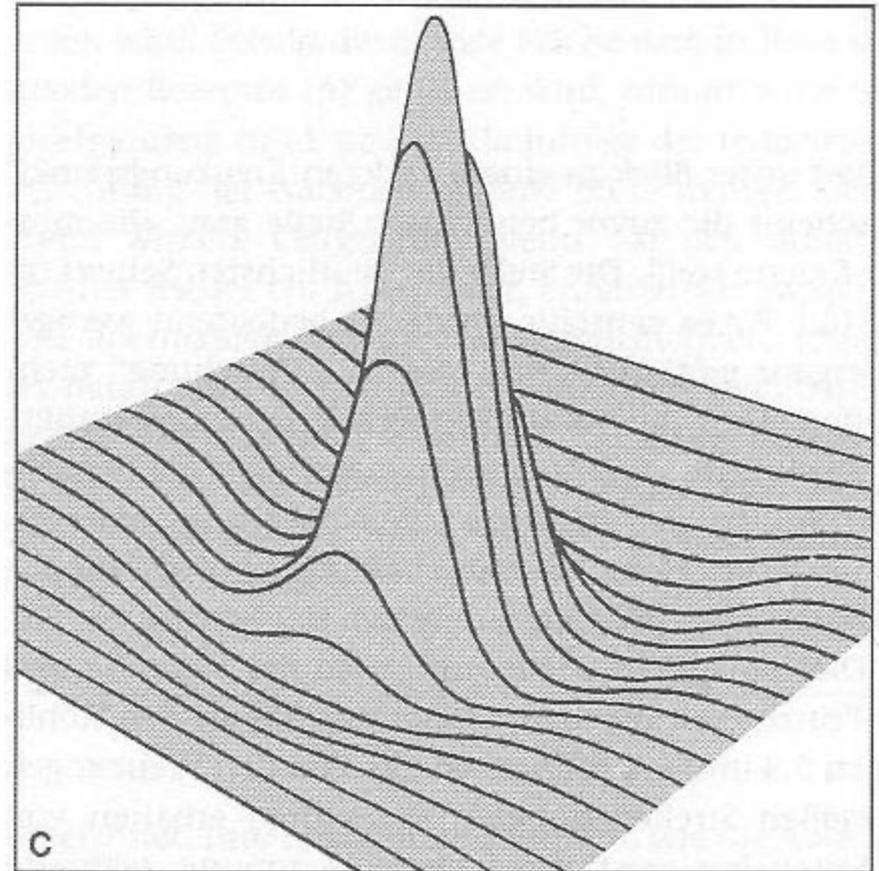
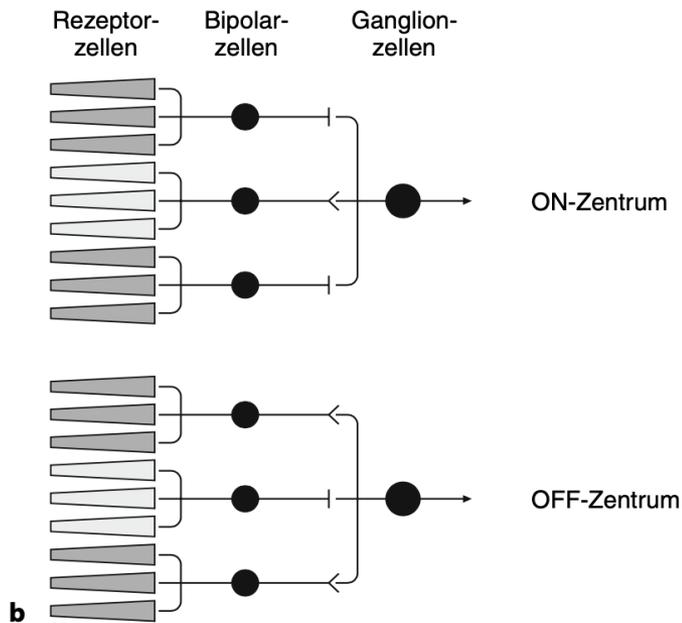
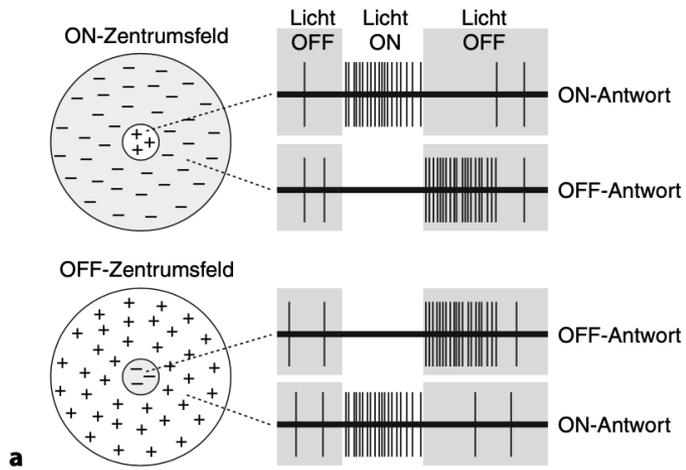
- Jedem Neuron im visuellen System ist ein bestimmter Bereich retinaler Rezeptorzellen zugeordnet, deren Reizung die Reizantwort dieses Neurons verändern kann. Dieser Bereich der Retina (bzw. des Sehfeldes) ist das **rezeptive Feld** des Neurons.
- Welche Reizantwort eine retinale Ganglienzelle zeigt, hängt davon ab ob der Lichtreiz auf den zentralen oder den peripheren Bereich des rezeptiven Feldes trifft (Kuffler, 1953); Hubel & Wiesel (1960er Jahre).

# Rezeptive Felder im visuellen Cortex:

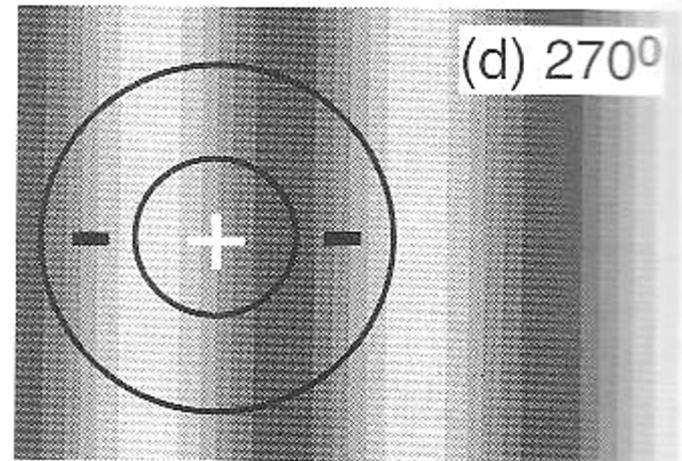
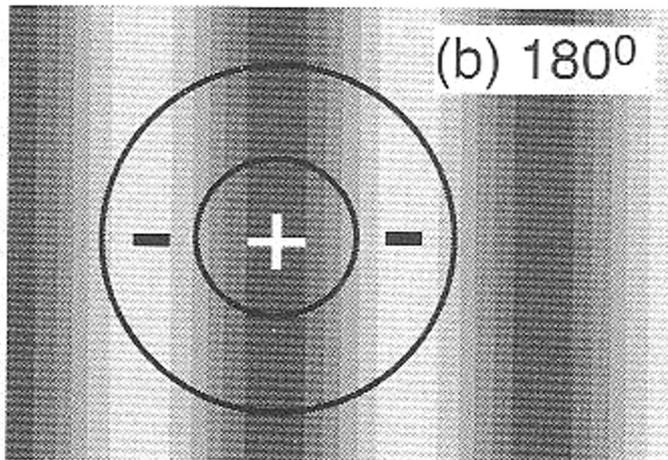
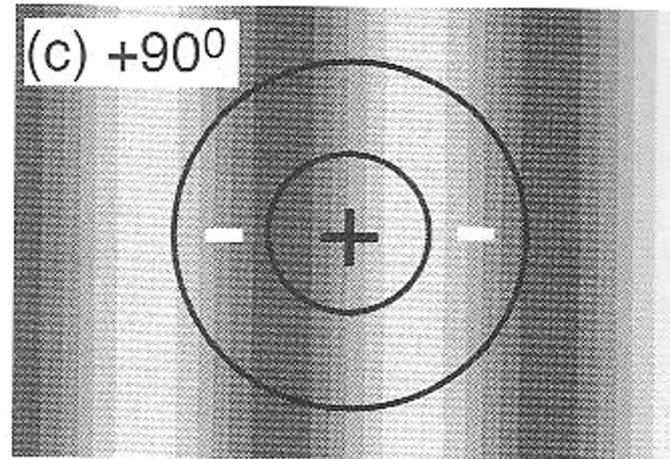
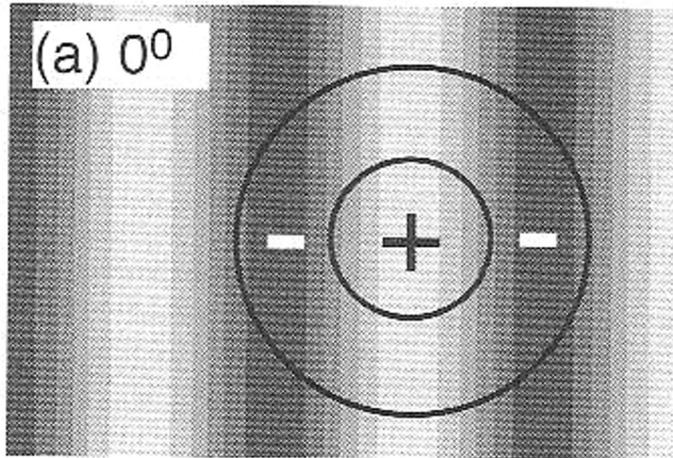
Hubel & Wiesel (1959, 1962, 1965, 1970, 1979)



# Rezeptives Feld eines visuellen Neurons



**Abb. 3.21 Rezeptive Felder** (links in a und b) und die Reaktion des zugehörigen zentralen Neurons (rechts in a) bei Belichtung innerhalb des Zentrums oder innerhalb der Peripherie des rezeptiven Feldes. In b ist oben die Verschaltung für ein ON-Zentrum-Neuron, unten für ein OFF-Zentrum-Neuron gezeigt



Schematic view of Enroth-Cugell and Robson's (1966) experiments in which cat retinal ganglion cells were tested with sine-wave gratings presented at different spatial phases (a-d), relative to the centre of the cell's receptive field (+).

Quelle: Bruce et al. (1996). Visual perception. Hove: Psychology Press.

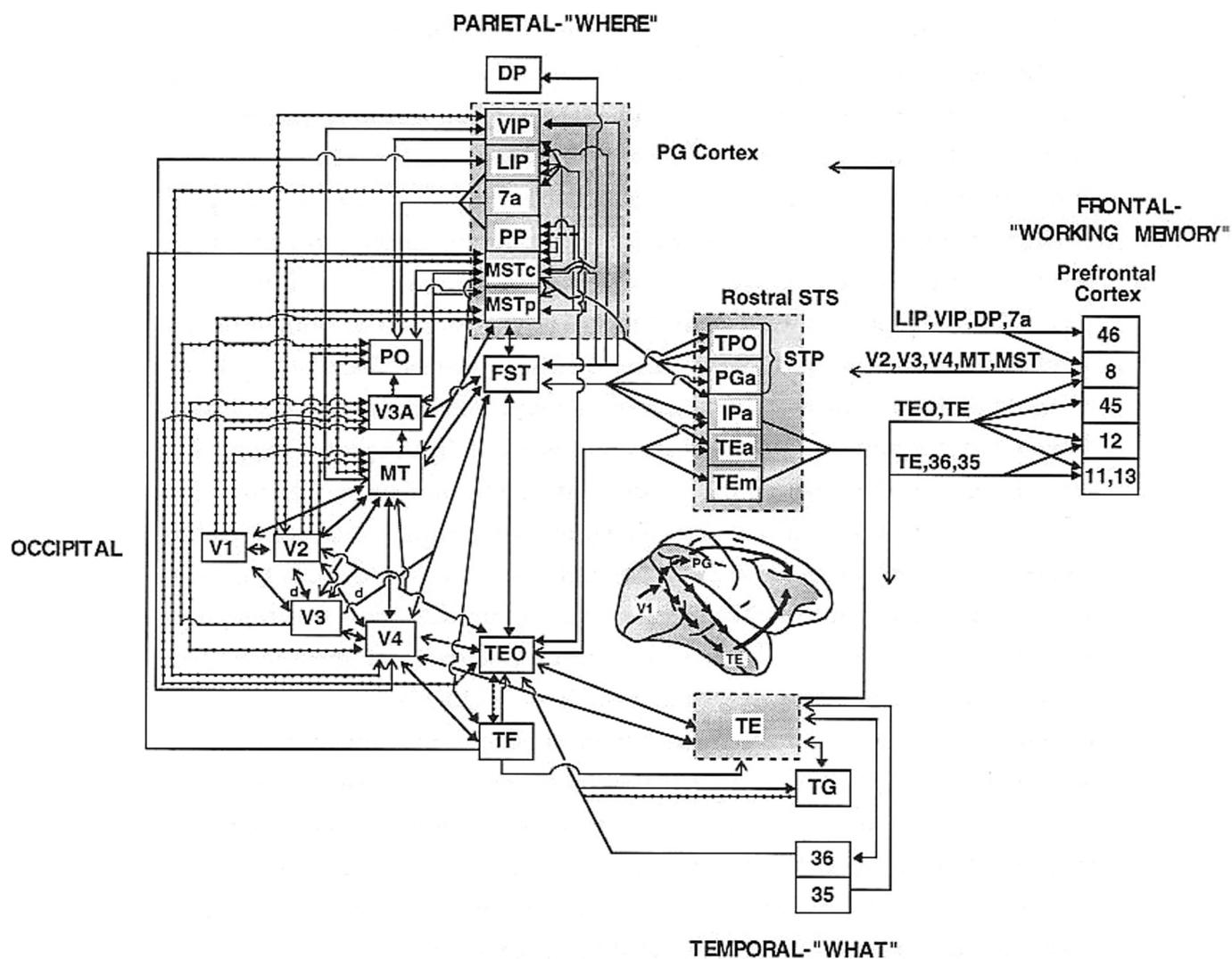


Figure 5.6 Visual processing pathways in monkeys. Solid lines indicate connections from both central and peripheral visual field representations; dotted lines indicate connections from only peripheral representations. Shaded regions on the lateral view of the brain show the extent of cortex represented in the diagram. The locations of many of these areas and their abbreviations are shown in figure 5.1 (updated after Ungerleider, 1995, courtesy, L. Ungerleider).

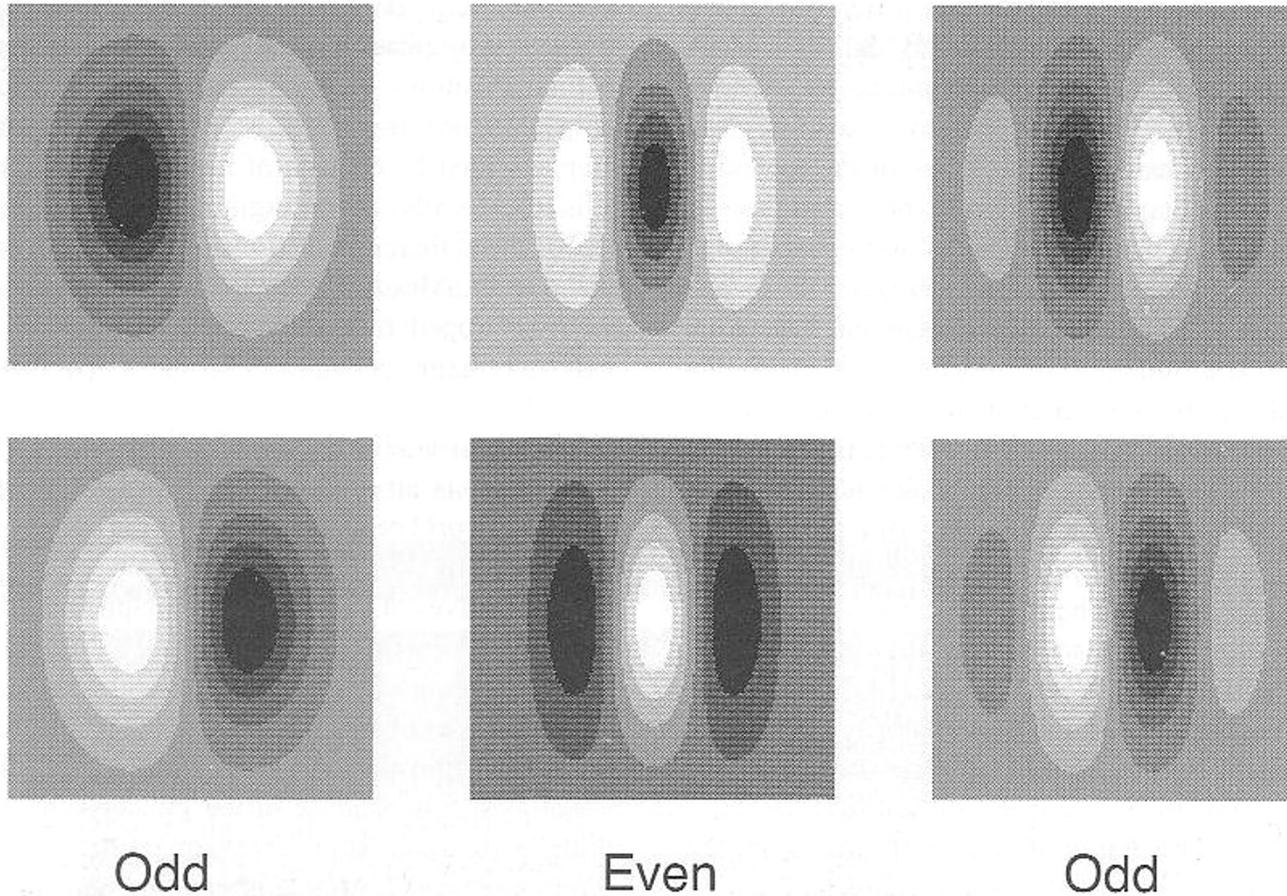
Quelle: Gross, C.G. (1998). Brain. Vision. Memory. Tales in the History of Neuroscience. Cambridge: MIT Press.

# Verarbeitung im visuellen Cortex

Man unterscheidet drei Hauptneuronentypen im visuellen Cortex

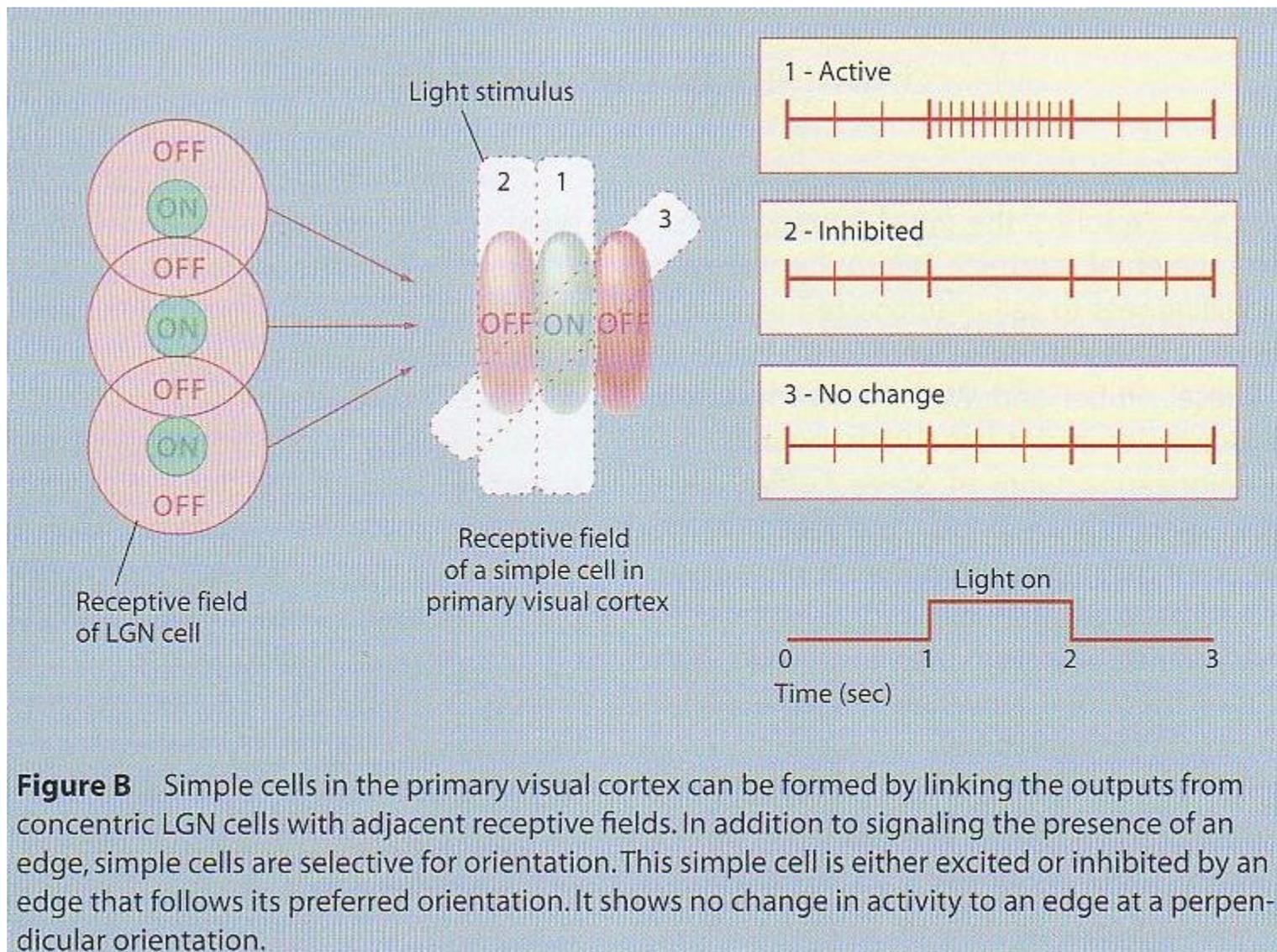
1. **Einfache Zellen** („Detektorzellen“ besitzen meist balkenförmig orientierte rezeptive Felder
2. **Komplexe Zellen** reagieren mit optimaler Reaktion auf Kombinationen, z.B. von Form und Bewegungsrichtung (wie etwa ein Lichtbalken in bestimmter Orientierung und mit bestimmter Bewegungsrichtung)
3. **Hyperkomplexe Zellen** reagieren auf noch komplexere Merkmalskombinationen und werden daher auch als Merkmalsdetektoren bezeichnet.

FIGURE 3.5

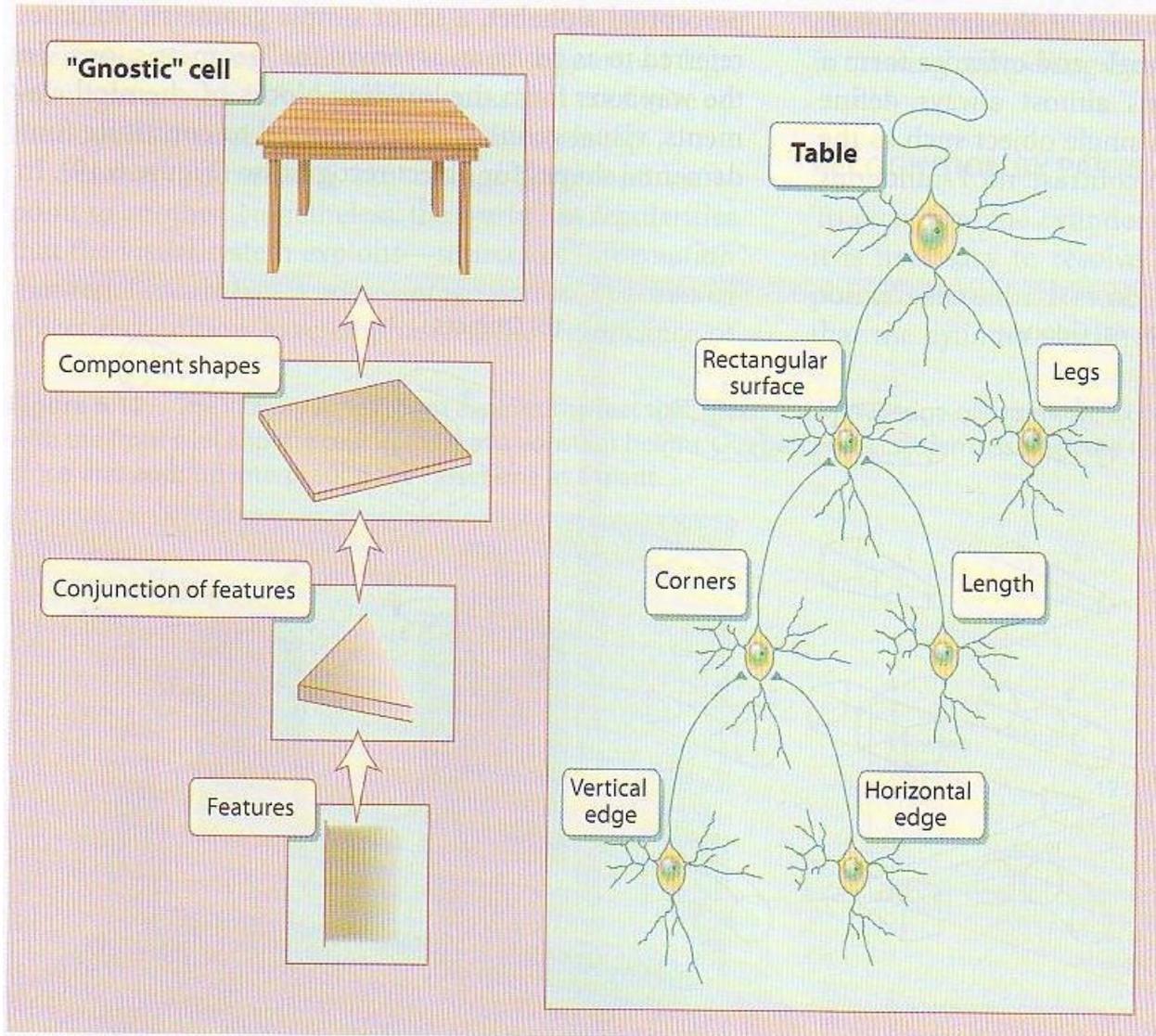


Schematic representation of the variety of receptive field structures discovered for simple cells in the striate cortex. The number of excitatory (light) and inhibitory (dark) regions may be 2, 3, 4, or more, and the orientation of the field might be at any angle, not necessarily vertical. The receptive field may be symmetrical (even) or anti-symmetrical (odd), or may be asymmetrical (not shown). Receptive field size also varies widely from cell to cell, and increases greatly in peripheral vision. The somewhat idealised fields shown here are Gabor functions (discussed in the text, p.56; see also Glossary).

Quelle: Bruce et al. (1996). Visual perception. Hove: Psychology Press.



Quelle: Gazzaniga et al. (2002). Cognitive Neuroscience. New York: Norton.



Quelle: Gazzaniga et al. (2002). Cognitive Neuroscience. New York: Norton.

# „Großmutterzellen“, Ensemble-Kodierung

- Neuronen im inferioren temporalen Cortex und im superioren temporalen Sulcus („Großmutterzellen“) reagieren oft auf enorm spezifische Objekte (z.B. individuelle Gesichter)
- Ist das Erkennen eine Funktion weniger Neuronen oder eine Charakteristik eines grossen Ensembles von Neuronen?

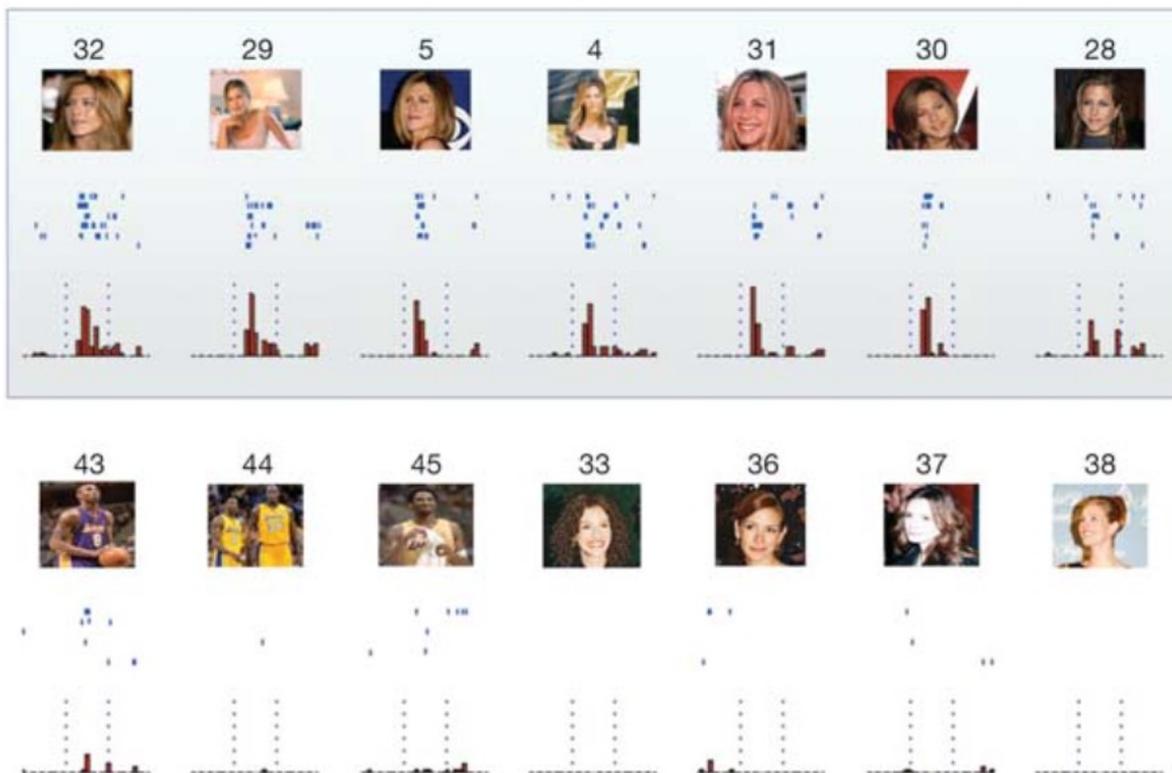
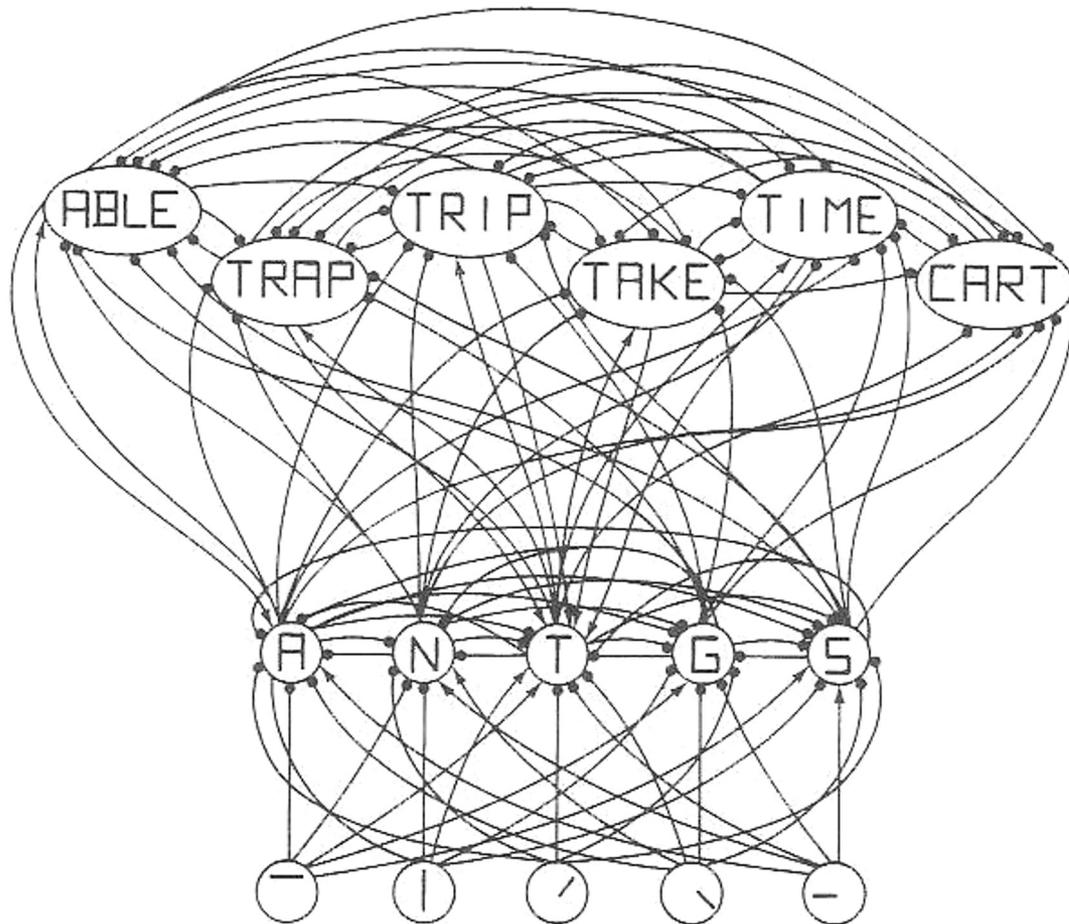
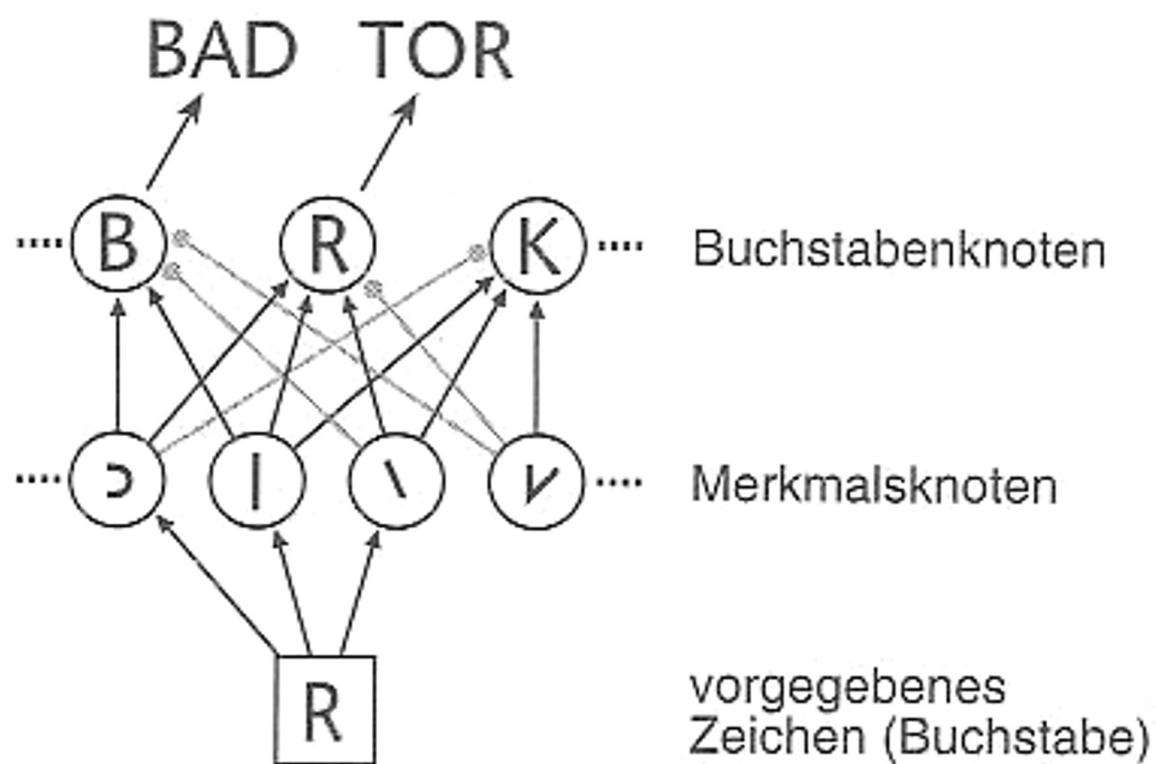


Abb. Response eines Neurons im linken posterioren Hippocampus, das exklusiv nur auf verschiedene Bilder von Jennifer Aniston reagiert. Nach Quiroga et al., 2005, *Nature*.

# Konnektionistische Netzwerkmodelle



5.17 Konnektionistisches Netzwerk (Ausschnitt) zur Worterkennung (von McClelland & Rumelhart, 1981). Die Mustererkennung erfolgt über die Berechnung von Aktivationsverhältnissen. Exzitatorische Verbindungen enden mit einer Pfeilspitze, inhibitorische mit einem Punkt (nach Anderson, 1996).



*5.18 Erweitertes konnektionistisches Netzwerk zwischen einigen Merkmalsknoten (untere Ebene) und Buchstabenknoten (obere Ebene).*

# Kontrollfragen

1. Was versteht man unter lateraler Hemmung, was unter rezeptiven Feldern eines Neurons?
2. Wie läßt sich mit diesen Konzepten die Wahrnehmung von Simultankontrast im Hering'schen Gitter erklären?
3. Diskutieren Sie kurz, inwieweit die sog. Mach'schen Bänder das Phänomen der Kontrastverschärfung durch laterale Hemmung illustrieren.
4. Was unterscheidet ein „On-center“ Neuron von einem „Off-center“ Neuron?
5. Beschreiben Sie Unterschiede zwischen einfachen Zellen, komplexen Zellen, und hyperkomplexen Zellen im visuellen Cortex.
6. Erklären Sie skizzenhaft, wie durch eine kombinierte Verschaltung von einfachen Zellen in mehreren Ebenen der Hierarchie zunehmend komplexere visuelle Objekte neuronal kodiert werden können.
7. Was versteht man unter „Großmutterzellen“? Diskutieren Sie dieses Konzept kritisch als Alternative zu einer sog. „Ensemble-Kodierung“ im Hinblick auf die visuelle Objekterkennung.
8. Was sind konnektionistische Netzwerke?