

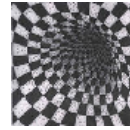


Beispielbild

Allgemeine Psychologie

Wahrnehmung:
Tiefe und Bewegung

SoSe 2009



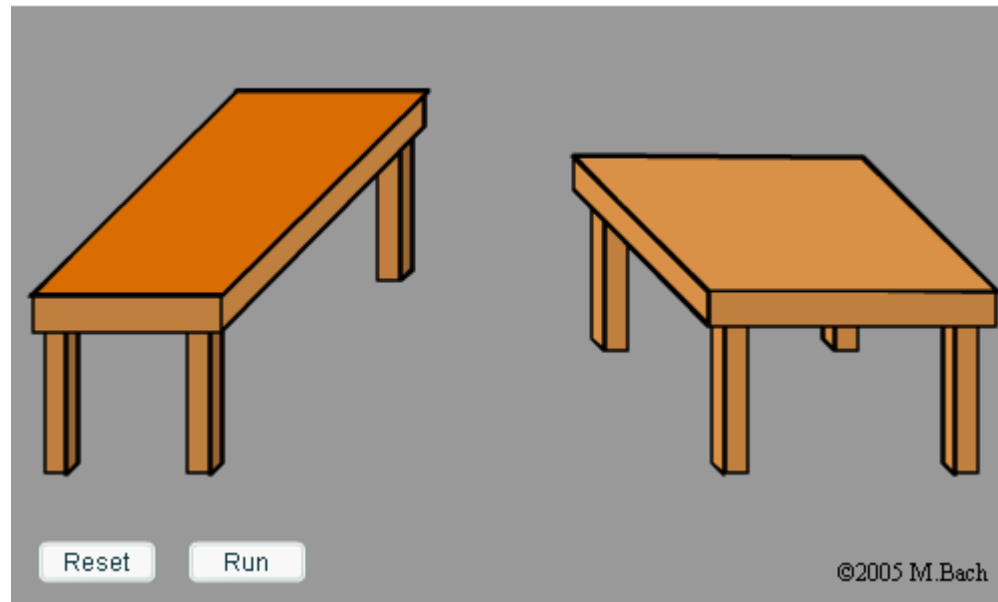
Tiefenwahrnehmung

Problem:

Auf unsere Netzhaut fällt kein 3D-Bild!

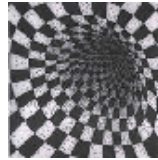
Aber:

Unser Gehirn versucht aus jedem Bild auf der Netzhaut Tiefe zu gewinnen.

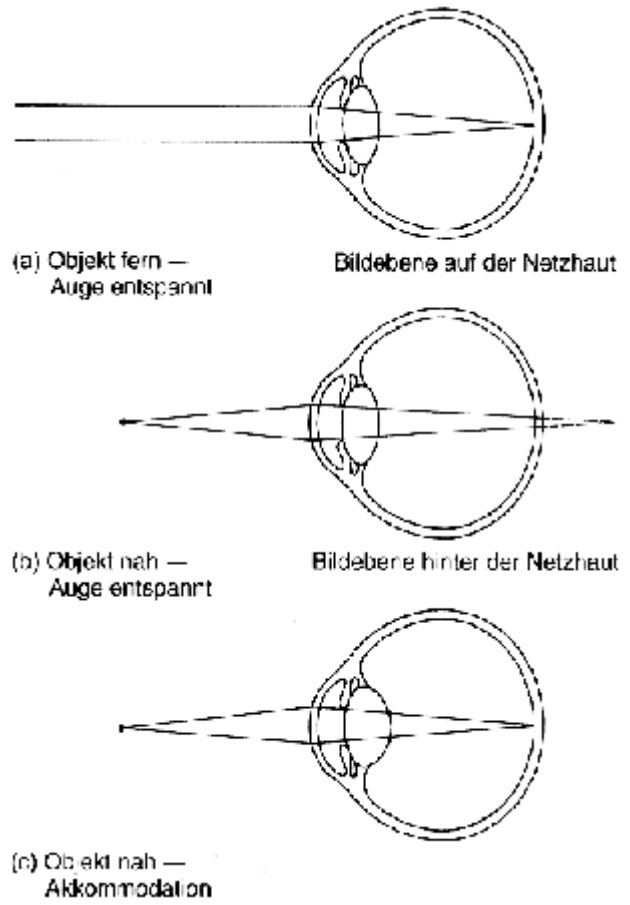


Tiefenwahrnehmung:

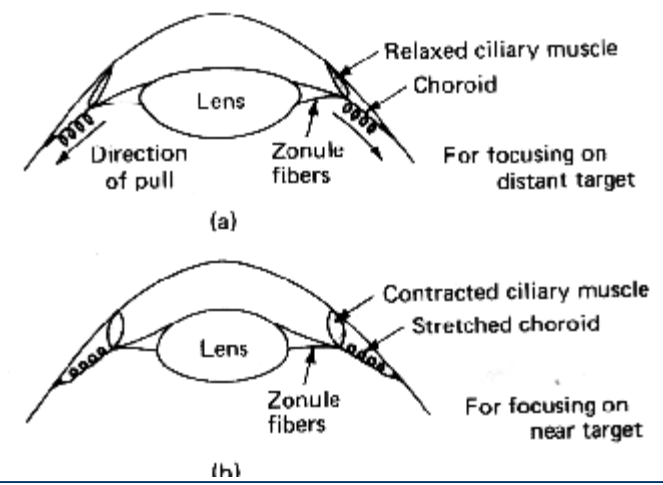
Ein konstruktiver Akt? Oder ein neuronal implementierter Code?

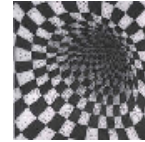


Okulomotorische Informationen

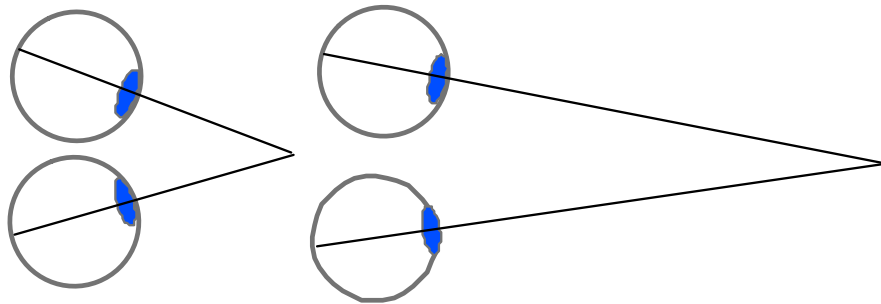


Akkommodation:
Bei Objektabständen zwischen 20cm und 300cm wirksam.
Ziliarmuskel wird innerviert und der Krümmungswinkel der Linse verändert sich.





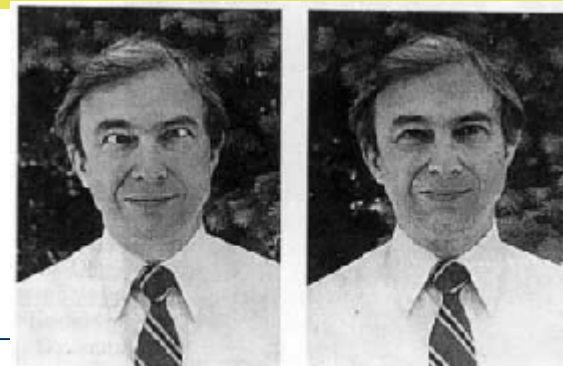
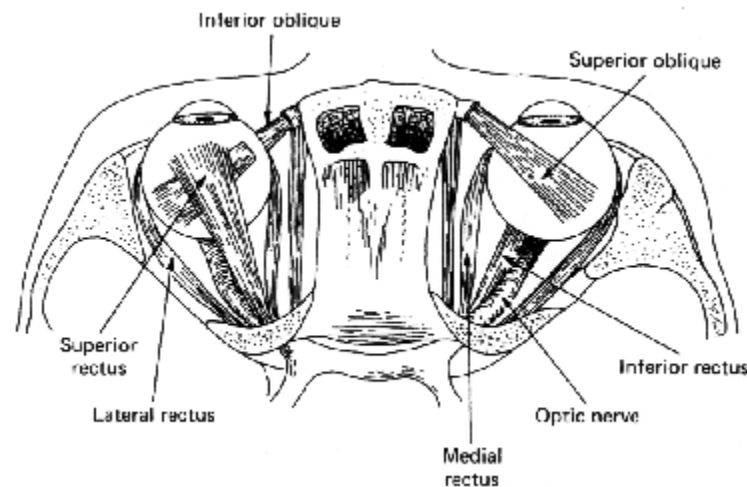
Okulomotorische Informationen

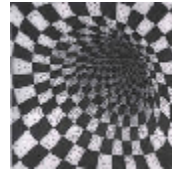


Konvergenz:

Bei Objektabständen bis zu 600 cm wirksam.

Augenmuskeln werden innerviert, um eine Einwärtsdrehung zu produzieren. Die ermöglicht das ein Gegenstand – unabhängig von seiner Entfernung – in der Fovea gehalten werden kann.

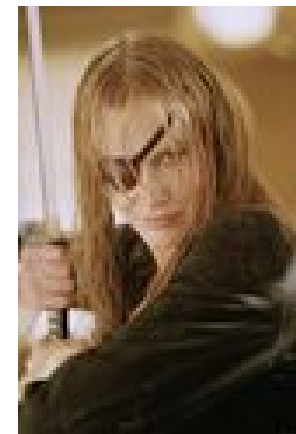




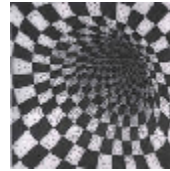
Monokulare Schätzmechanismen



Hatte Daryl Hannah wirklich eine Chance gegen Uma Thurman?

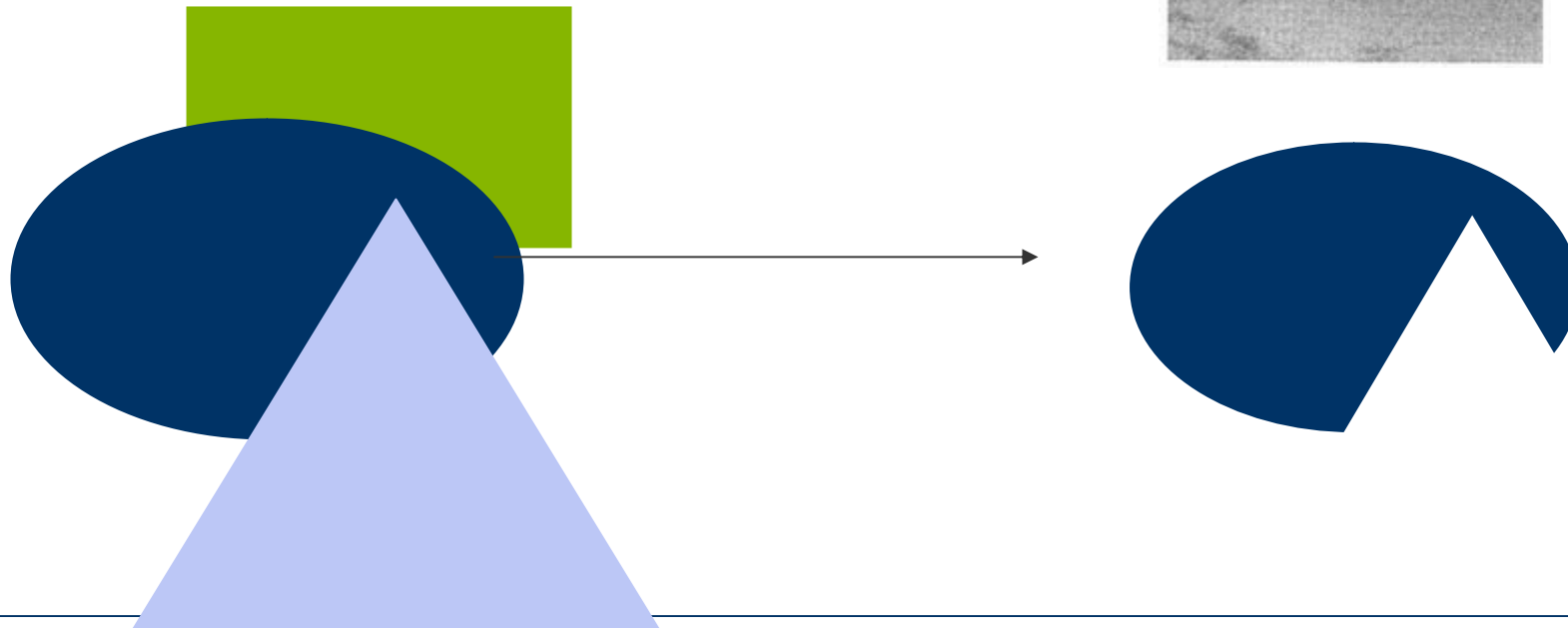


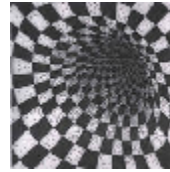
Sie hatte zumindest acht Schätzmechanismen auf ihrer Seite...



Monokulare Schätzmechanismen

(1) Verdeckung und Überlappung
Verdecktes wird als weiter hinten
wahrgenommen (relative Tiefe). Dabei
werden auch Prinzipien der Gestalt-
wahrnehmung berücksichtigt.



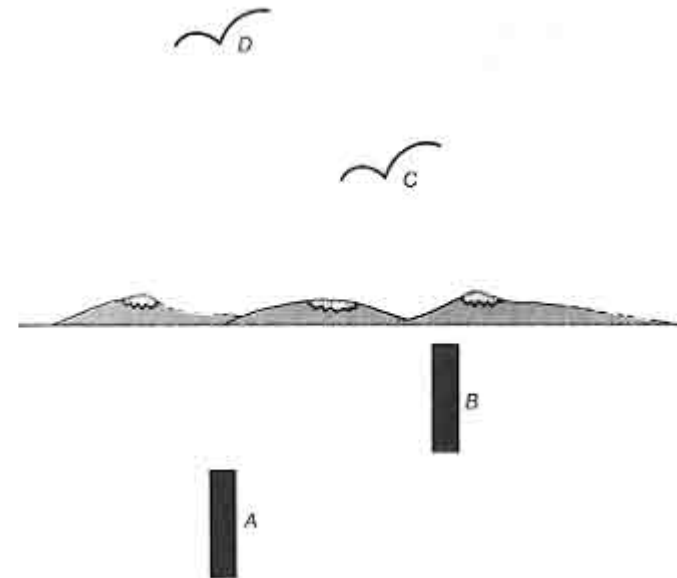


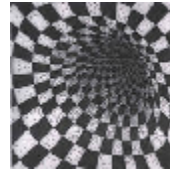
Monokulare Schätzmechanismen

(2) Relative Höhe

Gegenstände, die weiter oben im Gesichtsfeld repräsentiert sind (also an höherer Position), werden als weiter entfernt gesehen.

Ist eine Horizontlinie vorhanden, so dreht sich der Mechanismus um.



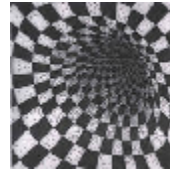


Monokulare Schätzmechanismen

(3) Relative Größe im Gesichtsfeld

Gegenstände, die physikalisch die gleiche Form haben, werden dann als weiter entfernt geschätzt, wenn sie weniger Raum im Gesichtsfeld einnehmen.



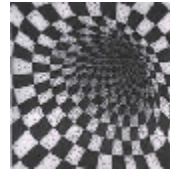


Monokulare Schätzmechanismen

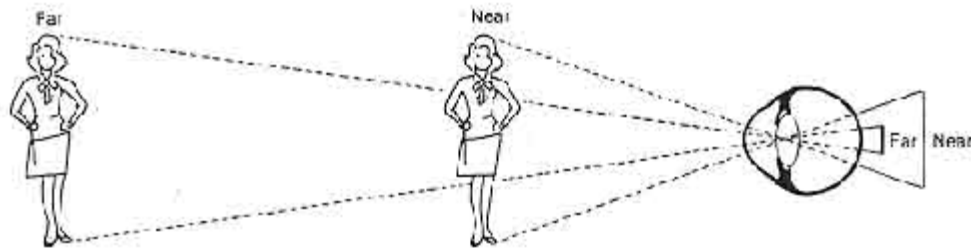
(4) Atmosphärische Perspektive

Weiter entfernte Gegenstände erscheinen in der Regel unschärfer, da sie durch atmosphärische Eigenschaften (Partikel in der Luft) stärker gebrochen werden.





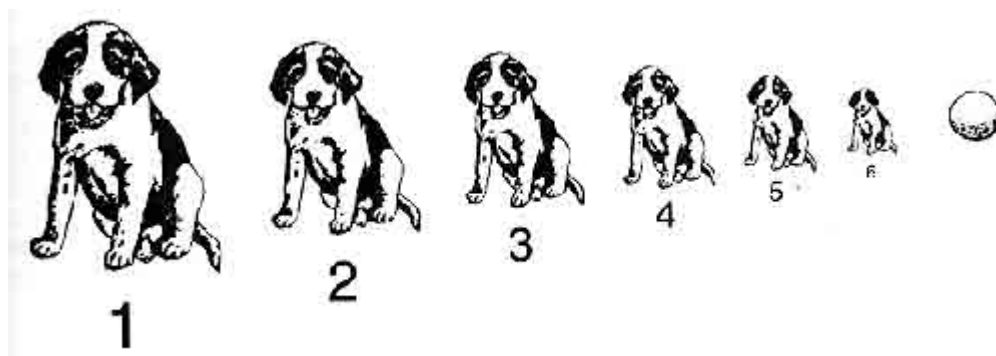
Monokulare Schätzmechanismen



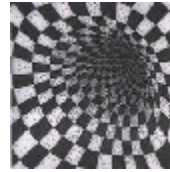
Wissen: Menschen sind zwischen 150 und 200cm groß

(5) Gewohnte Größe von Gegenständen

Unser semantisches Wissen um die Größe von Objekten bestimmt, wie weit entfernt wir die Objekte wahrnehmen.



Wissen: Tennisball ist kleiner als ein Hund

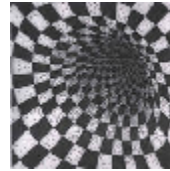


Monokulare Schätzmechanismen

(6) Lineare Perspektive

Bei einem linear-perspektivisches Bild konvergieren die Linien in der Ferne, die möglicherweise parallel verlaufen. Je größer die Entfernung, desto stärker die Annäherung. (Eisenbahnschienen-Effekt)

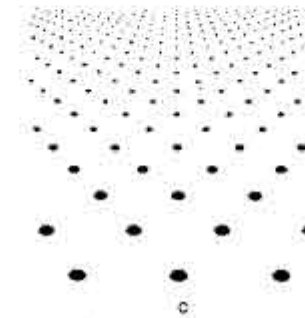
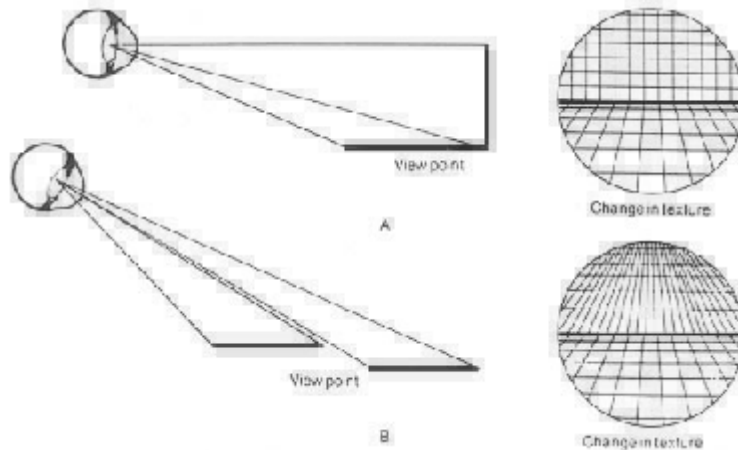


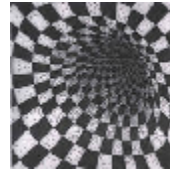


Monokulare Schätzmechanismen

(7) Texturgradient

Elemente, die in einer Szene horizontal gleich weit voneinander entfernt sind, erscheinen im Bild mit zunehmendem Abstand als immer dichter gepackt. Damit verändert sich die wahrgenommene Textur des Bodens

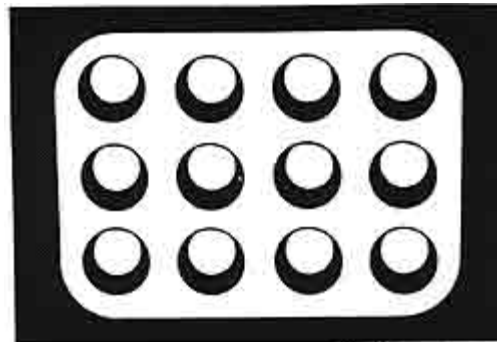




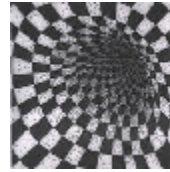
Monokulare Schätzmechanismen

(8) Schatten

Der Schatten, den ein Objekt wirft, wird unwillkürlich als Entfernungsschätzung verwendet. Dazu wird auch die Heuristik verwendet, dass Licht zumeist von Oben auf die Gegenstände fällt.



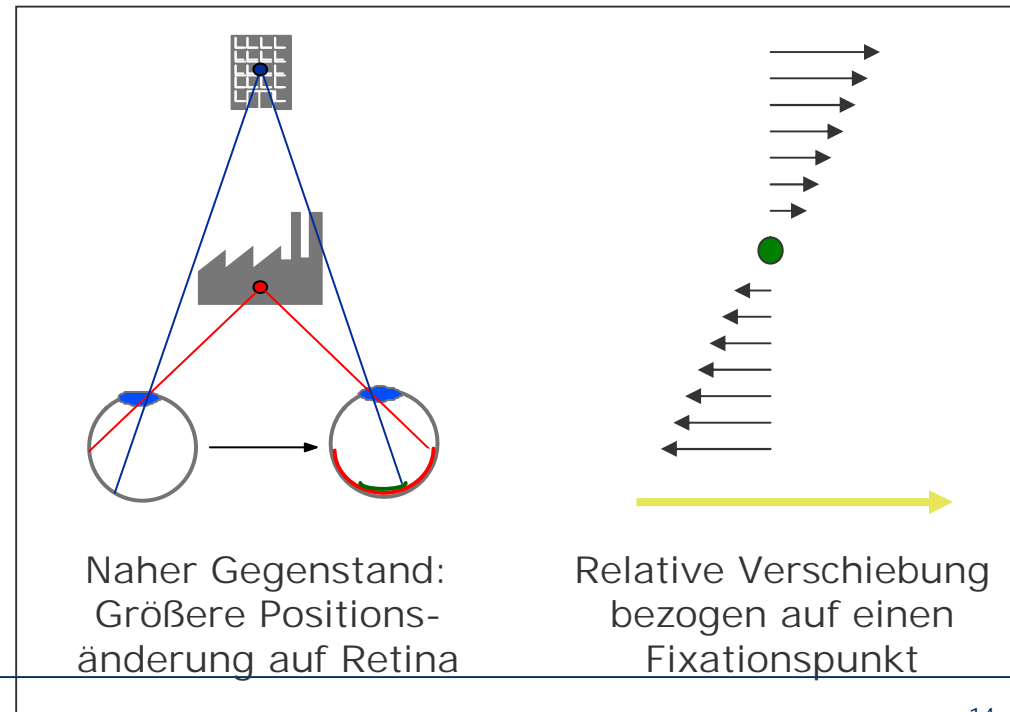
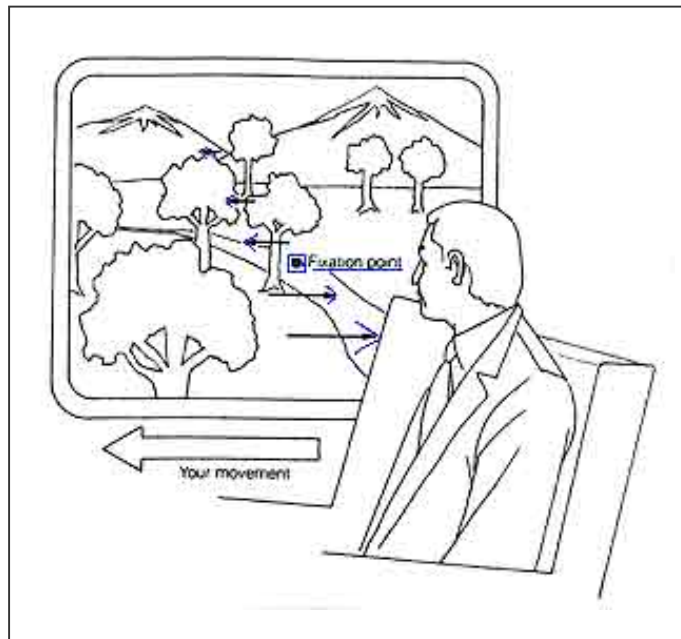
Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „Cinepak“
benötigt.

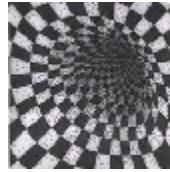


Bewegungsinduzierte Information

Bewegungsparallaxe

Die Eigenbewegung führt dazu, dass nahe Gegenstände sich schnell in eine entgegen gesetzte Richtung bewegen. Entfernte Gegenstände bewegen sich scheinbar langsam in die gleiche Richtung

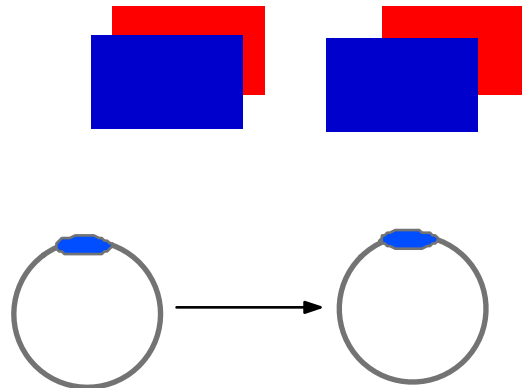


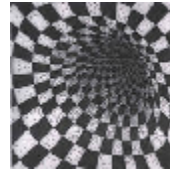


Bewegungsinduzierte Information

Zu- und Aufdecken von Flächen

Wenn sich zwei Flächen in unterschiedlichen Entfernungen befinden, dann führt eine Bewegung dazu, dass sich die Flächen relativ zueinander zu bewegen scheinen.





Binokulare Tiefeninformation

Limitierung der Schätzmechanismen

Die bisherigen Mechanismen sind möglicherweise fehleranfälliger, da sie auch Heuristiken beruhen. Zudem können sie nicht die plastische Tiefenwahrnehmung von 3D-Objekten erklären (z.B. von Gesichtern oder Plastiken).

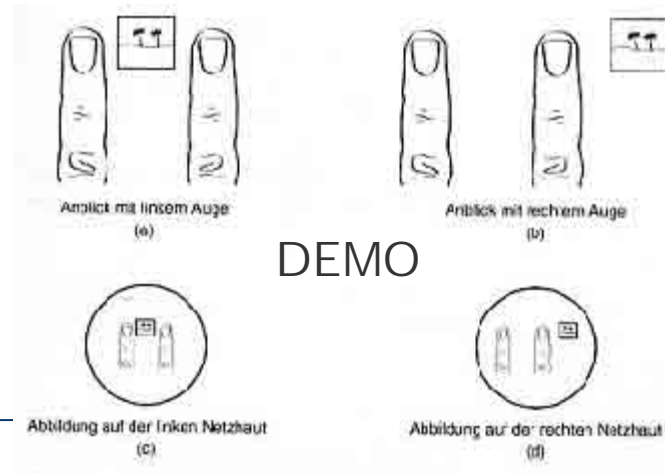
Zwei Augen = Zwei unterschiedliche Perspektiven

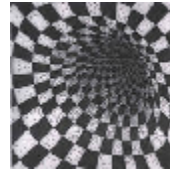
Beim normalen Sehen entstehen unterschiedliche Bilder auf der Netzhaut. Diese Unterschiede sind die Basis der ‚echten‘ stereoskopischen Tiefenwahrnehmung.

Linke Retina



Rechte Retina



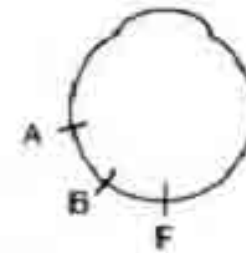


Binokulare Tiefeninformation

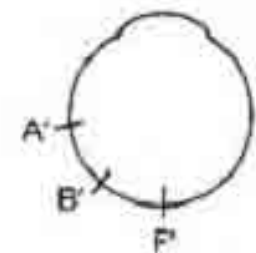
Grundlagen

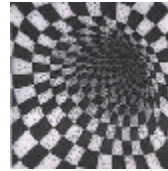
1. Zwischen den Augen besteht ein Abstand von ca. 6cm. Dies führt zu unterschiedlichen Netzhautbildern.
2. Auf der Netzhaut lassen sich korrespondierende Punkte definieren, die zunächst auf dem Fixationspunkt (F und F') beruhen, der in der Fovea abgebildet wird.
3. Alle Gegenstände, die auf korrespondierende Netzhautstellen fallen, liegen auf einer gedachten Kreislinie in der Umwelt, dem Horopter.

Linkes Auge

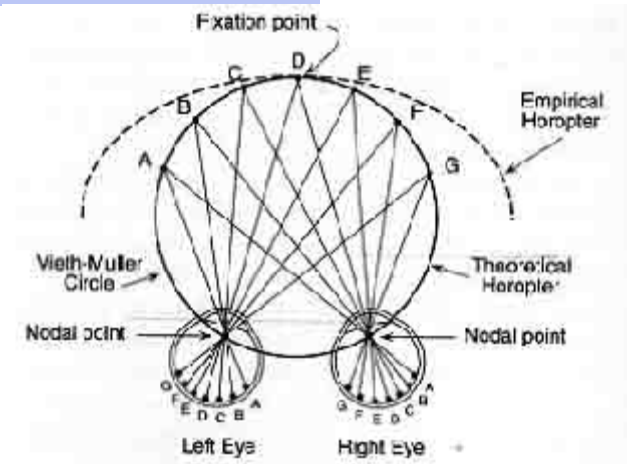
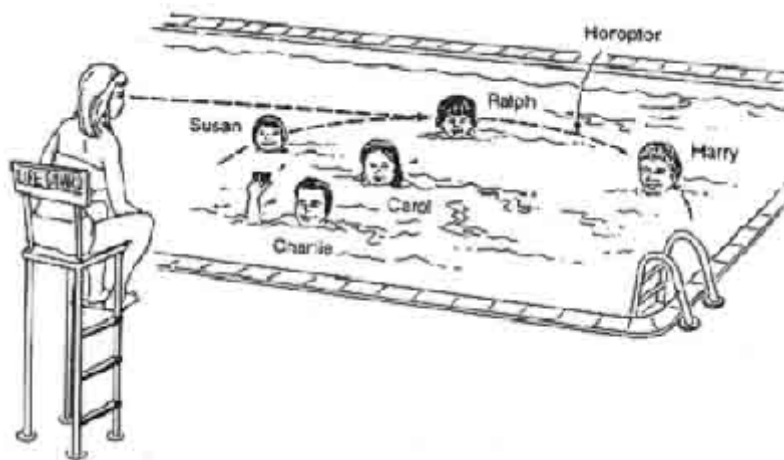


Rechtes Auge



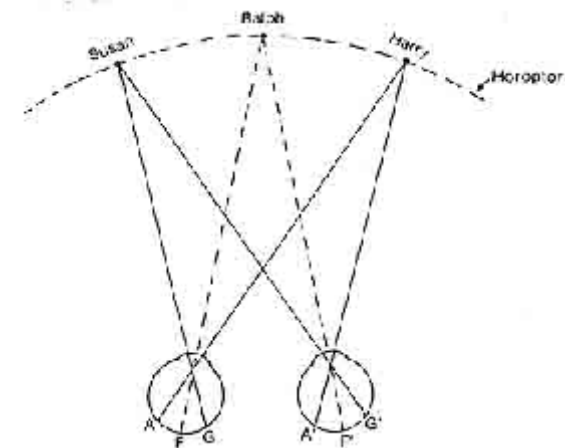


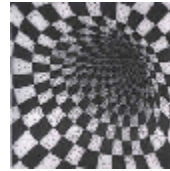
Binokulare Tiefeninformation



Grundlagen

4. Der Horopter ist ein theoretisches Konstrukt, der durch die Knotenpunkte der Augen und den Fixationspunkt verläuft. Der empirische Horopter ist leicht verschoben

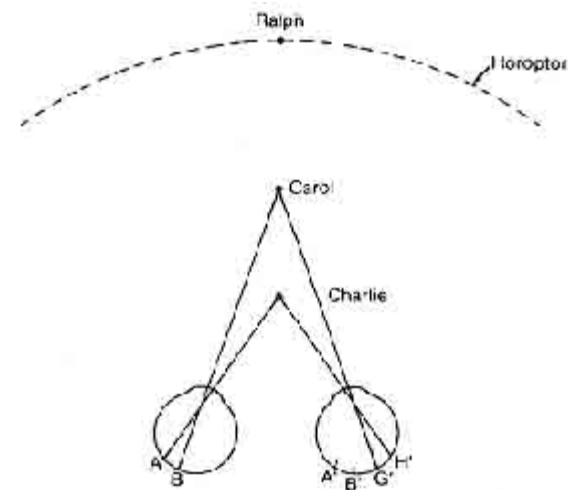
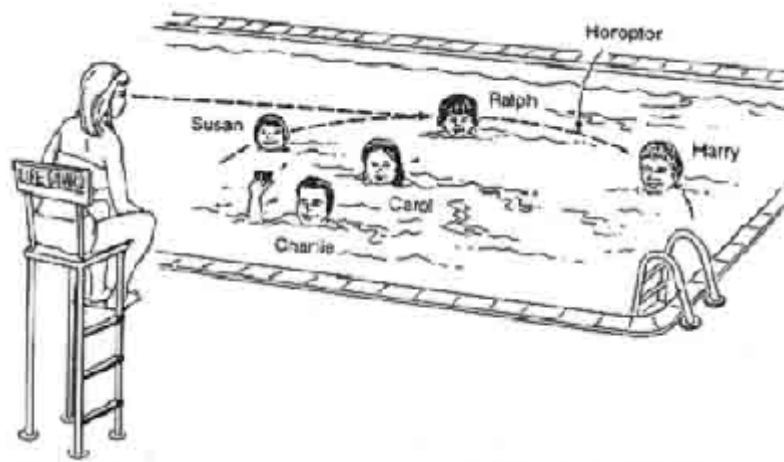


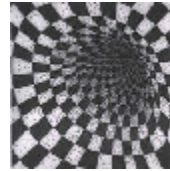


Binokulare Tiefeninformation

Der Clou

1. Gegenstände, die nicht auf dem Horopter liegen, fallen auf nicht-korrespondierende (disparate) Netzhautstellen. Je größer die Distanz (Querdisparation), desto größer die empfundene Tiefe.

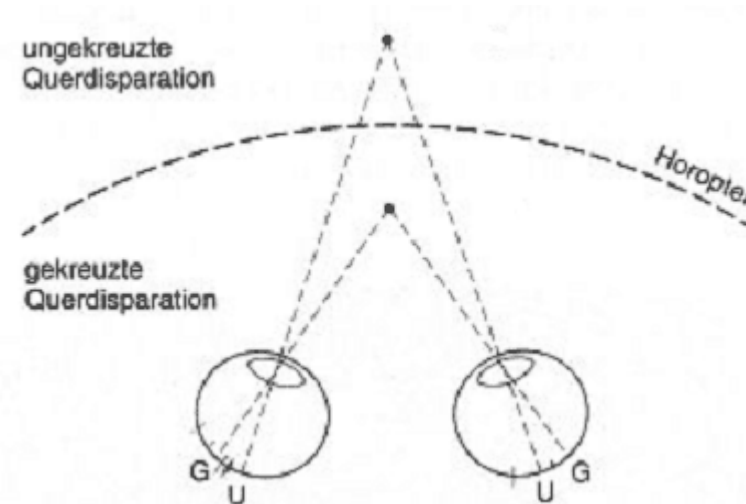


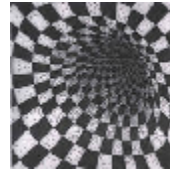


Binokulare Tiefeninformation

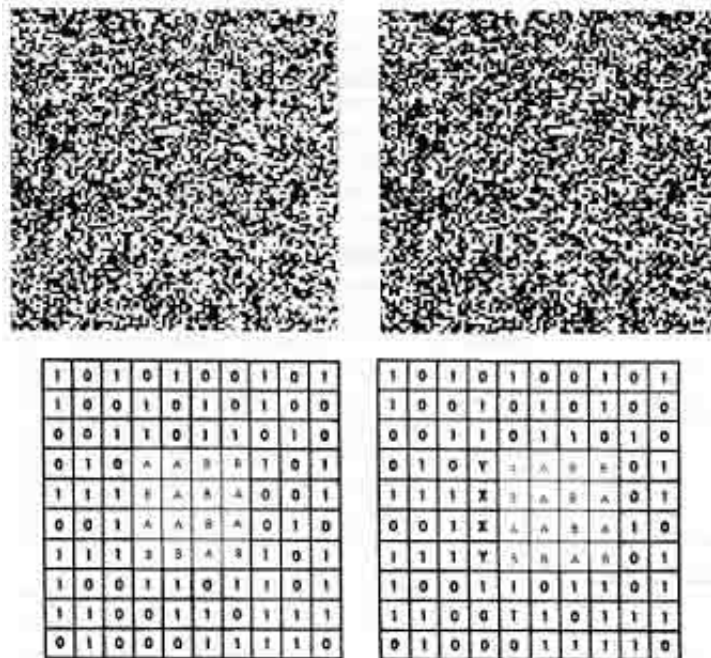
Der Clou

2. Punkte vor dem Horopter erzeugen gekreuzte Querdisparation, Punkte hinter dem Horopter erzeugen ungekreuzte Querdisparation. Ersteres signalisiert, dass ein Objekt näher ist als der Fixationspunkt. Letzteres signalisiert, dass ein Objekt weiter entfernt ist als der Fixationspunkt.





Das Korrespondenzproblem



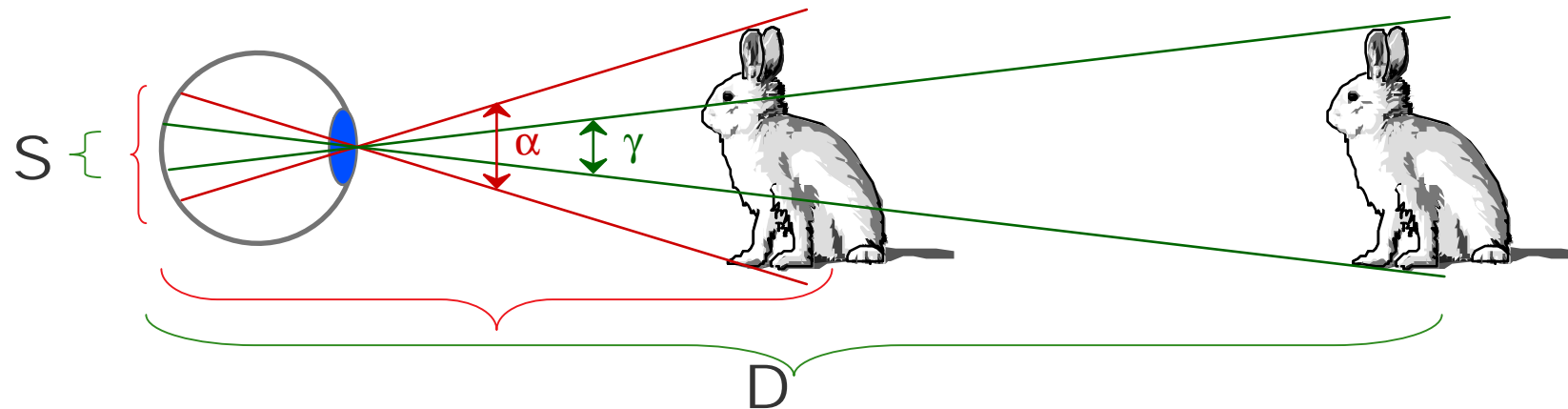
Wie schafft das Gehirn die Berechnung der Information?

Das visuelle System muss differenzieren, ob die Aktivierung von disparaten Netzhautstellen tatsächlich darauf zurückgeht, dass ein Objekt in der Tiefe versetzt ist.

Dies ist etwa so schwierig, wie die Kontur im Stereogramm durch lokale Vergleichsprozesse zu finden.



Definition



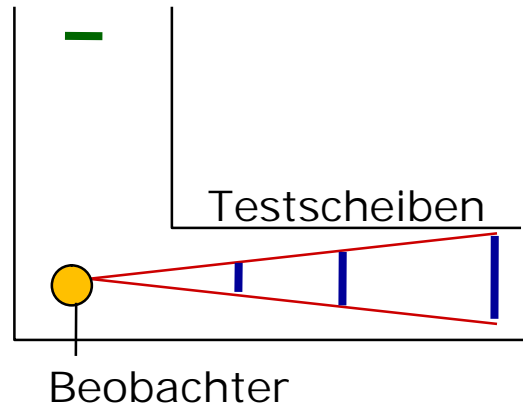
$S = 2 \cdot \tan(\alpha/2) \cdot D$
mit
S = Größe
 α = Sehwinkel
D = Distanz

Auch wenn sich die Größe des Netzhautabbildes (S) aufgrund der wahrgenommenen Distanz (D) ändert, nehmen wir die physikalische Größe des Objekts korrekt wahr.

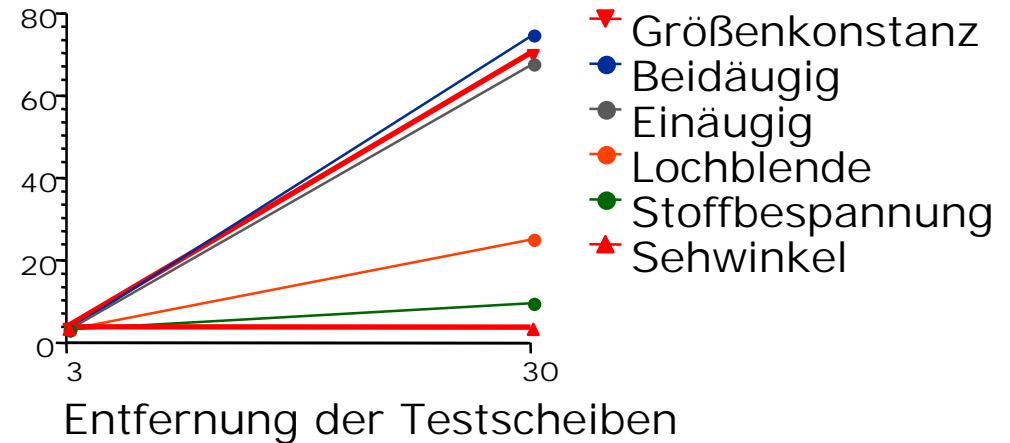


Welche Faktoren ermöglichen Größenkonstanz?

Vergleichsscheibe



Größe der Vergleichsscheibe



Experiment von Holway & Boring (1941): Vergleichsscheibe (3m Distanz) soll so eingestellt werden, dass sie die Größe einer Testscheibe (Distanz 3 – 36 Meter, konstante retinale Größe) hat.

Ergebnisse:
Korrekte Schätzung bei bino- und monokularer Betrachtung.
Defizite bei Betrachtung durch Lochblende und Reduktion der Lichtreflexionen.



DEMO: Retinales Nachbild verändert sich mit der Entfernung der Projektionsfläche.

Emmert'sches Gesetz: $G_w = K \cdot (G_n \cdot D_w)$,
mit

G_w = wahrgenommene Größe,

K = Konstante,

G_n = Größe des Netzhautbildes,

D_w = wahrgenommene Distanz.

Anwendung auf die Größenkonstanz:
Bei einer Veränderung eines Objektes auf der Netzhaut bleibt seine Größe dann konstant, wenn die wahrgenommene Distanz korrekt eingeschätzt wird.



Fehler in der Entfernungsschätzung

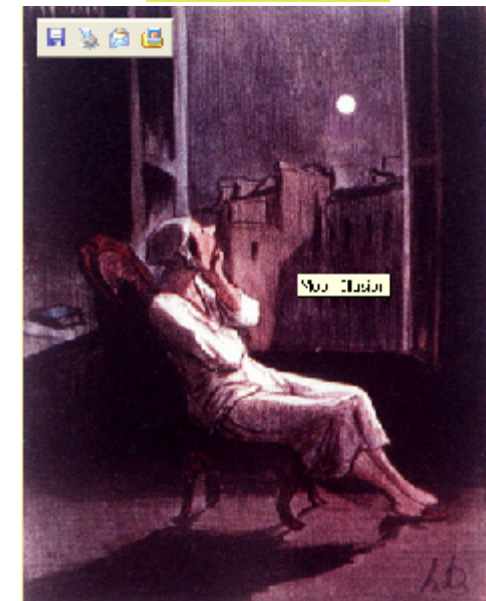
Original - Daumier



Mond-Täuschung

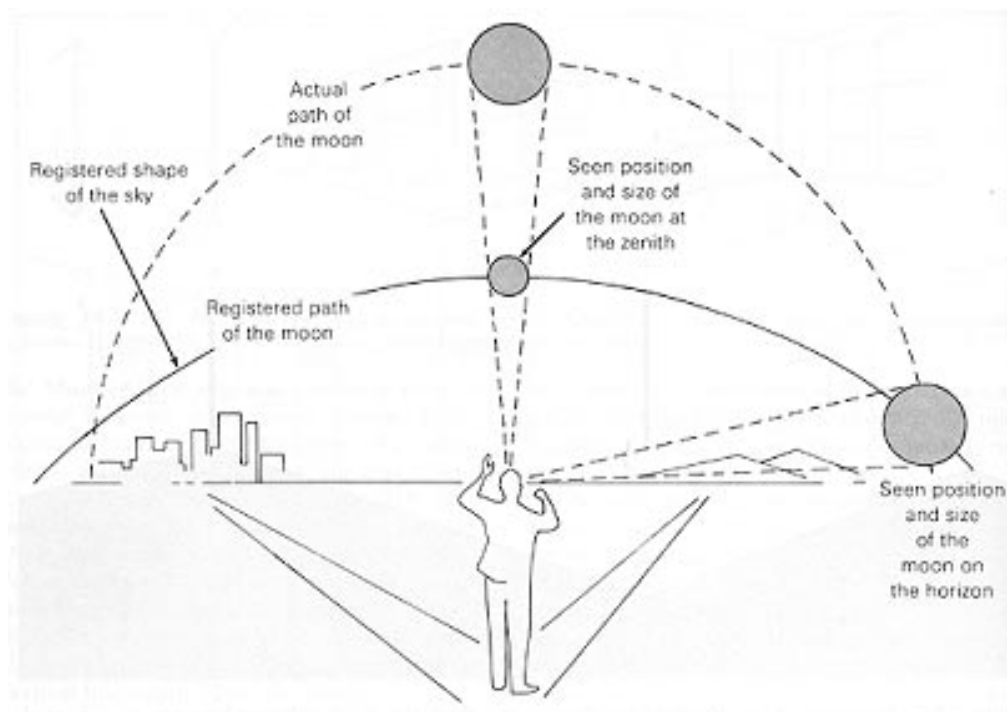
Obwohl der Mond immer eine konstante retinale Größe (0.5°) besitzt, erscheint er am Horizont größer zu sein als im Zenit

Korrektur





Fehler in der Entfernungsschätzung



Mond-Täuschung

Faktoren sind...

... das strukturierte Feld am Horizont

... die atmosphärische Perspektive

... die Fehlwahrnehmung der ‚Form‘ des Himmels

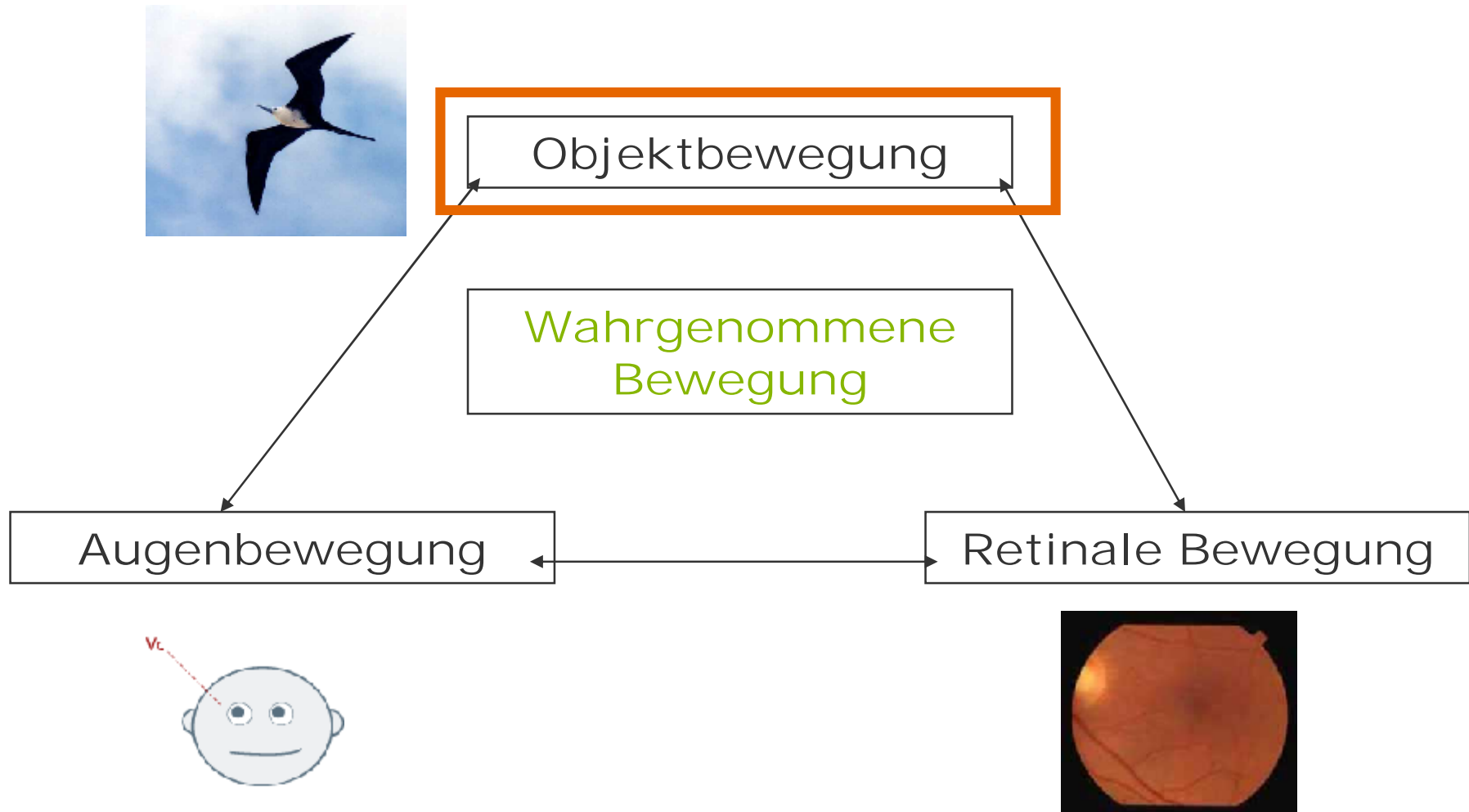


Beispielbild

Bewegungswahrnehmung

Funktionen

Welche Bewegungssignale muss man differenzieren?



Einfache lokale Bewegungen



Was definiert eine Bewegung?

Physikalische Faktoren

- Richtung
- Geschwindigkeit




Retinale Umsetzung

Angrenzende Rezeptoren werden innerhalb einer kritischen Zeitspanne aktiviert

Auf Rezeptorebene ist Bewegung eine Reihe diskreter Ereignisse

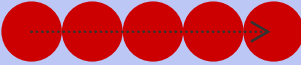
Phi-Bewegung (Scheinbewegung)



Leuchten zwei Punkte in räumlicher Nähe kurz hintereinander auf, so nimmt man eine Bewegung wahr. Die kritische zeitliche Distanz liegt bei 60 – 200ms.

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „Video“ benötigt.

Bewegungsschwellen



Bewegungen auf homogenem Hintergrund: ca. $0.2^\circ/s$
 Bewegungen auf heterogenem Hintergrund: ca. $0.05^\circ/s$

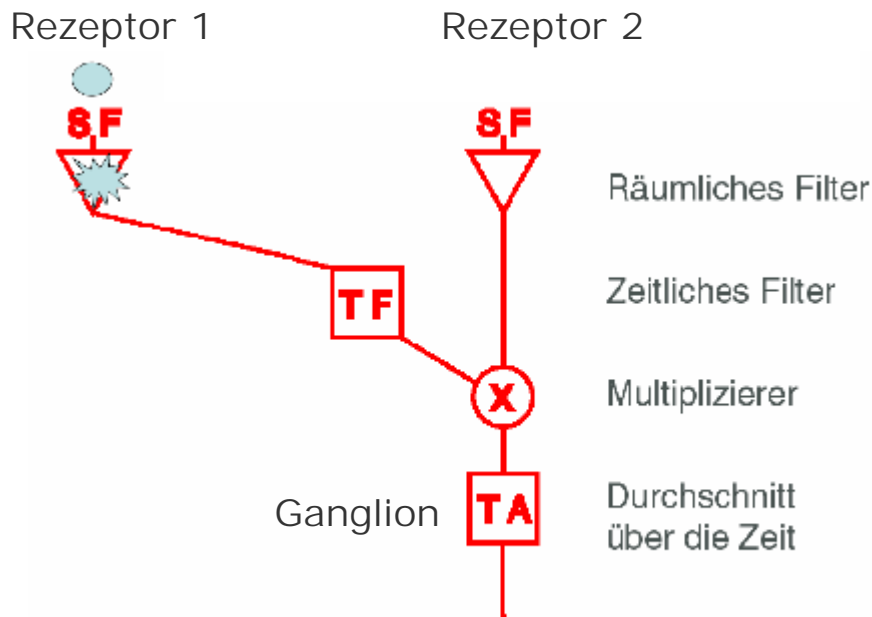
DEMO

Was passiert auf Rezeptorebene?

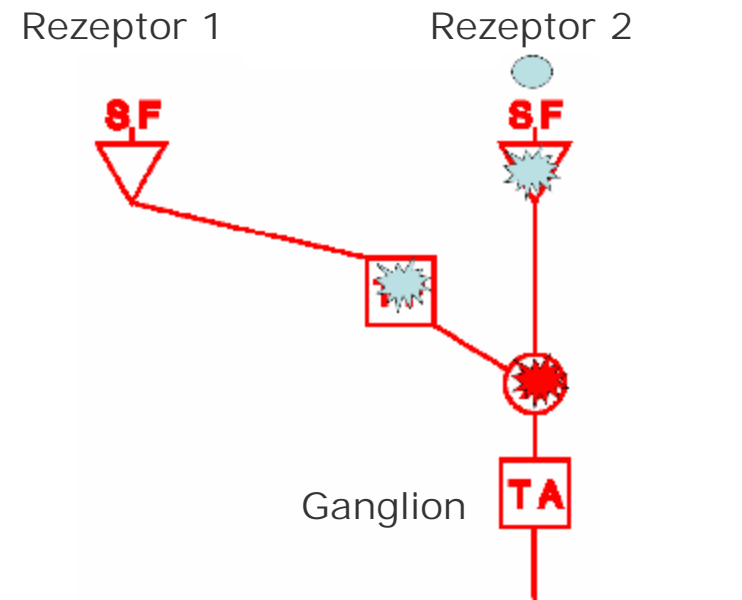
Modell von Reichardt

Zustand t1

Zustand t2



Keine Response



Ganglion feuert

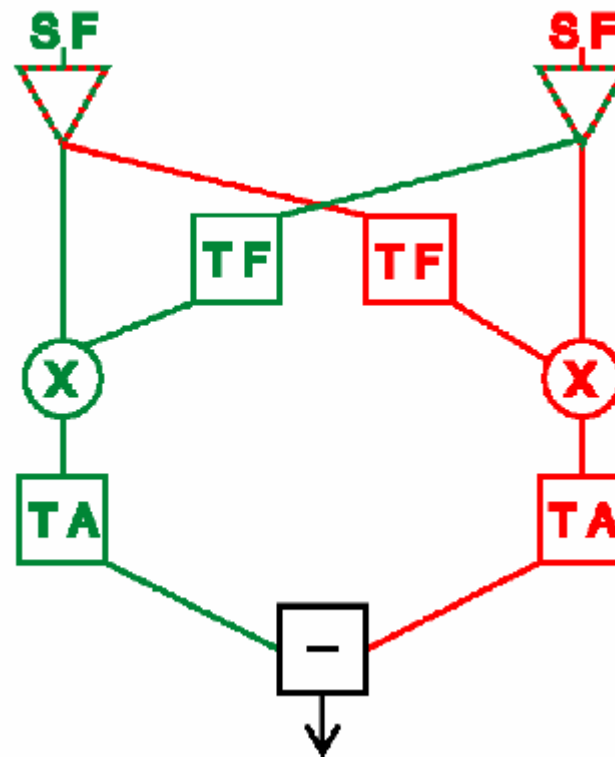
Was passiert auf Rezeptorebene?

Modell von Reichardt

Reichardt-Detektoren

Sie können die Richtung eines Reizes diskriminieren. Der zeitliche Filter bestimmt ihr Geschwindigkeits-Tuning.

Zuerst nachgewiesen für die Rezeptoren der Fliege



Räumliches Filter

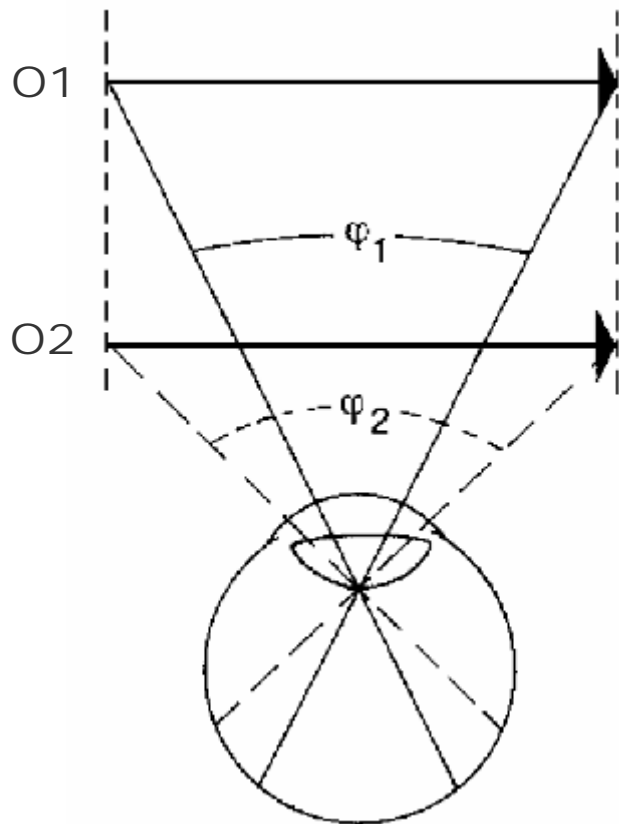
Zeitliches Filter

Multiplizierer

Durchschnitt über die Zeit

Subtraktion

Was passiert auf Rezeptorebene?



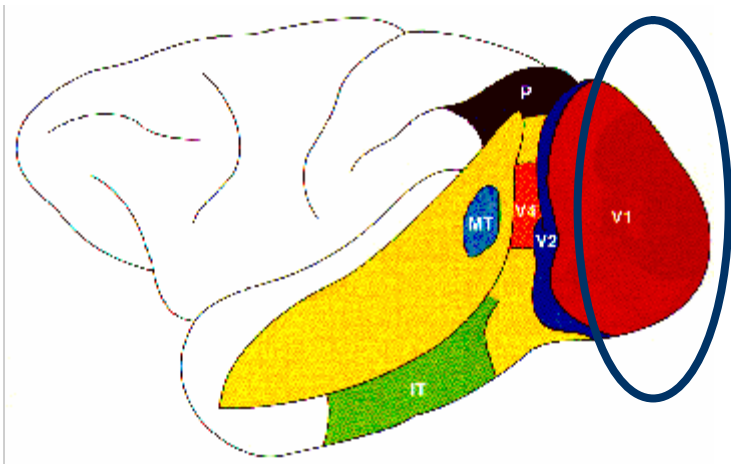
Geschwindigkeitskonstanz

Die Objekte 1 und 2 bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit. Allerdings ist ihre retinale Verschiebung unterschiedlich.

Lösung

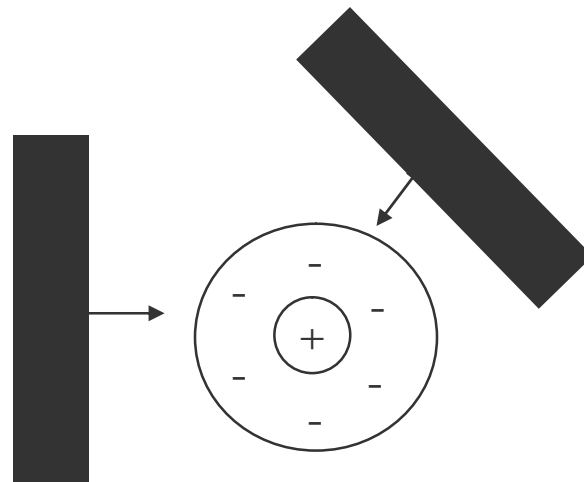
Um diese Leistung zu erbringen, muss das System wieder die Distanz zu den Objekten mit verrechnen (siehe Größenkonstanz).

Was passiert auf kortikaler Ebene?

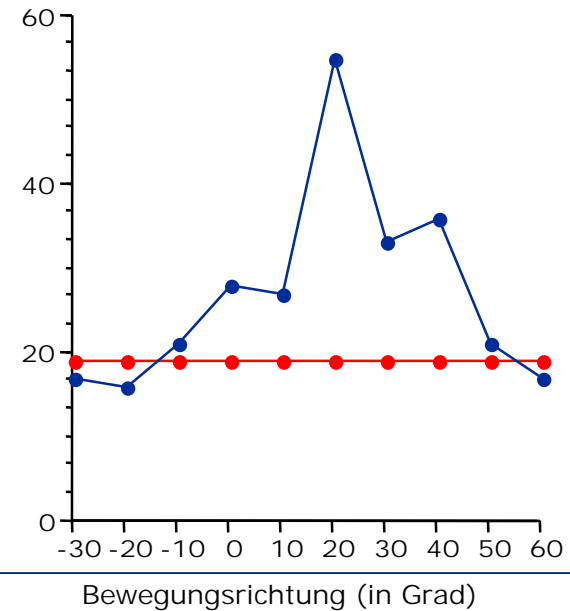


In V1 sind ca. 10% aller Zellen richtungsspezifisch. Die Neurone reagieren auf Reize, die sich senkrecht entlang einer bestimmten Orientierungsachse bewegen. Optimale Geschwindigkeit: 1 bis 10°/s.

Optimaler Reiz für V1



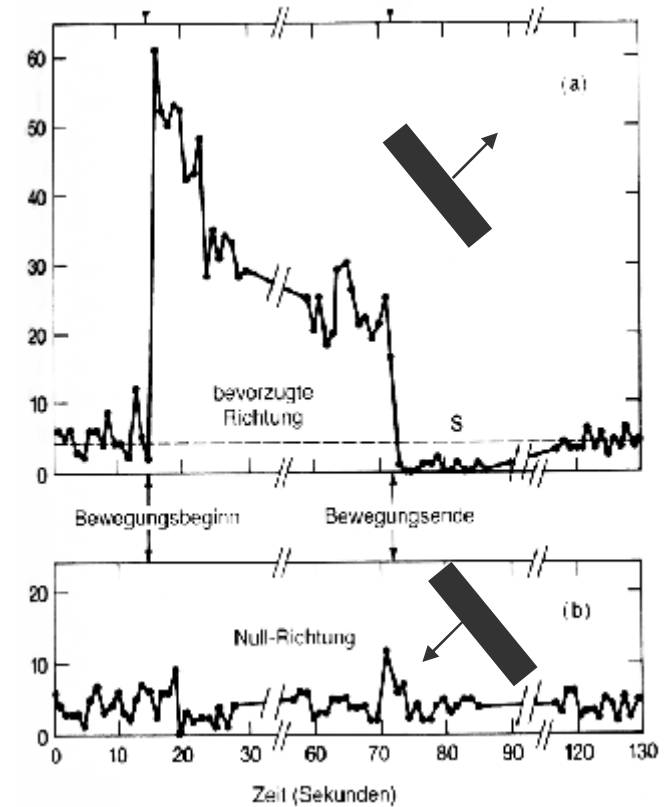
Impulse pro Darbietung



Was passiert auf kortikaler Ebene?

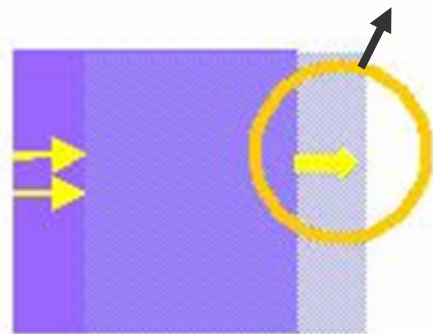


Bewegungsnacheffekt
Zeigt die Wirkung einer richtungsspezifischen Adaptation der Neurone auf die Wahrnehmung. Die Entladungsrate von Neuron 1 sinkt nach 60s Exposition unter das Ruheniveau. Damit ergibt sich ein Übergewicht für Neurone, die eine andere Richtungssensitivität aufweisen. (Barlow & Hill, 1963)

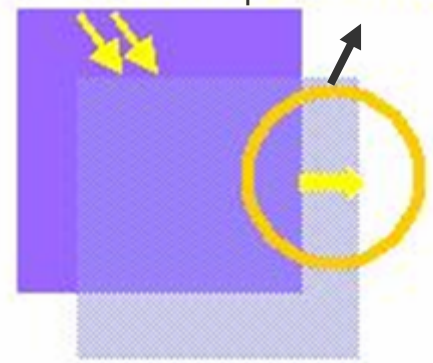


Problem

Rezeptives Feld in V1



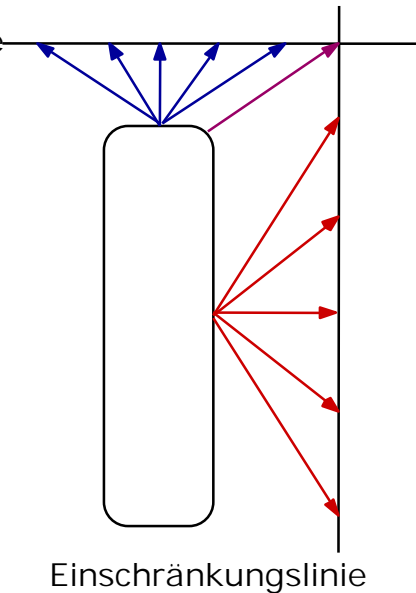
Rezeptives Feld in V1



Aperture-Problem
(Ausschnittsproblem)

Die Begrenzung des rezeptiven Feldes (Größe: ca. 0.3° in V1) ergibt Probleme in der Extraktion der Richtung von größeren bewegten Flächen, da nur eine Bewegung orthogonal zu einer Kante erkannt werden kann.

Einschränkungslinie

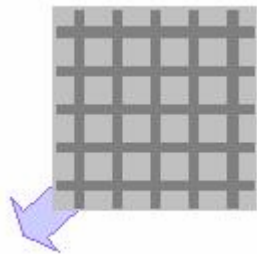
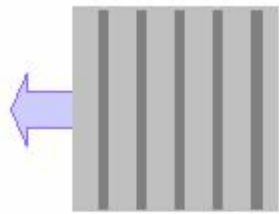


DEMO

Komplexe kortikale Verarbeitung



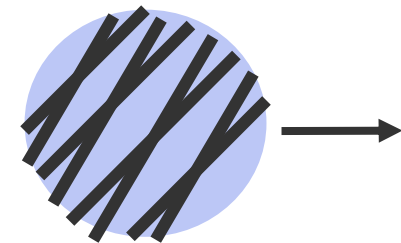
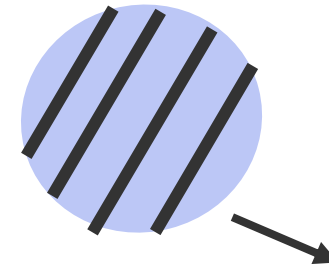
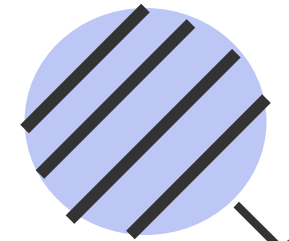
Problem und Lösung



Plaid-Muster-Effekt
Überlagert man zwei Reizmuster, die durch Einschränkungslinien charakterisiert sind, so kann ein neuer globaler Bewegungseindruck entstehen (Intersection of Constraints).

DEMO

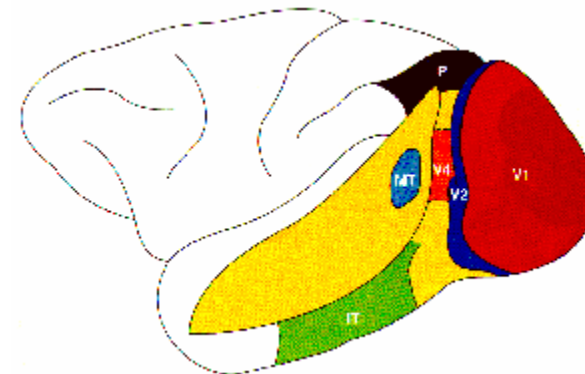
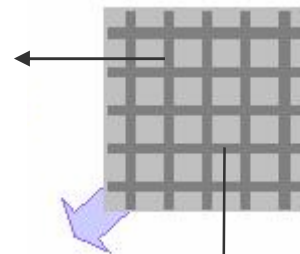
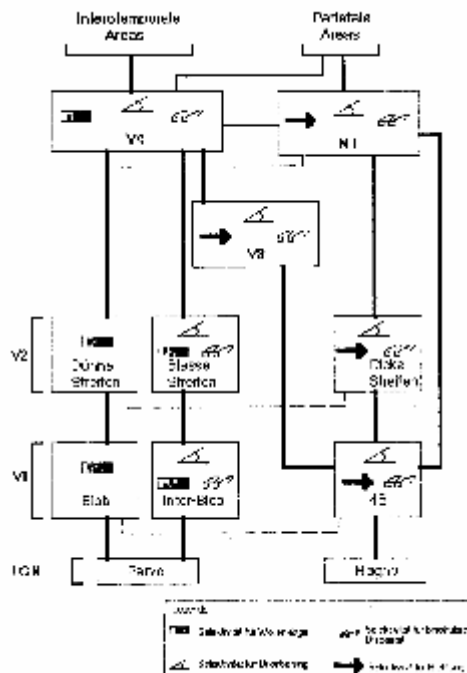
DEMO



Kortikale Lösungen

Computational Vision Science
 Es liegen viele mathematische Modelle vor, wie die Verrechnung komplexer Bewegungsinformation erfolgen kann.

Elektrophysiologie
 Es liegen viele empirische Studien vor, die zeigen, auf welcher Stufe das Problem gelöst wird.

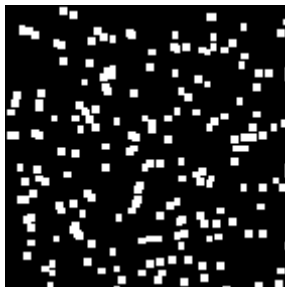
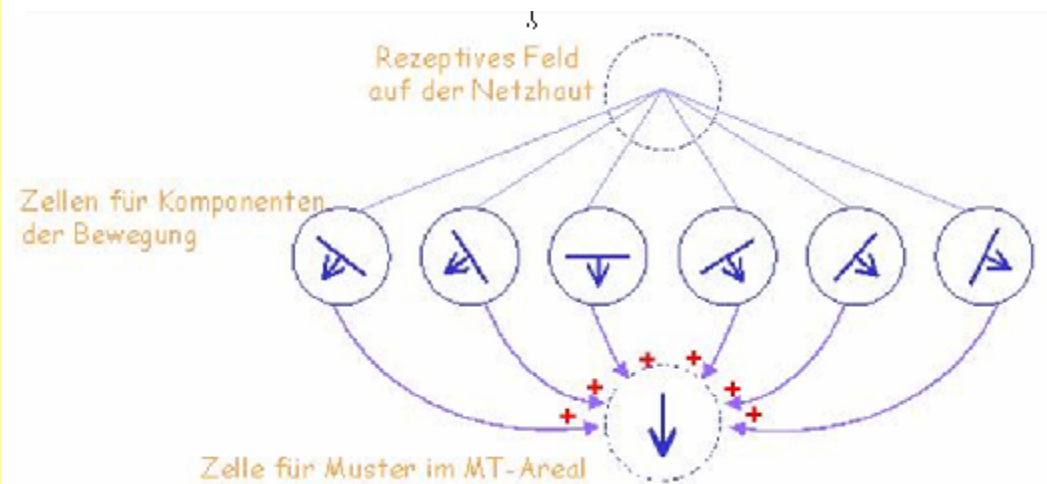


Richtungspräferenz	↓	↙	←
V1	+	-	+
MT (V5)	-	+	-

Verarbeitung im extrastriären Kortex

Bewegungsintegration

V1- und MT(V5)-Neurone unterscheiden sich bezüglich der rezeptiven Feldgröße und Spezifität. Die kleinen rezeptiven Felder von V1 können die lokalen Komponenten einer Richtung unterscheiden. Die größeren rezeptiven Felder von MT(V5) können die globale Bewegungsrichtung extrahieren. Letzteres bestimmt das Perzept!



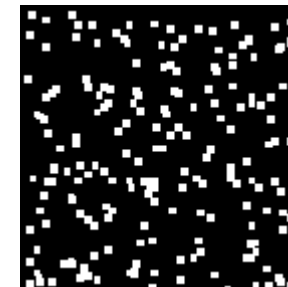
0%



50%



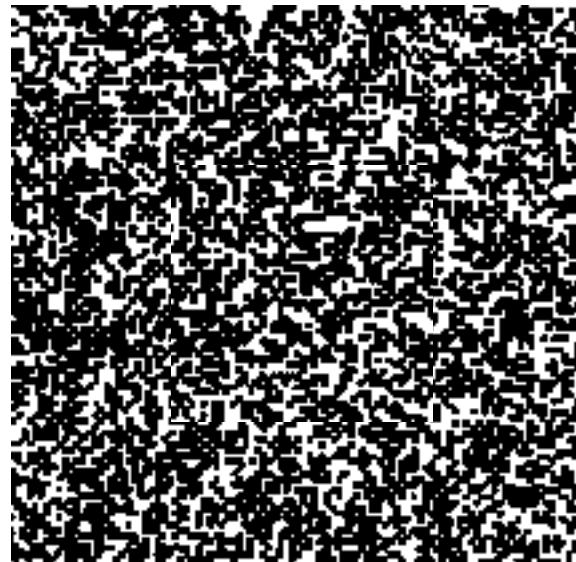
75%



100%

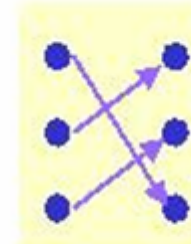
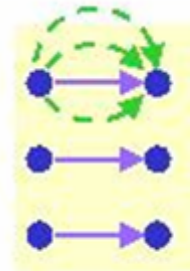
Das Korrespondenzproblem

Für Zufallsstereogrammen



Das Korrespondenzproblem

Problemfälle (1)



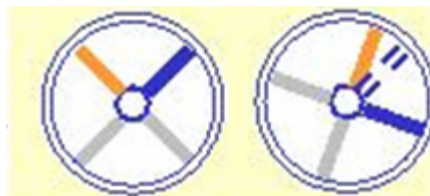
Korrespondenzproblem

Wie entscheidet das visuelle System, ob mehrere Punkte zusammengehören?

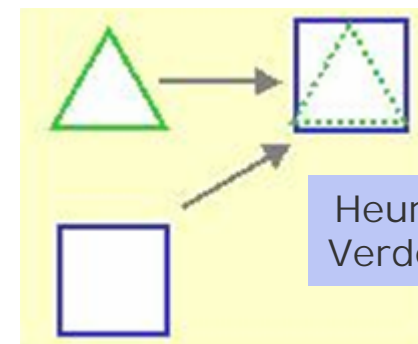
Wie entscheidet das visuelle System über die Trajektorien eines Reizes?

Wie segmentiert und integriert das visuelle System die dynamische Information?

Heuristik:
Kürzester Weg



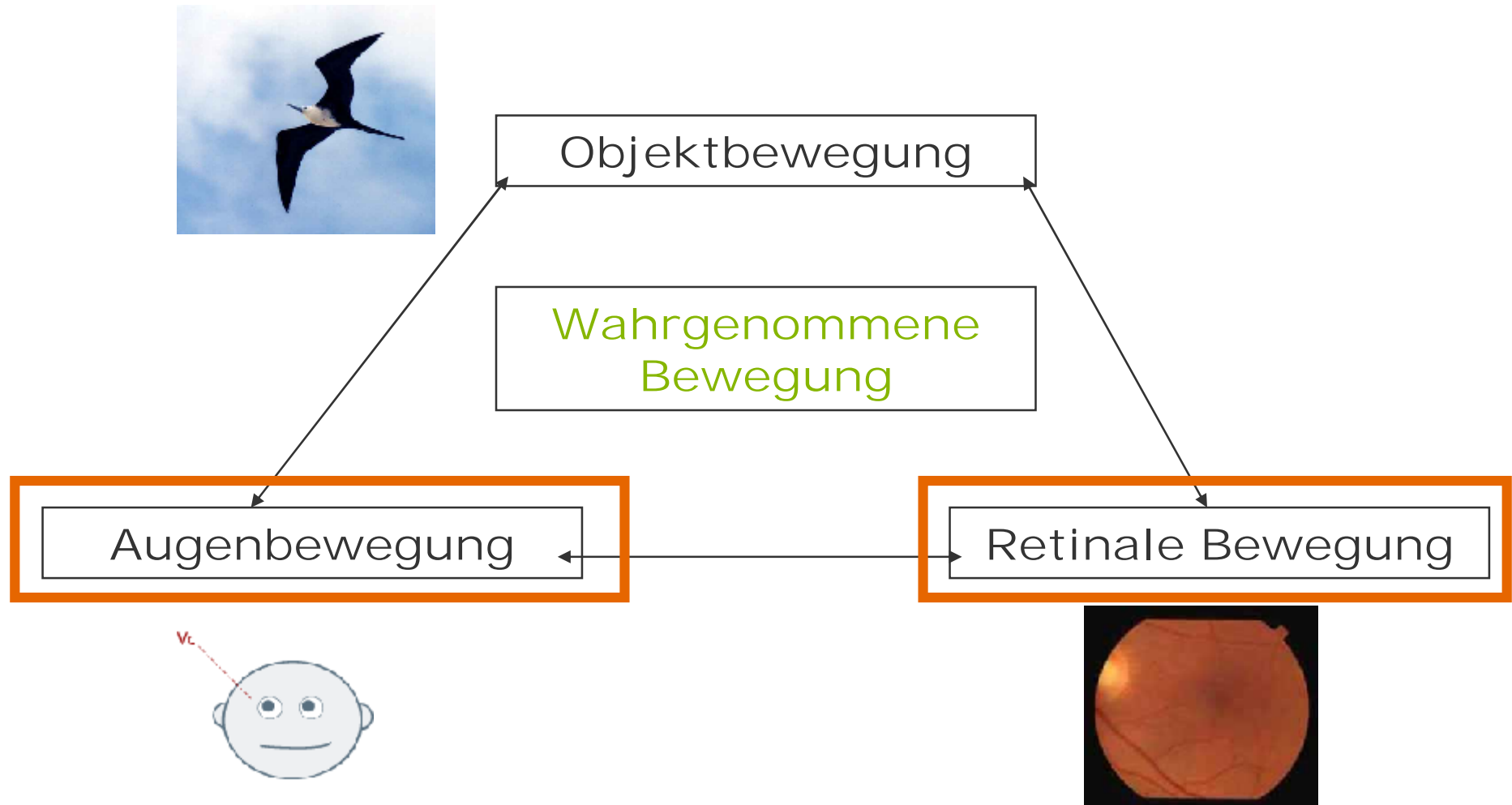
Heuristik:
Trägheit



Heuristik:
Verdecken

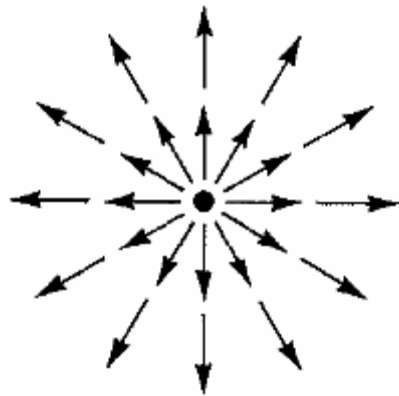
Funktionen

Welche Bewegungssignale muss man differenzieren?



Fremd- und Eigenbewegung

Noch mehr Probleme...



Flussfelder

Was kann das Flussfeld verdeutlichen?

„Ich bewege mich im Raum auf einen Gegenstand zu“

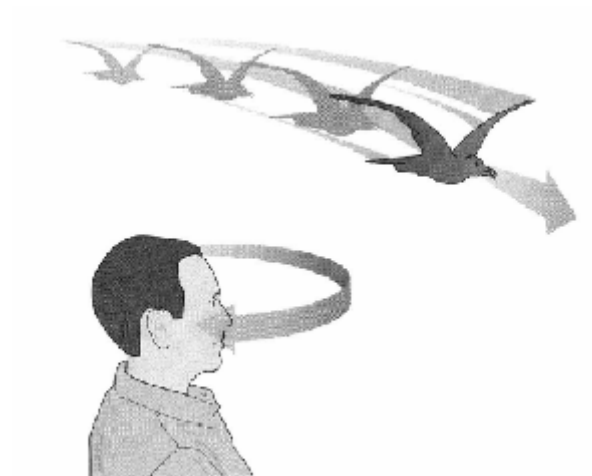
Oder

„Der komplette Raum bewegt sich und ich bin statisch“

Augenfolgebewegungen

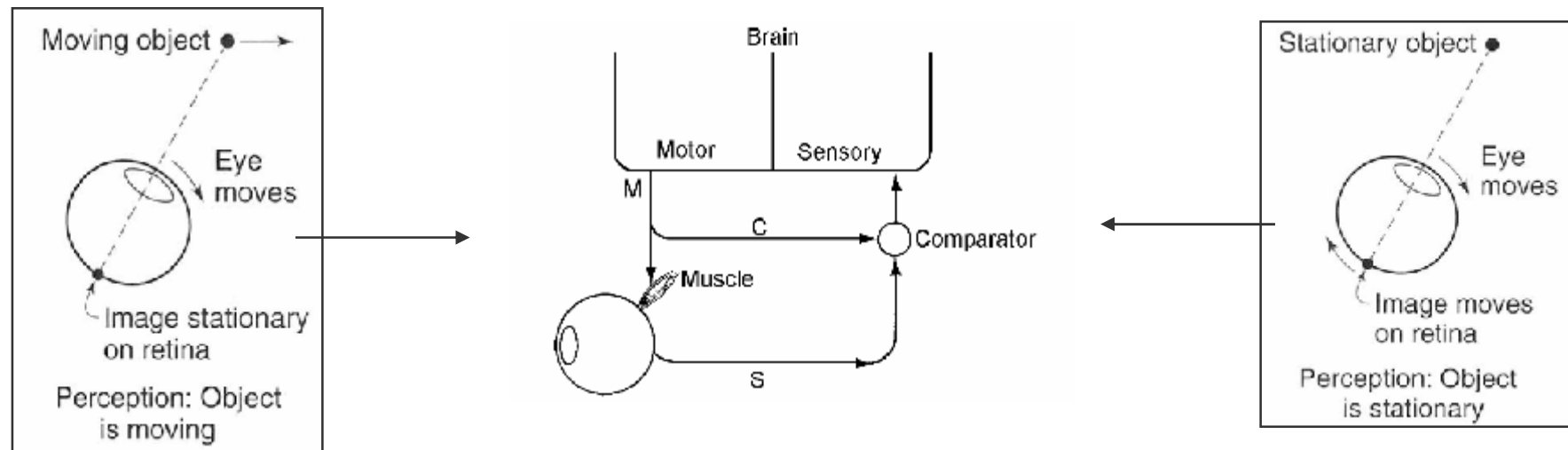
(Kopfbewegungen)

Der verfolgte Vogel aktiviert nicht die Bewegungsdetektoren, da er statisch auf der Netzhaut bleibt. Woher weiß ich, dass er trotzdem nicht statisch in der Luft schwebt?



Fremd- und Eigenbewegung

Reafferenzprinzip



Reafferenzprinzip (von Holst und Mittelstaedt, 1950)

Das Bewegungssignal zur Steuerung der Augenbewegungen wird als Kopie (Efferenzkopie) mit der aus dem Netzhautbild gewonnenen Bewegungsinformation (Reafferenz) verglichen. Unterschiede erzeugen Bewegungswahrnehmung.

Fremd- und Eigenbewegung

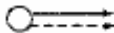
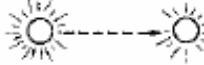
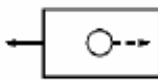


Reafferenzprinzip: Belege

Reizmuster	Auge	Retinales Bild	Wahrnehmung
Bewegt	Unbewegt	Bewegt	Bewegung
Bewegt	Verfolgt Objekt	Stationär auf Fovea	Bewegung
Stationär	Bewegt	Bewegt	Keine Bewegung
Stationär	Passiv bewegt	Bewegt	Bewegung
Stationär auf Retina	Bewegt	Stationär	Bewegung

Empirische Belege für das Reafferenzprinzip

1. Lähmung der Augenmuskeln: Scheinbare Bewegung bei Versuch einer Augenbewegung
2. Passives Bewegen des Auges: Umwelt scheint sich zu bewegen
3. Nachbild: Negatives Nachbild eines Punktes bewegt sich mit der Augenbewegung
4. Autokinetisches Phänomen

Wie kann man Bewegungen klassifizieren?

Movement	Stimulus	Conditions
(a) Real		Light physically moves.
(b) Apparent		Lights flashed one after another with about 20-400 msec. in between. Movement is perceived from one light to the other.
(c) Induced		Light surrounded by a larger object which is moved. Light appears to move in opposite direction.
(d) Autokinetetic		Light viewed in a completely dark room. Movement can be perceived in any direction.
(e) Movement aftereffect		Moving stripes are viewed prior to viewing light. Light appears to move in opposite direction to stripe movement.

Echte lineare Bewegung

Lokale diskrete Leuchtdichte-änderung

Induzierte Bewegungen

Illusorische Bewegungen