

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

### Das Ausgangssignal der Netzhaut

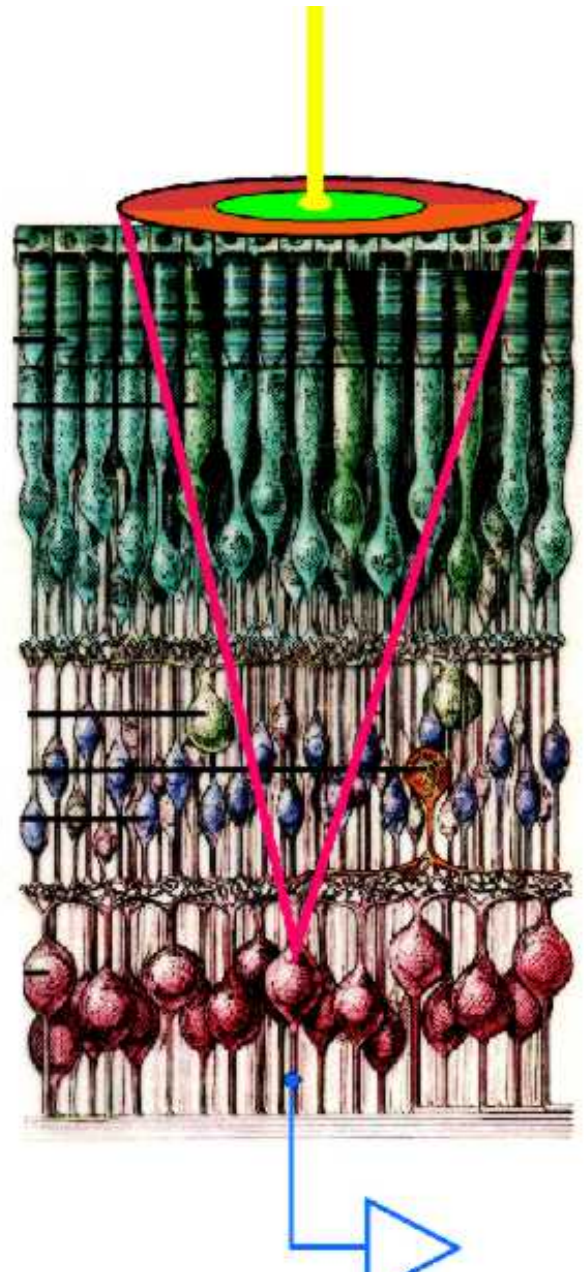
Die Ganglienzellen der Netzhaut produzieren das Ausgangssignal in Form von Aktionspotentialen, die von den Axonen der Ganglienzellen zum Thalamus geleitet werden. Jede Ganglienzelle reagiert auf Belichtung der Photorezeptor-Schicht entsprechend ihrem rezeptiven Feld, das seinerseits durch Längs- und Querverbindungen der Netzhautzellen zustandekommt ([Info](#)).

Das Bild rechts zeigt schematisch das rezeptive Feld einer Ganglienzelle, von der Aktionspotentiale abgeleitet werden. Nur bei Belichtung des zentralen ON-Feldes (grün) reagiert die Zelle mit einer Salve von Aktionspotentialen. Wenn Licht auf das ringförmige OFF-Feld (rot) fällt, wird die Zelle gehemmt.

Dies ist nur ein Beispiel für rezeptive Felder von Ganglienzellen. Bei manchen Zellen liegt das OFF-Feld zentral und wird von einem ON-Ring umgeben. Andere Zellen sind auf Farbwahrnehmung spezialisiert. Farbzellen reagieren auf die Ausleuchtung ihres gesamten rezeptiven Feldes mit Licht einer bestimmten Farbe. Andere Farbzellen reagieren auf Farbkontraste: Sie werden aktiviert durch Belichtung ihres ON-Feldes mit einer Farbe (zB blau), werden aber gehemmt durch Belichtung des OFF-Feldes mit der Komplementärfarbe (zB gelb).

Wieder andere Ganglienzellen sind auf die Detektion von Bewegung spezialisiert. Sie reagieren nur, wenn ein Lichtpunkt von einer bestimmten Seite her in das ON-Feld hineinbewegt wird, nicht wenn der Punkt von der anderen Seite kommt.

Das Ausgangssignal der Netzhaut ist also durch laterale Verschaltungen vorverarbeitet. Insbesondere gibt es zwei unterschiedliche Gruppen von Zellen: solche, die vor allem auf Form und Farben reagieren und solche, die auf die Detektion von Bewegung spezialisiert sind. Die Information aus diesen beiden Populationen von Ganglienzellen werden im weiteren Verlauf der Sehbahn getrennt verarbeitet.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

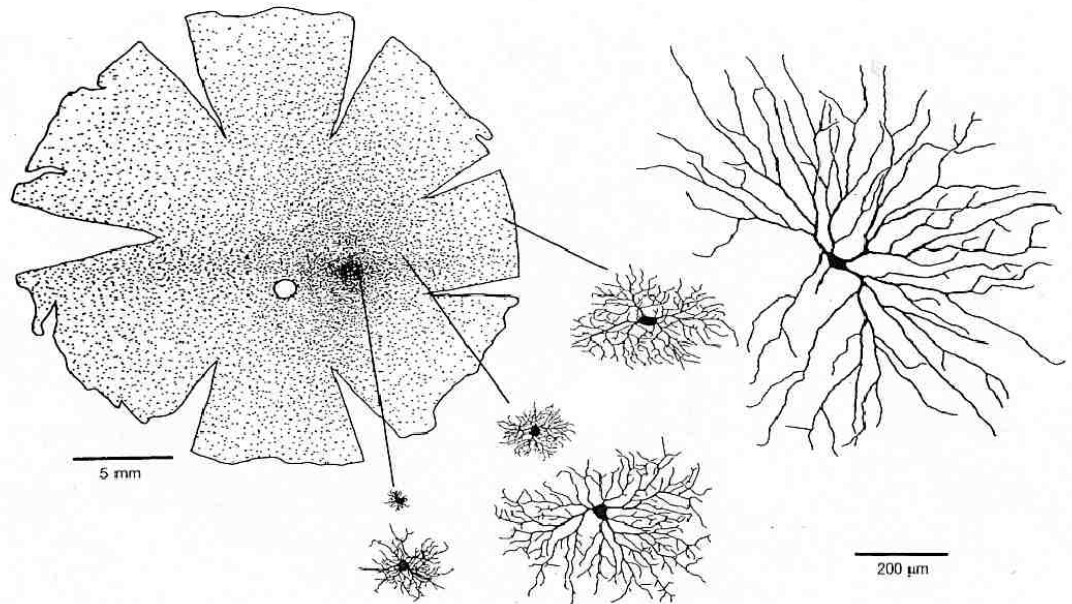
#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

### P- und M-System

Die Verarbeitung der visuellen Information ist in zwei parallelen Systemen angelegt, die anatomisch getrennt durch die gesamte Sehbahn verlaufen. Information zur Form und Farbe von Objekten wird im P-System verarbeitet (**parvozelluläres System**, genannt nach den kleinzelligen Neuronen dieses Systems im Thalamus). Das M-System (**magnozelluläres System**, nach großzelligen Thalamusneuronen) verarbeitet Orts- und Bewegungsinformation, ist aber farbenblind.

Die beiden Systeme haben ihren Ursprung in zwei Populationen von Ganglienzellen (M- und P- oder alpha- und beta-Ganglienzellen). An jeder Stelle der Netzhaut haben M-Ganglienzellen ein weiteres Dendritennetz als P-Ganglienzellen. Die rezeptiven Felder der P-Ganglienzellen sind farbspezifisch. Das kommt dadurch zustande, dass unterschiedliche Zapfentypen mit den ON- und OFF-Bereichen verknüpft sind (zB Rotzapfen mite dem ON- und Grünzapfen mit dem OFF-Bereich). P-Ganglienzellen zeigen die höchste Dichte in der Fovea und stellen mehr als drei Viertel aller Ganglienzellen. M-Ganglienzellen sind nicht farbspezifisch. Bei ihren rezeptiven Feldern ist es entscheidend, von welcher Seite ein Lichtsignal in das ON-Zentrum geführt wird: Sie sind richtungsselektiv - die Grundlage des Bewegungssehens.



Die rezeptiven Felder der P-Ganglienzellen sind farbspezifisch. Das kommt dadurch zustande, dass unterschiedliche Zapfentypen mit den ON- und OFF-Bereichen verknüpft sind (zB Rotzapfen mite dem ON- und Grünzapfen mit dem OFF-Bereich). P-Ganglienzellen zeigen die höchste Dichte in der Fovea und stellen mehr als drei Viertel aller Ganglienzellen. M-Ganglienzellen sind nicht farbspezifisch. Bei ihren rezeptiven Feldern ist es entscheidend, von welcher Seite ein Lichtsignal in das ON-Zentrum geführt wird: Sie sind richtungsselektiv - die Grundlage des Bewegungssehens.

Quelle: Peichl, L. (1990) Prinzipien der Bildverarbeitung in der Retina. Optometrie 3/90, 3-12.

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

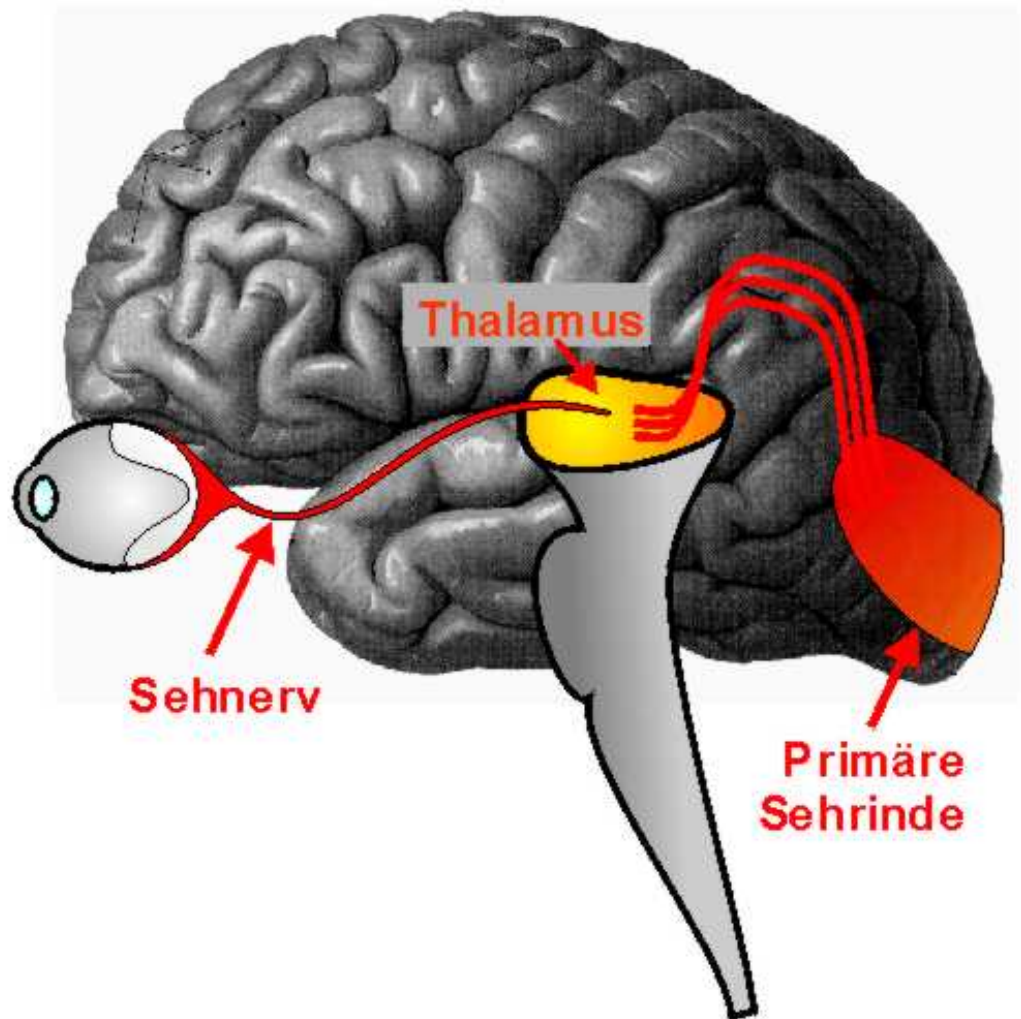
#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

### Der Verlauf der Sehbahn

Die Axone der Ganglienzellen verlassen das Auge im "blinden Fleck" und sammeln sich im **Sehnerv**. Jeder Sehnerv hat ca 1 Millionen Fasern. Diese Zahl kommt dadurch zustande, daß die meisten der etwa 130 Millionen Photorezeptoren - nämlich die außerhalb der Fovea - mit 120:1 auf eine Ganglienzelle konvergieren.

Im weiteren Verlauf wird der Sehnerv zum **optischen Trakt** und erreicht den Thalamus, die zentrale Verschaltungsstation aller Sinnesinformation auf dem Weg zum Bewußtsein (zur Großhirnrinde). Die Axone der Ganglienzellen enden im **Corpus geniculatum laterale** (seitlicher Kniehöcker), einem Kern auf der Hinterseite jeder der beiden Thalamushälften. Hier bilden die Axone Synapsen mit Thalamuszellen, deren Fasern durch die **Sehstrahlung** (Radiatio optica) in den Okzipitallappen ziehen und dort in der **primären Sehrinde** auf Rindenneurone verschaltet sind.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

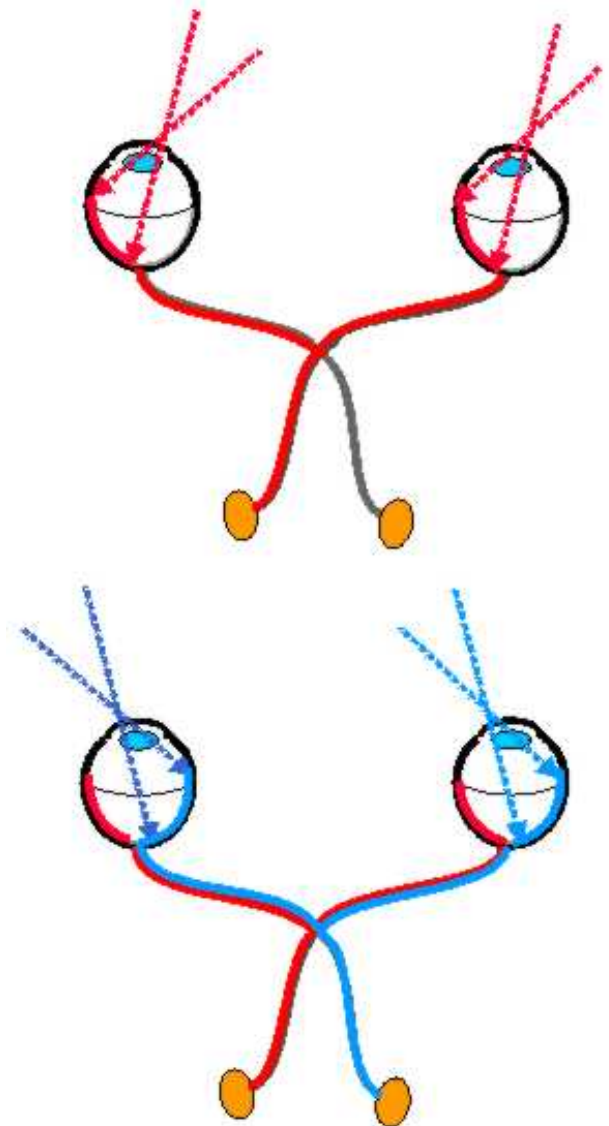
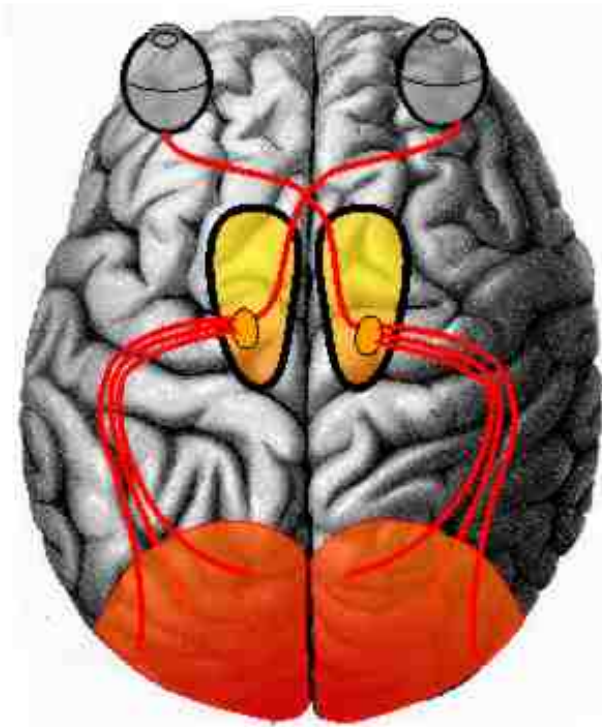
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

## Das Chiasma opticum



In der Ansicht von oben erkennt man, daß die Sehnerven der beiden Augen überkreuz Richtung Thalamus verlaufen. Im **Chiasma**

**opticum** werden die Axone der Ganglienzellen sortiert: Die Axone, die von der linken Seite der beiden Netzhäute kommen, werden in die linke Gehirnhälfte geführt. Aus der rechten Seite der Netzhäute verlaufen die Axone zur rechten Gehirnhälfte. Dadurch wird das Bild des in Blickrichtung rechts liegenden Teils unserer Umwelt dem linken Thalamus zugeführt (rechts oben). Die beiden Seiten unseres Sehfeldes werden also in der jeweils kontralateralen Gehirnhemisphäre verarbeitet.

---

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Januar 2005

[s.frings@zoo.uni-heidelberg.de](mailto:s.frings@zoo.uni-heidelberg.de)

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

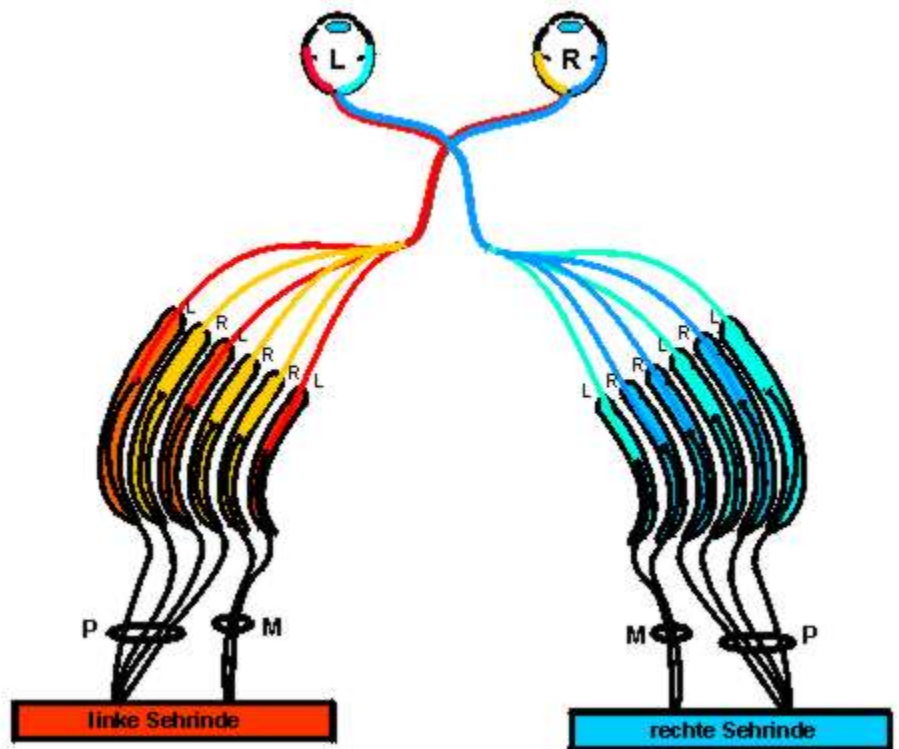
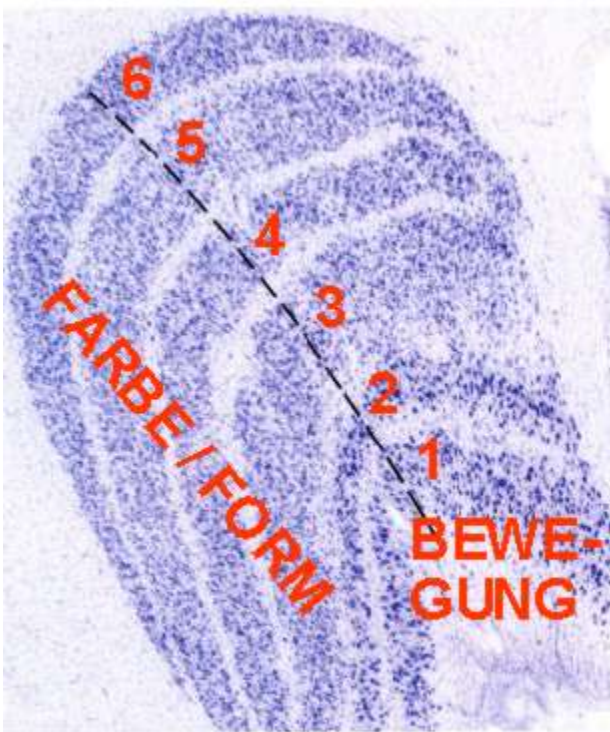
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

#### Verschaltung im Thalamus



In den seitlichen Kniehöckern des Thalamus (Corpus geniculatum laterale) enden die Axone der Ganglienzellen in Synapsen mit Thalamuszellen. Ein Querschnitt durch einen Kniehöcker zeigt sechs Schichten, zwei davon mit etwas größeren Zellen (magnozelluläre Schichten 1 + 2), die anderen mit kleineren Zellen (parvozelluläre Schichten 3 - 6). In den magnozellulären (M-) Schichten enden Axone von Ganglienzellen, die auf die Detektion von Bewegung spezialisiert sind. Ganglienzellen mit Farben- und Forminformation enden in den parvozellulären (P-) Schichten. Die Abbildung rechts zeigt, daß die Axone aus dem rechten und linken Auge jeweils in anderen Schichten des Kniehöckers enden. Vor allem für das stereoskopische Sehen (das räumliche Sehen auf kurze Distanz) ist es wichtig, die Information von beiden Augen getrennt zu halten. Die Axone der Neurone des Kniehöckers verlaufen zur primären Sehrinde. Dabei bleiben die Axone aus den M- und P-Schichten getrennt.

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

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

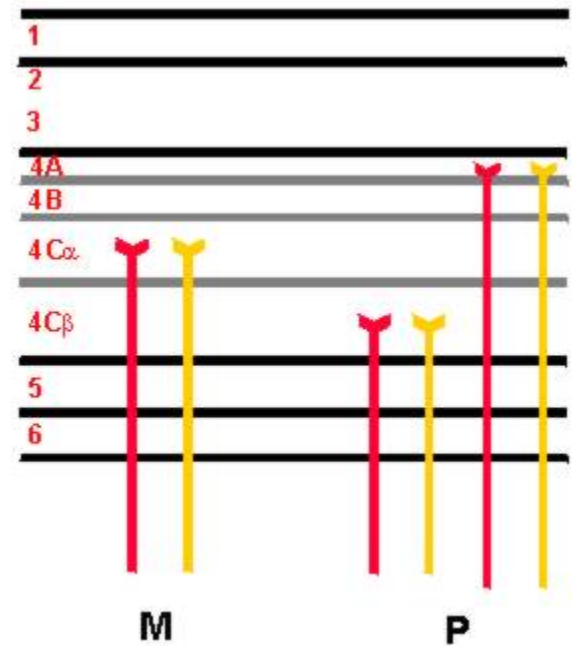
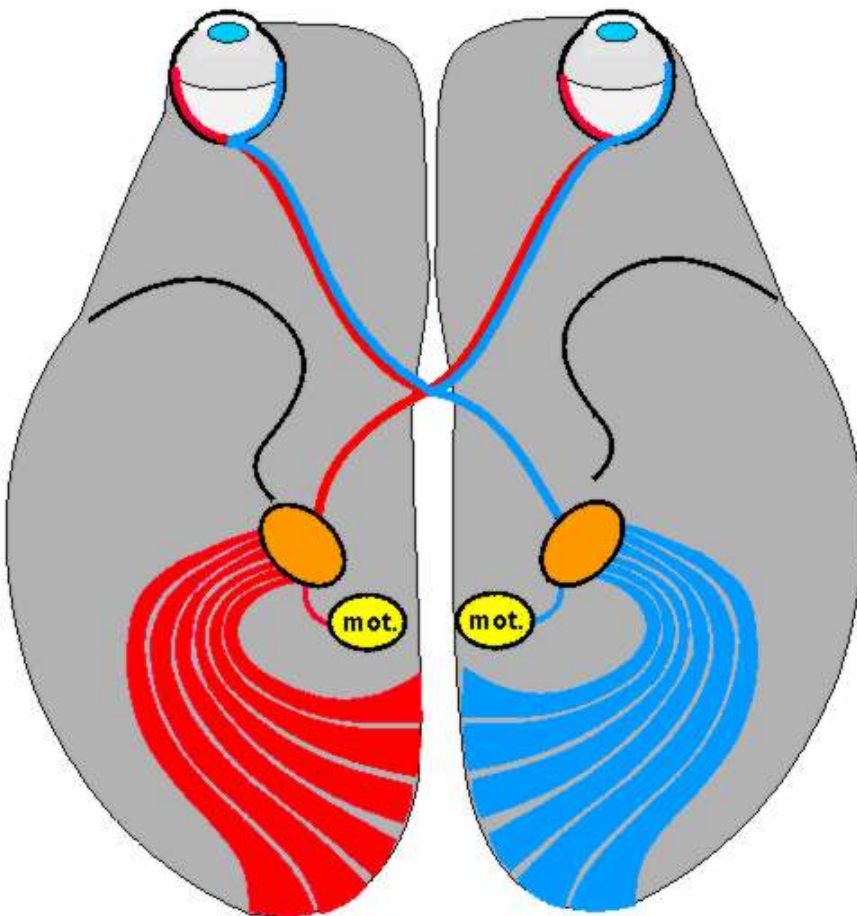
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

### Die primäre Sehrinde



Aus dem Thalamus verläuft die Sehbahn durch die weit aufgefächerte "Sehstrahlung" (Radiatio optica) in den Okzipitallappen und mündet dort in der **primären Sehrinde**. Zusätzlich verlaufen Thalamusaxone zu motorischen Zentren (Colliculus superior, Area praetectalis; gelb), die lichtgesteuerte Bewegungen im Auge (Pupillenreflex, reflektorische Blickmotorik) kontrollieren.

Wie andere Bereiche der Großhirnrinde zeigt auch die primäre Sehrinde eine sechsfache Schichtung. Die meisten Thalamusneurone enden in Schicht 4, die bei der Sehrinde besonders dick ist. Die Axone aus den magnozellularen Schichten des ipsilateralen Kniehöckers haben ihre Synapsen in Schicht 4C $\alpha$ , so daß die Bewegungsinformation von beiden Augen in dieser Cortexschicht ankommt. Der P-Weg mit der Farbe/Form-Information endet vor allem in Schicht 4C $\beta$ , zum Teil aber auch in Schicht 4A.

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

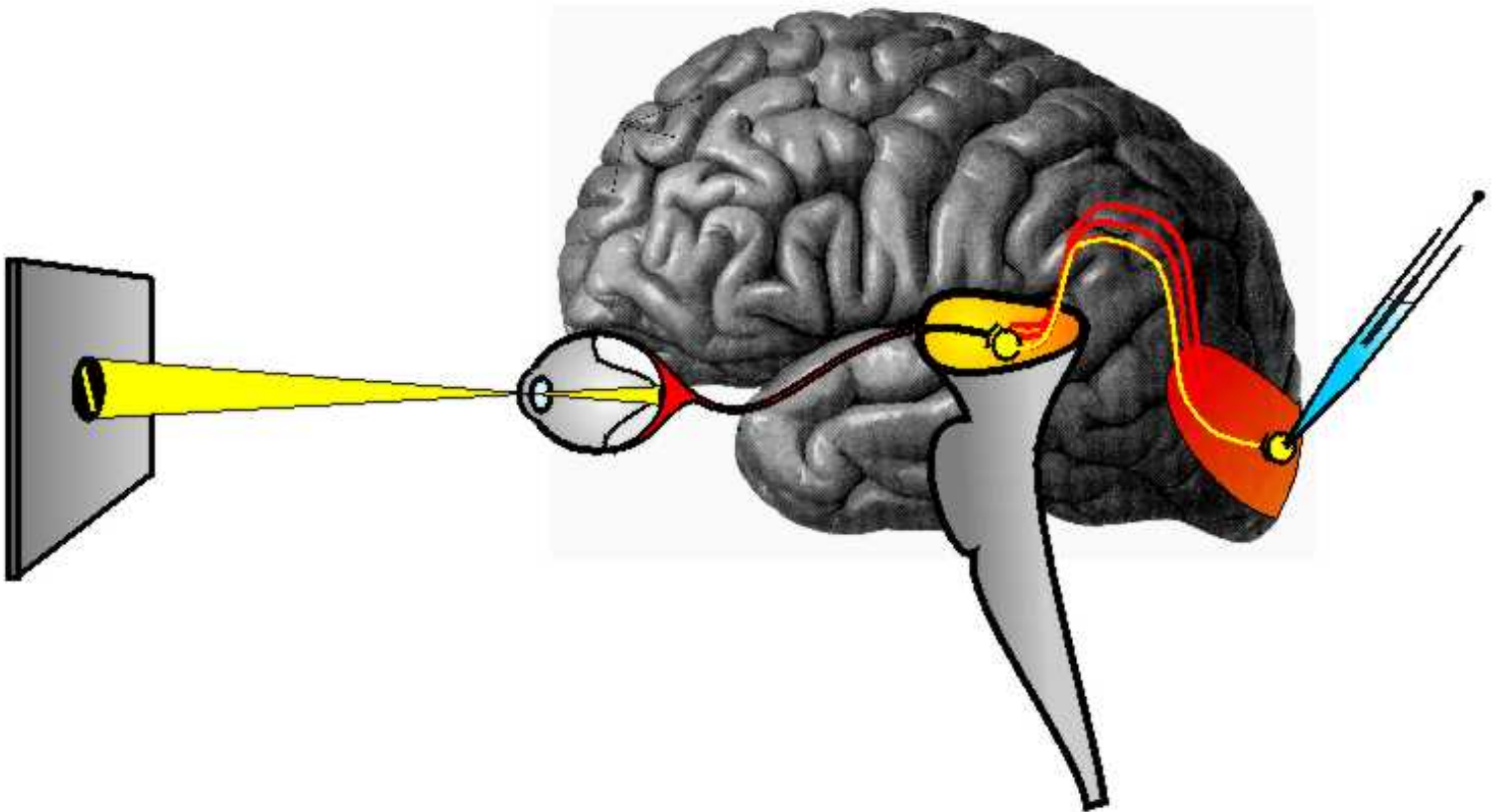
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

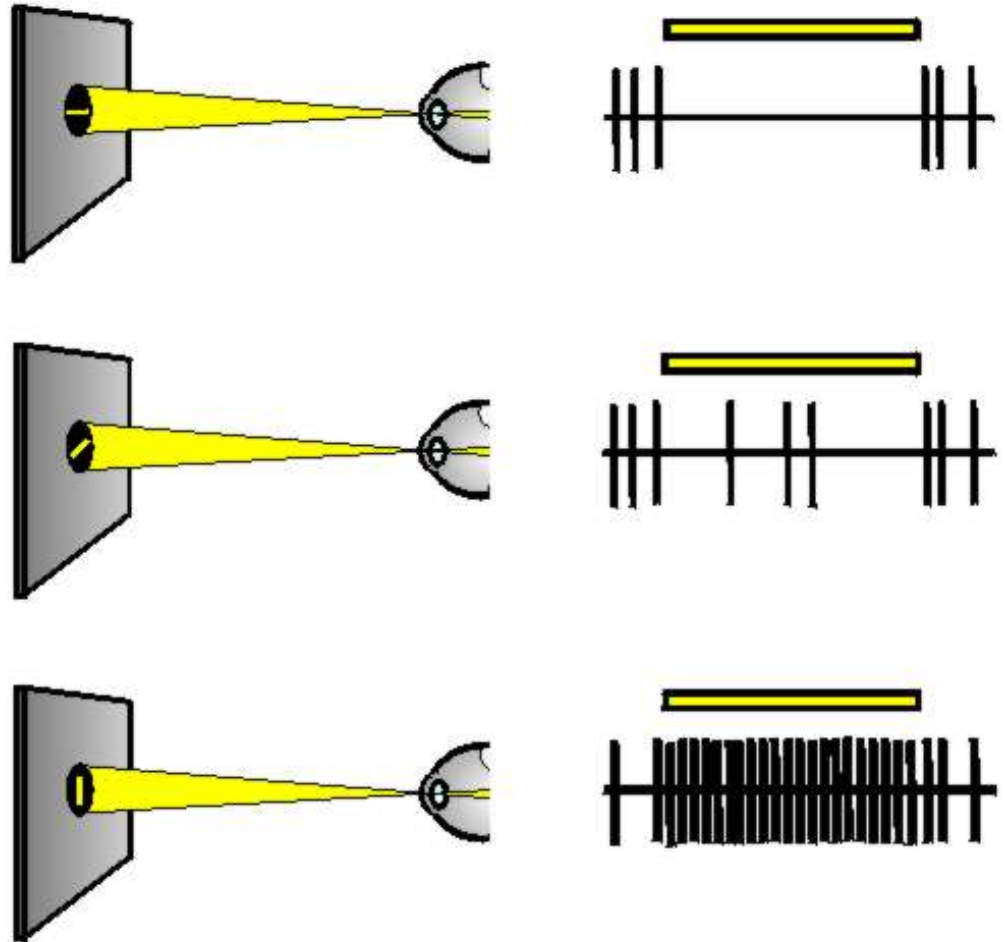
#### Was sehen Rindenzellen?



Um die Bildverarbeitung in der primären Sehrinde zu erforschen, leiten Neurophysiologen Aktionspotentiale von einzelnen Neuronen der Sehrinde ab, während den Augen ein visueller Stimulus präsentiert wird. Die Rindenzellen werden nicht aktiviert, wenn die gesamte Netzhaut mit diffusem Licht ausgeleuchtet wird. Ebenso ungeeignet ist die punktförmige Belichtung einzelner Photorezeptoren. Die Rindeneurone reagieren am besten auf **Striche und Lichtbalken**.

Dabei ist allerdings die Orientierung des Lichtbalkens entscheidend wichtig. In dem Beispiel rechts reagiert eine Rindenzelle nicht (oder mit Hemmung) auf einen waagerechten Lichtbalken. Eine schwache Aktivierung ist zu sehen, wenn der Balken etwas gedreht wird. Eine starke Aktivierung sieht man nur bei senkrechter Ausrichtung des Balkens.

Viele Rindenzellen sind orientierungsempfindlich: Sie reagieren am stärksten auf Striche einer bestimmten Ausrichtung. Rindenzellen sind damit geeignet, die geometrische Struktur der Umwelt mit ihren Linien, Kanten, Ecken, Schrägen und Winkeln zu registrieren.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

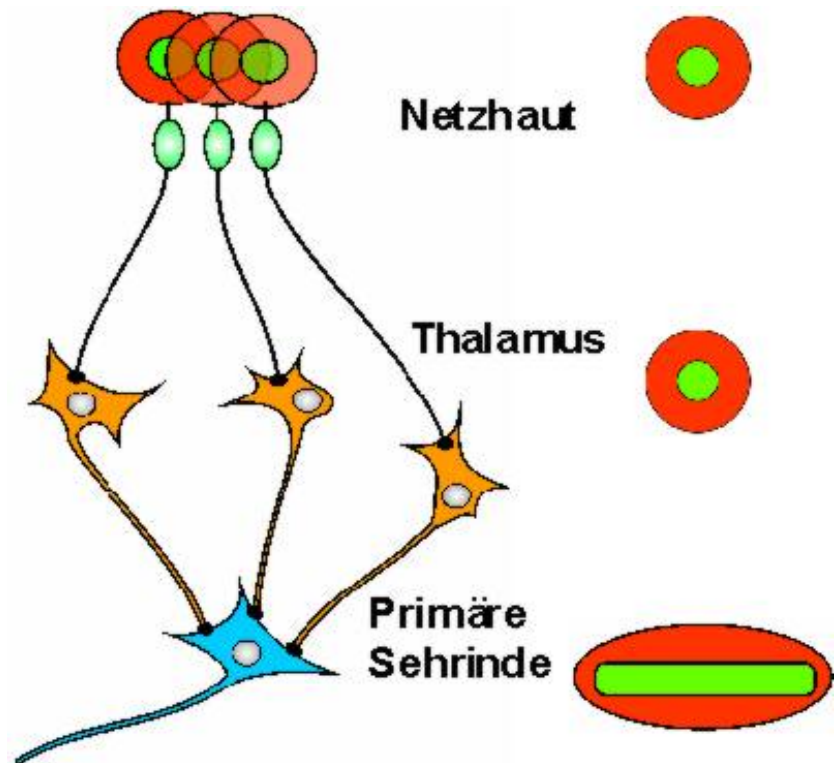
#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

## Rezeptive Felder von Rindenzellen

Die Neurone der primären Sehrinde haben größere und komplexere rezeptive Felder als einzelne Ganglienzellen in der Netzhaut. Das ist die Folge von Konvergenz zwischen Thalamus und Sehrinde.

Im Beispiel rechts sind drei nebeneinanderliegende Ganglienzellen mit je einer Thalamuszelle verschaltet. Die drei Thalamuszellen konvergieren auf dasselbe Neuron in der Sehrinde. Dieses Neuron wird immer dann aktiviert, wenn das ON-Feld einer der drei Ganglienzellen belichtet wird. Das rezeptive Feld der Rindenzelle ist also zusammengesetzt aus den rezeptiven Feldern aller Ganglienzellen, die auf die Rindenzelle konvergieren.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

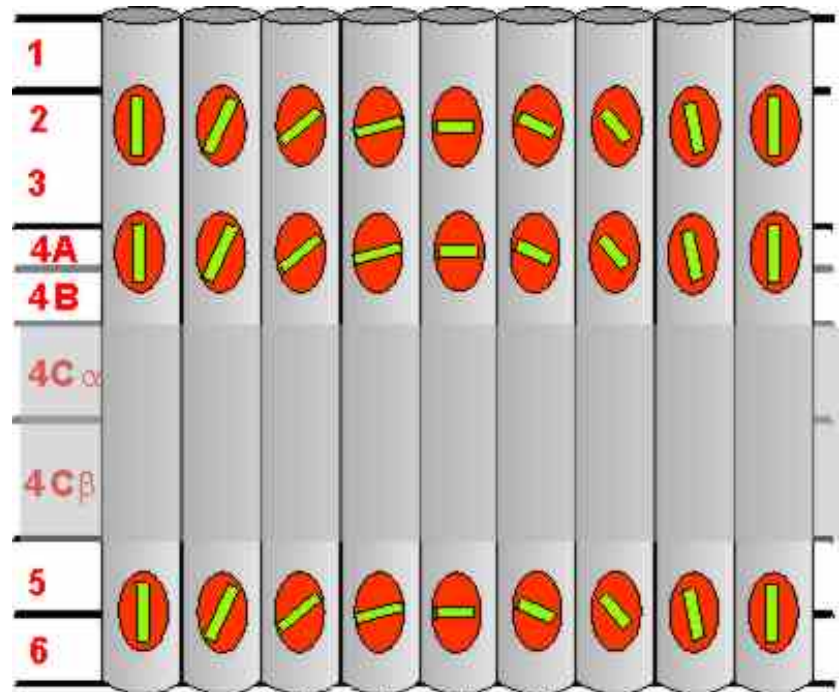
#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

### Säulenstruktur der primären Sehrinde

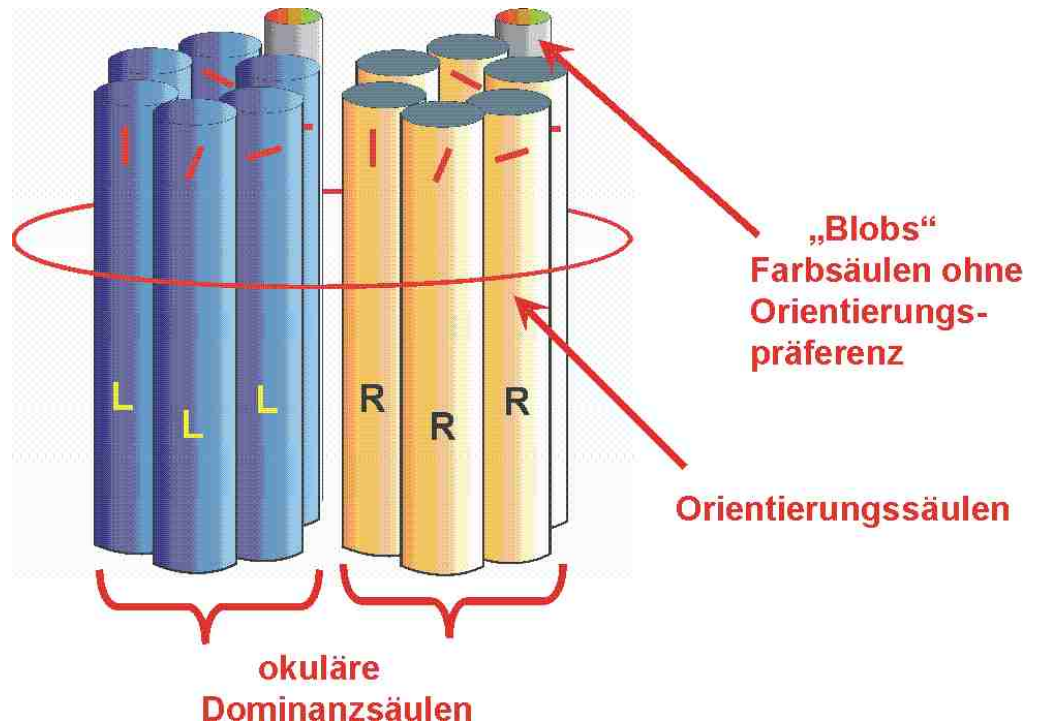
Die Sehrinde ist horizontal sechsfach geschichtet und empfängt die meisten Fasern vom Kniehöcker des ipsilateralen Thalamus in Schicht 4.

Wenn man eine Ableitungselektrode senkrecht in die primäre Sehrinde einsticht, und die Reaktion der Rindenneurone auf visuelle Stimuli überprüft, findet man, daß die Neurone innerhalb einer "Säule" von 30 - 100 µm Durchmesser die gleiche Präferenz für die Orientierung von Lichtbalken haben. Die Neurone in den Nachbarsäulen haben eine anderen Orientierungspräferenz. Die Wahrnehmung von Linien an einem Ort der Netzhaut ist also nach deren Ausrichtung auf mehrere **Orientierungssäulen** (auch Positionssäulen) verteilt.



In der Sehrinde der Primaten sind die Orientierungssäulen, die Informationen über *einen* Punkt der Netzhaut *eines* Auge verarbeiten, in einem Bündel zusammengefasst. Solche Bündel werden als **okuläre Dominanzsäulen** bezeichnet. Für jeden Ort des binokularen Gesichtsfeldes gibt es jeweils eine okuläre Dominanzsäule für das rechte (**R**) und linke (**L**) Auge. Farbempfindliche Säulen, die keinerlei Orientierungsspezifität aufweisen, werden als **"Blobs"** bezeichnet, weil sie sich aufgrund ihres hohen Gehalts an Cytochromoxidase (einem mitochondrialen Enzym) histologisch darstellen lassen.

Für jeden Ort im binokularen Sehfeld ist also ein kleiner Bereich der primären Sehrinde zuständig. Dieser Bereich umfasst zwei okuläre Dominanzsäulen sowie mehrere Blobs. Der Bereich wird als **Hyperkolumne** bezeichnet. Eine Hyperkolumne enthält Information sowohl aus dem P- wie auch aus dem M-System aus beiden Augen. Hyperkolumnen sind die funktionellen Module der primären Sehrinde.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Ausgangssignal der Netzhaut](#)
- [P- und M-System](#)
- [Der Verlauf der Sehbahn](#)
- [Das Chiasma opticum](#)
- [Verschaltung im Thalamus](#)
- [Die primäre Sehrinde](#)
- [Was sehen Rindenzellen?](#)
- [Rezeptive Felder von Rindenzellen](#)
- [Säulenstruktur der primären Sehrinde](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

### Zusammenfassung 1

- Die Sehbahn führt von der Netzhaut über den Thalamus zur Sehrinde.
- Im Chiasma opticum werden die Bilder jeder Gesichtshälfte zur jeweils gegenüberliegende Gehirnhälfte geleitet.
- In den seitlichen Kniehöckern des Thalamus werden die Fasern der Ganglienzellen in zweifacher Hinsicht sortiert:  
(1) rechtes oder linkes Auge und  
(2) Bewegungssehen oder Farbsehen; M- oder P-System
- Konvergenz von mehreren Thalamusneuronen auf ein Neuron der Sehrinde sorgt für die Entstehung von zusammengesetzten rezeptiven Feldern.
- Der Sehrinde zeigt drei deutliche Ordnungsprinzipien: Okuläre Dominanzsäulen, Orientierungssäulen und Farbsäulen.
- Das Grundmodul der primären Sehrinde ist die Hyperkolumne. Sie verarbeitet die Information aus einem kleinen Bereich des binokularen Gesichtsfeldes.

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"



## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

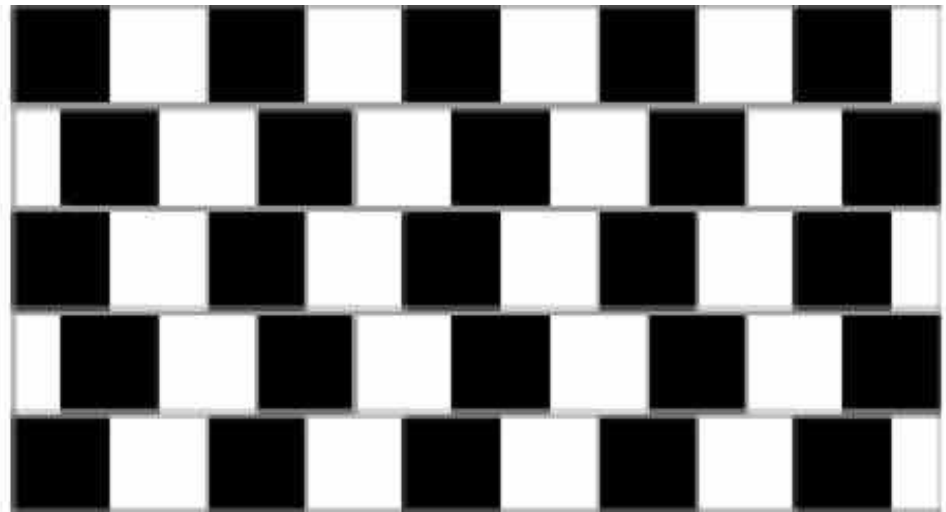
### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

### Das Gehirn interpretiert die Umwelt

Ein Vergleich des visuellen Systems mit der Funktionsweise einer Kamera ist irreführend, denn Sehen ist weit mehr als die bloße Abbildung von Lichtmustern auf einem Film. Wenn man bedenkt, daß die optische Information, die das Auge erreicht, nur ein winziges, auf dem Kopf stehendes, Abbild der Umgebung ist, wird klar, daß das visuelle System im Gehirn umfangreiche Informationsverarbeitung leisten muß, um die komplexe, dynamische **Wahrnehmung** der Umwelt zu ermöglichen, die für uns selbstverständlich ist.



Zu dieser Verarbeitungsleistung gehört auch, daß das Gehirn eine Vielzahl von Annahmen über die Umwelt macht, zB über Perspektive ("Wenn sich etwas entfernt, wird nicht das Objekt kleiner, sondern nur sein Bild") oder über Entstehung einer Gestalt aus einzelnen optischen Details ("Das Zeichen :-)) stellt ein Gesicht dar"). Solche Annahmen führen das visuelle System manchmal in die Irre - und nur daran können wir eindrucksvoll erkennen, daß die Wahrnehmung von Bildern komplizierte Verarbeitungsschritte beinhaltet. In dem Bild oben zB verleitet die Annahme über das Aussehen eines Schachbrettmusters das Gehirn zur Fehlinterpretation über den Verlauf der waagerechten Linien: sie werden als krumm wahrgenommen.

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

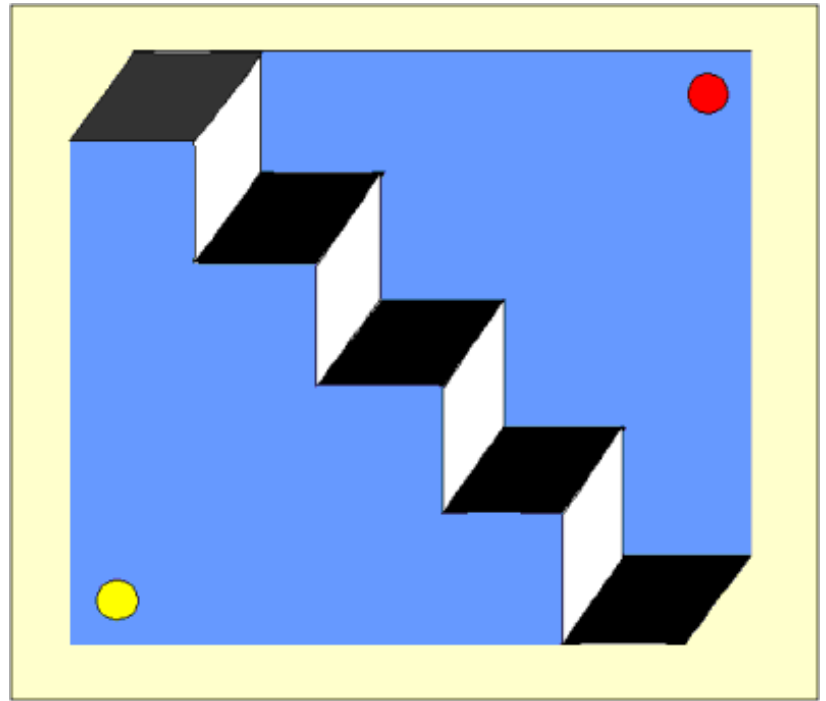
#### Sehen braucht eine Referenz



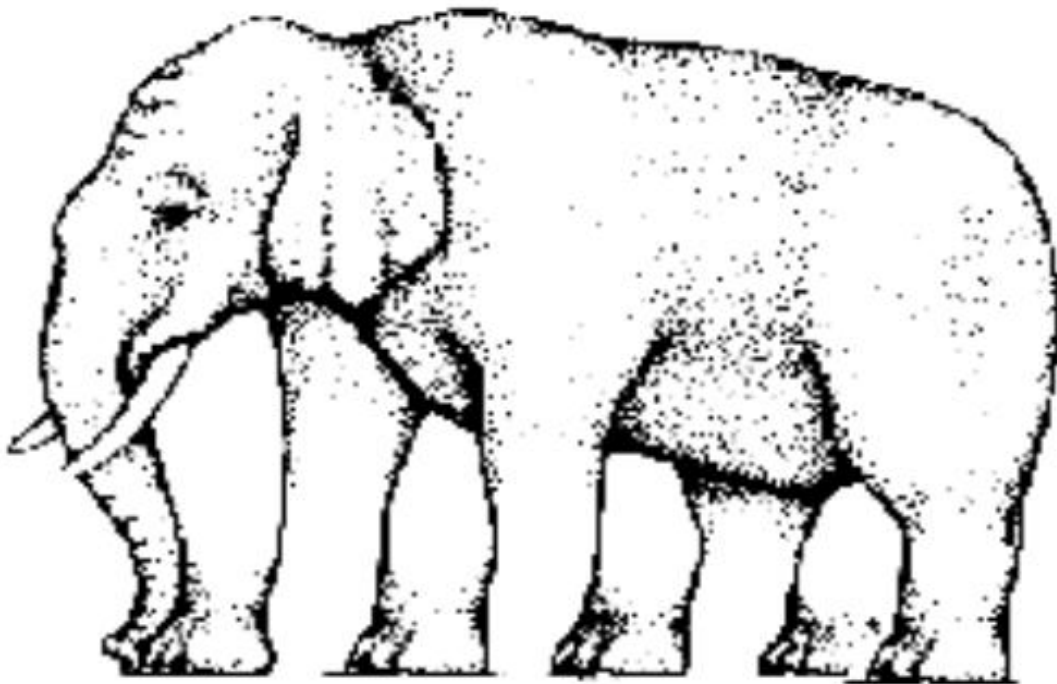
Quelle: Der Spiegel, 23.6.2002

Bei der Entstehung eines Bildes im Gehirn vergleicht das visuelle System einzelne Objekte miteinander, und häufig wird ein Objekt als das Wichtigste - das Referenzobjekt - ausgewählt. Bei dem Bild oben werden unwillkürlich die Möbel als Referenz gewählt. Die Pferde erscheinen winzig - man fragt sich, was für eine Zwerggrasse das wohl sein könnte. Andere mögliche Referenzen (zB der Koppelzaun) werden ignoriert. Die Wirklichkeit (daß es sich um übergroße Möbel handelt) wird vom visuellen System nicht in Betracht gezogen.

Bei dem Bild rechts gibt es zwei gleichwertige Referenzpunkte. Betrachtet man den gelben Punkt, wird der Rest des Bildes als absteigende Treppe wahrgenommen. Fixiert man den roten Punkt, sieht man einen abgestuften, hängenden Fries.



Versucht man, die Beine des Elefanten auf dem Bild unten zu zählen, begegnet man der Schwierigkeit, daß man zwei nicht zusammen passende Referenzsysteme hat. Nimmt man den Elefanten als Referenz, kann man dessen Beine nicht zählen. Nimmt man die Beine als Referenz, passen die nicht zum Tier. Wie also soll man die Frage beantworten ?



How many legs does this elephant have?

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

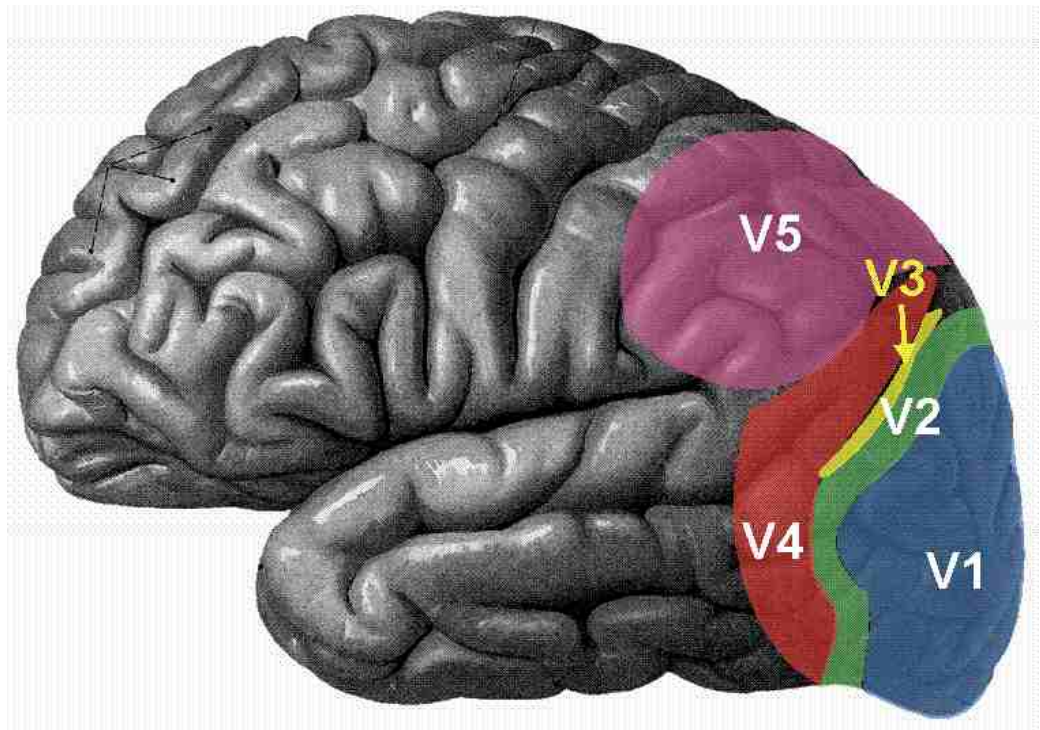
### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

### Die sekundäre Sehrinde

Die aus dem Thalamus kommende visuelle Information wird in der primären Sehrinde (V1) nur grob analysiert. Eine Reihe von anderen Bereichen der Großhirnrinde (zusammen etwa die Hälfte der gesamten Cortexfläche) erhält die Information aus V1 und verarbeitet sie weiter. Diese Rindenbereiche (V2 - V5) bezeichnet man als sekundäre Sehrinde. Die Rindenbereiche im Okzipitallappen (V1 - V4) leisten eine grundlegende Analyse von Form, Farbe und Bewegung. Zur visuellen Wahrnehmung kommt es es jedoch erst durch kognitive Prozesse im Assoziationskortex des Parietal- und Temporallappens.



Die Information wird auf zwei Wegen aus der primären in die sekundäre Sehrinde geleitet. Der **P - Weg** bringt die Signal der **parvozellulären Schichten** der

Kniehöcker von V1 in den Temporallappen, dessen unterer Teil die primäre Sehinformation auf Form und Farbe hin analysiert.

Der **M - Weg** führt aus der primären Sehrinde in den Parietallappen. Hier wird die Information der **magnozellulären Schichten** der Kniehöcker auf Ort und Bewegung hin analysiert.

Die verschiedenen Bereiche der sekundären Sehrinde verarbeiten **parallel (gleichzeitig)** unterschiedliche Aspekte der visuellen Information. In der sekundären Sehrinde herrscht Arbeitsteilung.

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

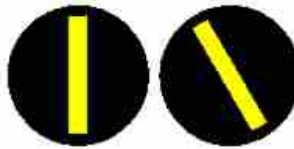
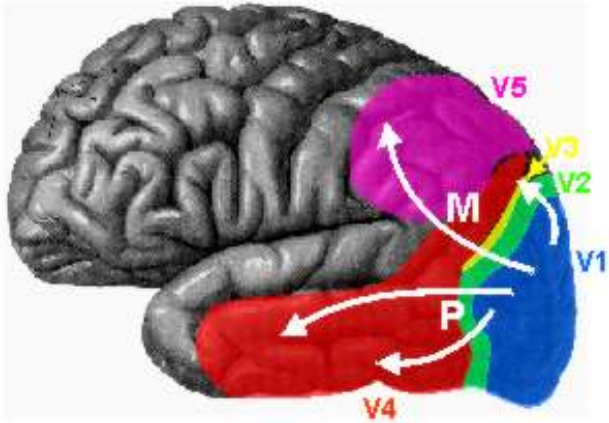
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

## Elementares Sehen

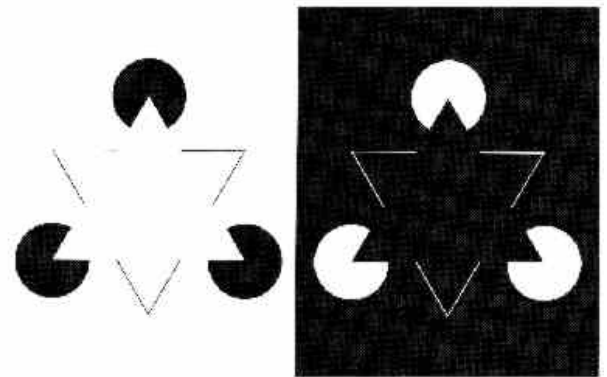


In der primären Sehrinde (**V1**) werden im wesentlichen Striche bzw Lichtbalken registriert. Dabei wird die Orientierung der Striche, ihre Farbe und ihre Herkunft aus dem rechten oder linken Auge aufgenommen. Die Neurone in V1 sind quervernetzt, so daß auch

laterale Inhibition funktioniert. Das Organisationsprinzip der primären Sehrinde ist die **Retinotopie**: Lichtpunkte, die auf der Netzhaut nebeneinander abgebildet werden, werden auch in V1 nebeneinander verrechnet. Dabei ist die Projektion der Netzhaut auf die primäre Sehrinde aber nicht proportional. Die Fovea, die nur einen kleinen Teil der Netzhaut ausmacht, nimmt etwa die Hälfte der Sehrinde ein. Sie ist entsprechend ihrer Bedeutung als Ort des schärfsten Sehens (mit der höchsten Dichte von Ganglienzellen) kortikal überrepräsentiert.



In **V2** versucht das Gehirn, aus einzelnen Strichen eine **Gestalt** zu konstruieren. Hier ist das Strichmännchen nicht mehr nur eine Ansammlung von Strichen und Kreisen -es hat die Gestalt einer menschlichen Figur. Die Wahrnehmung einer Gestalt beruht darauf, daß das optische Signal mit einer bekannten Gestalt verglichen werden kann. Das Gehirn weiß: *so* sieht ein Mensch aus, und die Zeichnung sieht einem Menschen ähnlich. Bei diesem Verarbeitungsvorgang können auch Fehler passieren. Rechts ist das gezeigt anhand von **Scheinkonturen**. Die aufrechten Dreiecke in der Mitte der beiden Bilder existieren nicht wirklich. Sie werden nur wahrgenommen, weil das visuelle System die Aussparungen in den gezeichneten unvollständigen Dreiecken und Kreisen am einfachsten dadurch interpretiert, daß es die geschlossenen Dreiecke dazu "sieht".



Bewegungsanalyse kommt im Bereich **V3** dazu. Hier werden Bewegungen einfacher Konturen und Objekte registriert. Eine besondere Leistung dabei ist es, eine Gestalt auch als solche zu erkennen, wenn sie sich bewegt - also, die Zusammengehörigkeit der einzelnen visuellen Komponenten zu einer Gestalt auch während einer Bewegung zu erkennen: **Gestaltinvarianz bei Bewegung**. Allerdings ist die Ortsbestimmung eines Objekts, die Analyse von Raumtiefe und von Entfernung nicht eine Funktion von V3 sondern von V5.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

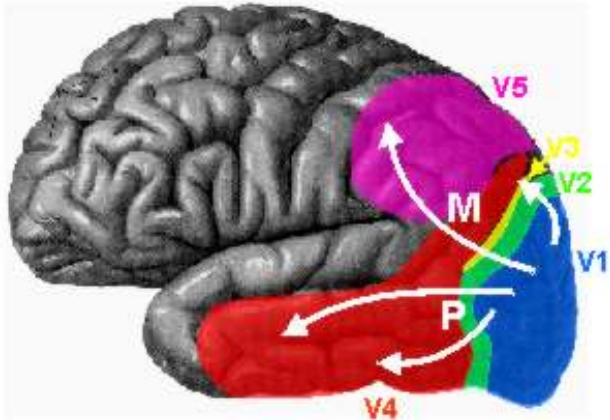
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

## Visuelle Objekterkennung



Der über die **P-Bahn** versorgte untere Schläfenlappen analysiert Form und Farbe eines Gegenstandes und identifiziert den Gegenstand. Im Schläfenlappen gibt es Neuronenverbände, die auf konkret definierte Objekte reagieren, zB ein Stuhl oder eine Hand. Andere Zellverbände in Schläfenlappen werden durch die Erkennung von Gesichtern aktiviert. Lesionen in diesem Bereich können Prosopagnosie verursachen, die Unfähigkeit, Gesichter zu erkennen. Auch Farbenagnosie, die Unfähigkeit, einem Objekt eine Farbe zuzuordnen, kann die Folge von lokalen Lesionen im Temporallappen sein.



Im Unterschied zu V1 ist das Ordnungsprinzip der Sehrinde im Schläfenlappen nicht die Retinotopie sondern eine **kategoriale Ordnung**. Benachbarte Zellen reagieren auf ähnliche Objekte (zB Gesichter, Smileys, Masken).



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

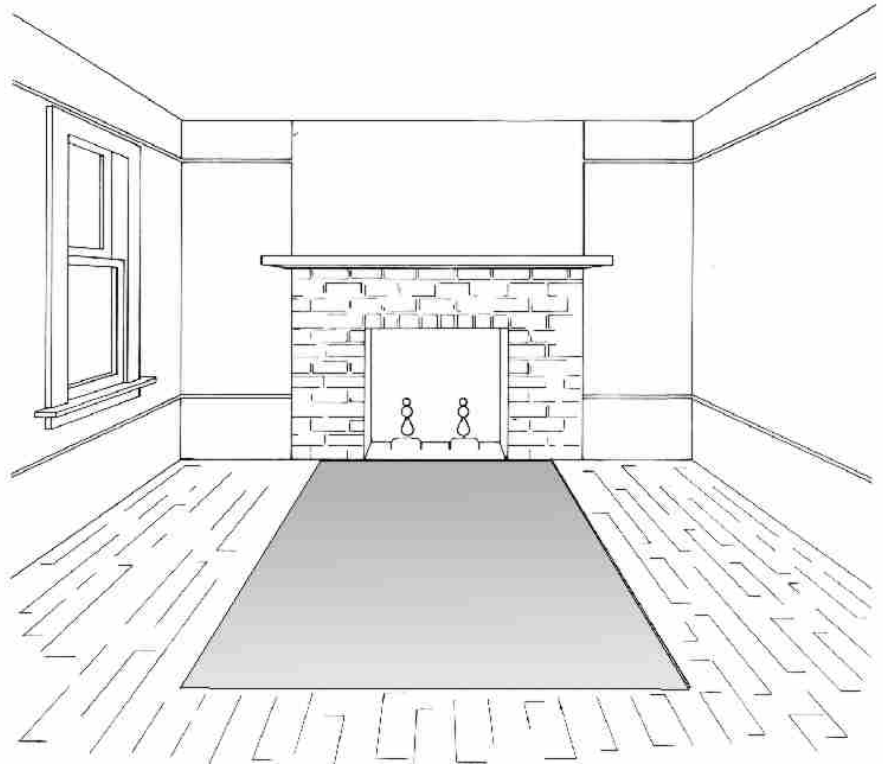
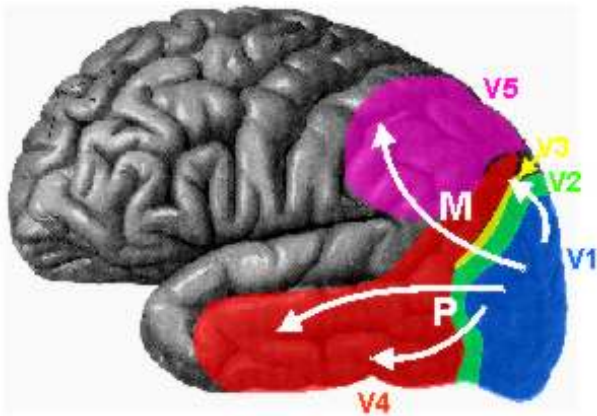
### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

### Visuelle Raumerkennung



Die Einschätzung von Entfernung, von räumlicher Ausdehnung, von Bewegung und Bewegungsrichtung ist eine Leistung der Parietalregion der sekundären Sehrinde, die Region **V5**. Hier werden Objekte nicht identifiziert sondern ihre Bewegung und ihre Position im Raum wird aus den unterschiedlichsten Parametern berechnet. Befindet sich ein Objekt weniger als ca 30 cm vor den Augen, kann aus der Differenz der beiden Bilder, die vom linken und rechten Auge kommen, Entfernung und Größe des Objekts abgeleitet werden (stereoskopisches Sehen). Bei weiter entfernten Objekten helfen relative Verschiebungen der Bilder naher und ferner Objekte (Parallaxe), perspektivische Bildanalyse sowie das Wissen um die tatsächliche Größe von Objekten.

# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

## Das Bindungsproblem

Die Bildverarbeitung in der Sehrinde wird arbeitsteilig von mindestens 5 unterschiedlichen, auf spezifische Verarbeitungsprozesse spezialisierte Rindenbereiche durchgeführt. Diese parallele Analyse des visuellen Signals führt zur komplexen Wahrnehmung unserer Umwelt. Wenn wir ein Objekt betrachten, nehmen wir die Informationen aus den einzelnen Rindenbereichen jedoch nicht getrennt wahr. Alle Aspekte des Objektes (Form, Farbe, Entfernung, Bewegung, Identität, etc) werden gleichzeitig bewußt wahrgenommen und sind nicht getrennt denkbar. Das deutet darauf hin, daß alle visuelle Information in *einem* Zellverband, in *einer* funktionellen Struktur, zusammengeführt werden. Unser Bewußtsein könnte die integrierte visuelle Information aus dieser zentralen Struktur auslesen. Existiert so eine Struktur? Gibt es einen Bereich in der Großhirnrinde, die die visuellen Informationsflüsse zusammenbindet? Diese Frage ist bisher ungelöst und wird in der Literatur oft als das Bindungsproblem bezeichnet.



# Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

**START**

## Sehen: Bilder im Gehirn

### I. Die Sehbahn

### II. Bildverarbeitung in der sekundären Sehrinde

#### Themen:

- [Das Gehirn interpretiert die Umwelt](#)
- [Sehen braucht eine Referenz](#)
- [Die sekundäre Sehrinde](#)
- [Elementares Sehen](#)
- [Visuelle Objekterkennung](#)
- [Visuelle Raumerkennung](#)
- [Das Bindungsproblem](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

### Zusammenfassung 2

- Fast die Hälfte der Großhirnrinde dient der Verarbeitung visueller Signale.
- Zur Wahrnehmung von Bildern werden visuelle Informationen registriert, analysiert, und interpretiert.
- Aus der primären Sehrinde verlaufen zwei Leitungsstränge in die sekundäre Sehrinde: parvo- und magnozelluläre Wege.
- Die sekundäre Sehrinde analysiert die Rohdaten, die die primäre Sehrinde aus der Netzhaut erhält.
- Die Verarbeitung erfolgt in drei Stufen:
  - (1) Elementares Sehen
  - (2) Visuelle Objekterkennung
  - (3) Visuelle Raumerkennung
- Die verschiedenen Abschnitte der Sehrinde sind auf diese unterschiedlichen parallelen Verarbeitungsstufen spezialisiert.
- Die Kombination der drei Verarbeitungswege zu einer einheitlichen Wahrnehmung ist noch unverstanden.