Programm der Fortbildung

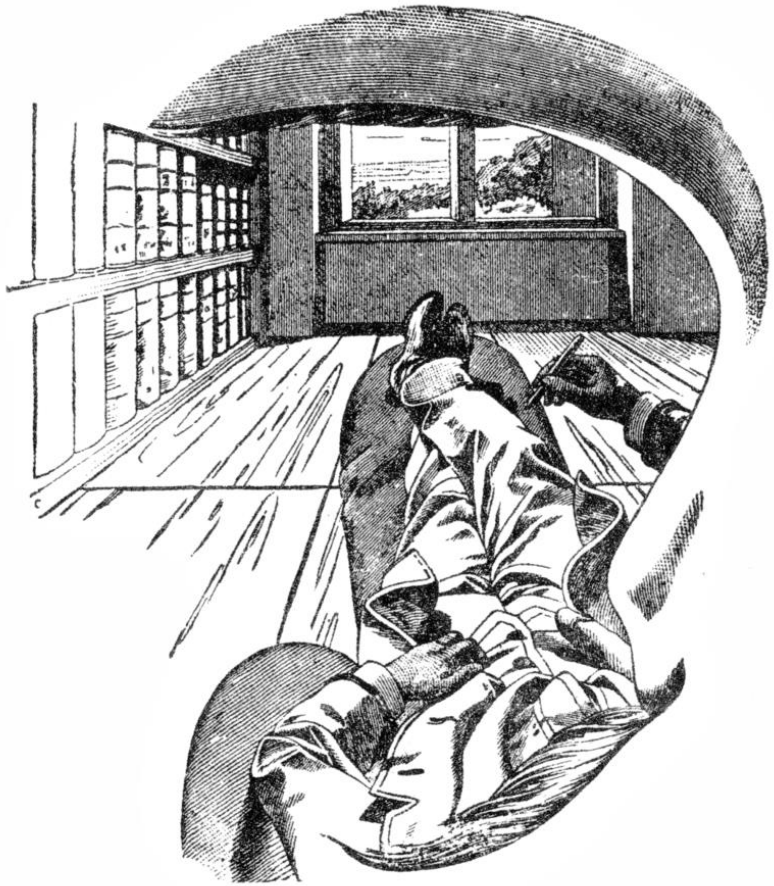
Zeit	Titel des Vortrags	Redner
14:00	Begrüßung	Uwe Ilg Schülerlabor Neurowissenschaft
14:15	Fledermäuse - Sehen mit den Ohren	Michael Walter, Tierphysiologie
15:00	Aktive Elektroortung und Elektrokommunikation bei schwach elektrischen Fischen	Jan Grewe, Neuroethologie
15:45	**Kaffee - Diskussion – Pause**	
16:15	Aktives Tasten mit Tasthaaren und Fingerbeere	Cornelius Schwarz , Kognitive Neurologie
17:00	Aktives Sehen – Sehen mit bewegten Augen	Uwe Ilg, Kognitive Neurologie
17:45	**kurze Pause**	
18:00	Navigation assistance for people with visual impairment and blindness	Adam Spiers, MPI IS

Aktives Sehen

Sehen mit bewegten Augen

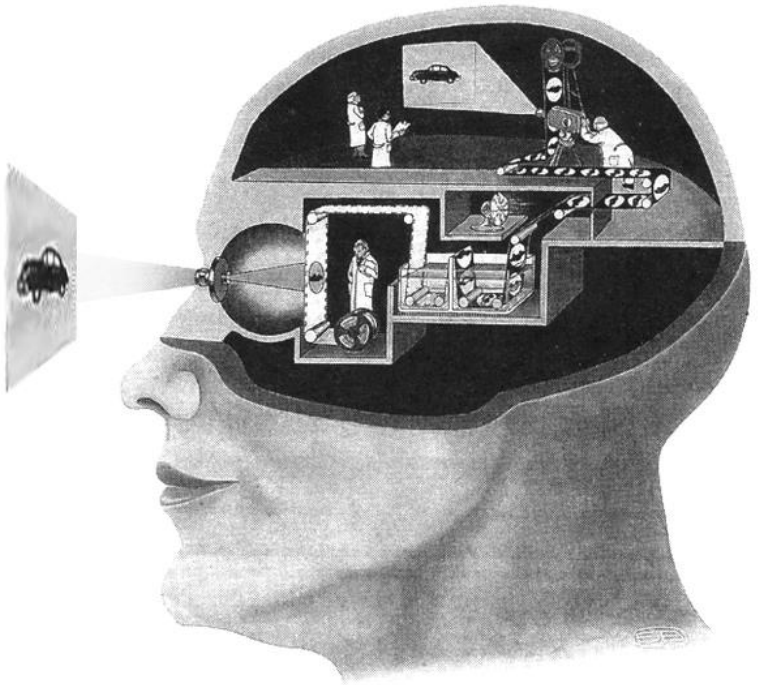
Uwe J. Ilg
Kognitive Neurologie
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung
Otfried-Müller-Str. 27
72076 Tübingen

Wahrnehmung als passiver Prozess?



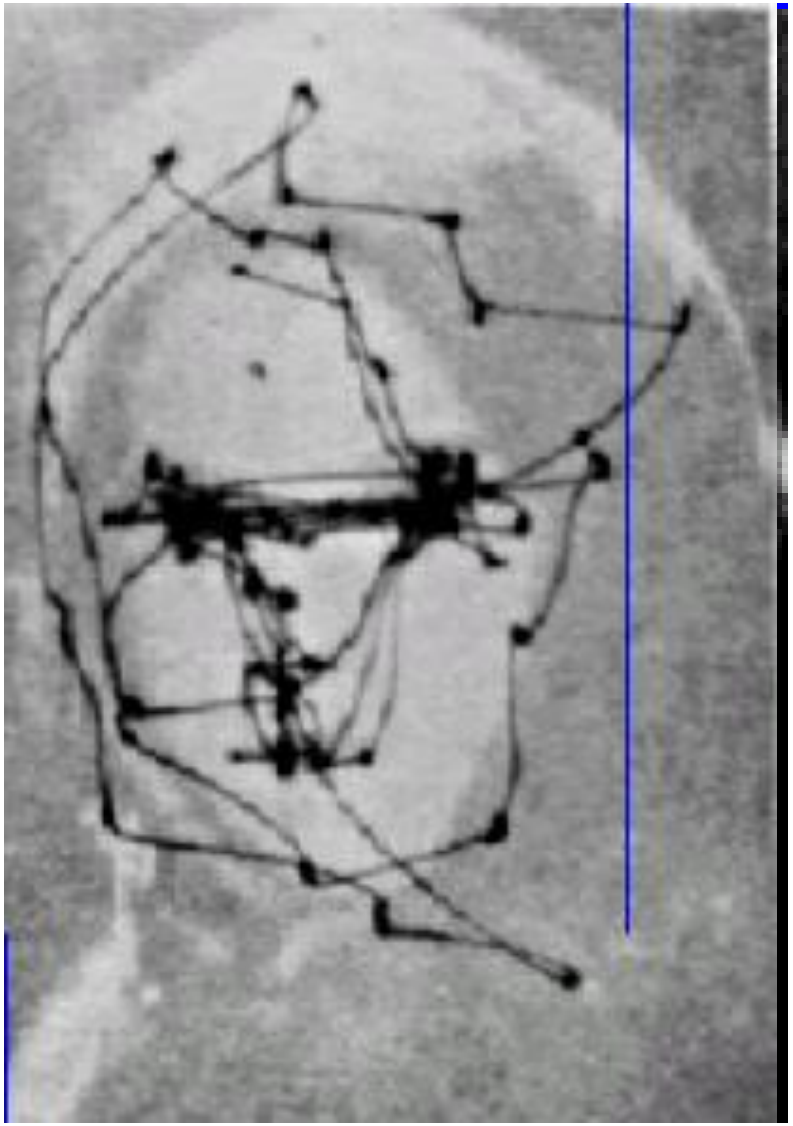
Ernst Mach
1886

Beispiel Sehen



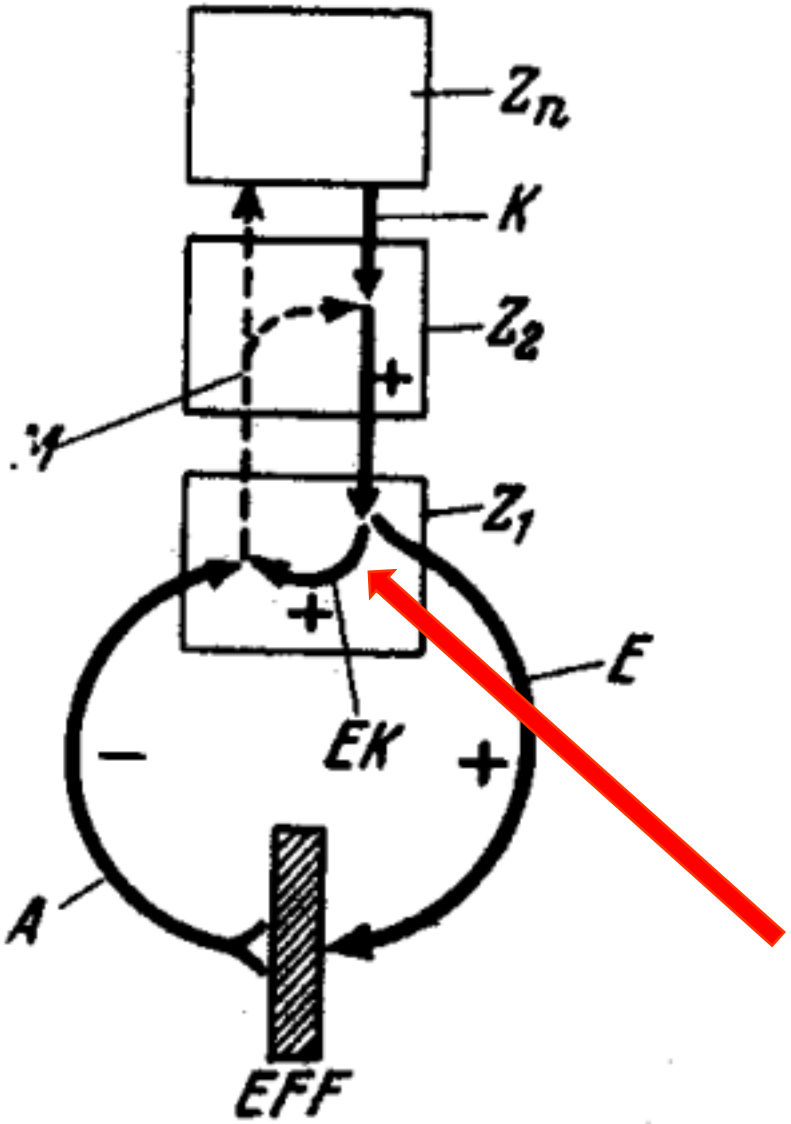
https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-8f24c74a6ed3781963c385af11e42825

Stabilität der visuellen Wahrnehmung trotz ständig ausgeführter Augenbewegungen



Yarbus
1969

Reafferenz Prinzip



Zentrum Z_1 versorgt den Effektor FFF mit Bewegungskommandos und erhält sensorische Information

Hierarchie der Zentren Z_1 bis Z_n

Kommando **K** löst eine efferente Impulsfolge **E** aus**,**
gleichzeitig wird eine Reafferenz **A** (-)
und eine Efferenkopie **EK** (+) übertragen

Z_1 sendet eine Nachricht **M** an die höheren Zentren

Erich von Holst & Horst Mittelstaedt (1950)
Das Reafferenzprinizp.

Fliege: Rotation Kopf

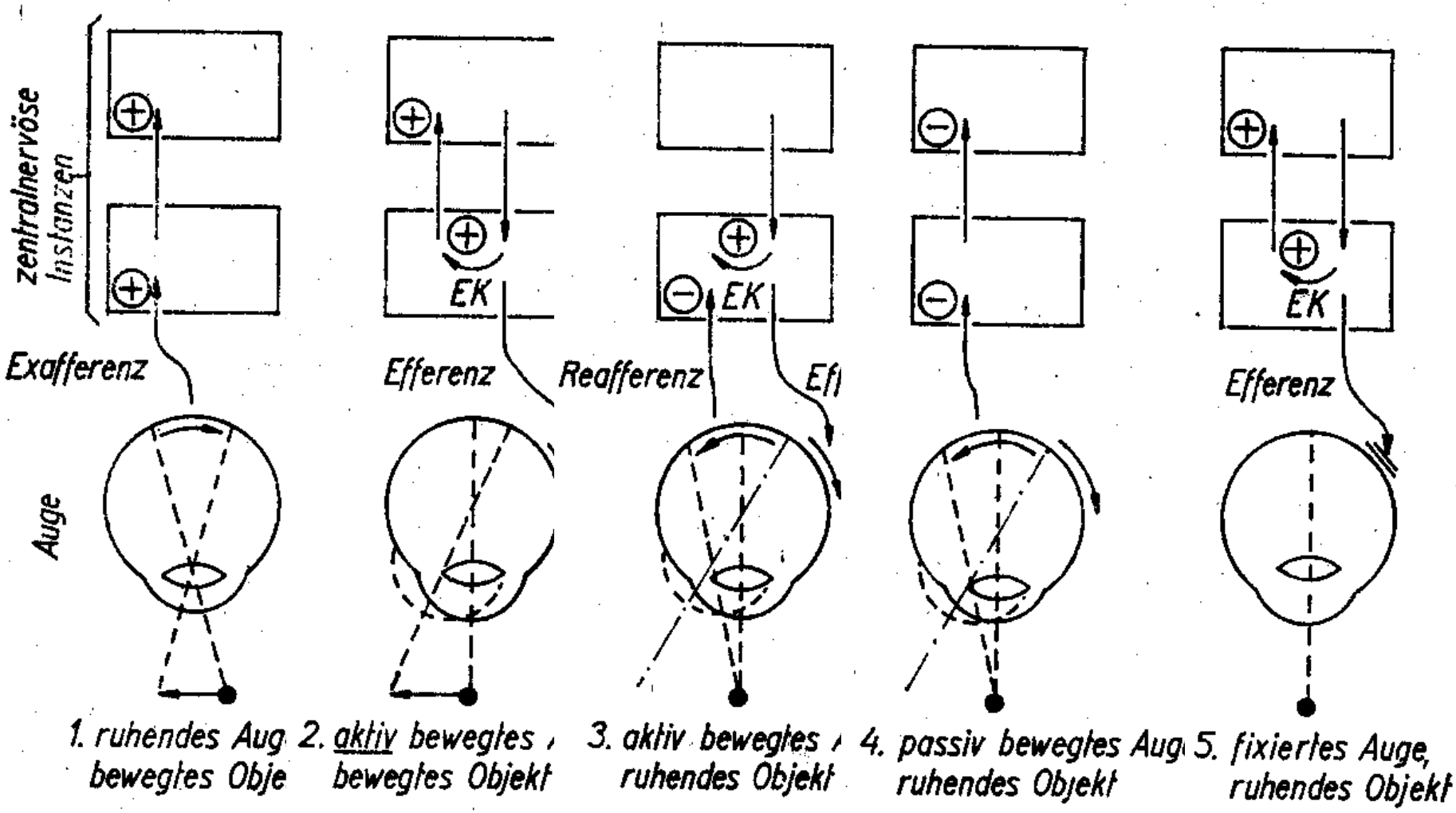
Sperry (1950)
Neural basis of the spontaneous optokinetic response
produce by visual inversion

Forelle: Rotation Auge

Meine eigene Interpretation:

Corollary Discharge: binärer Schalter (on/off)
Efference Copy: vektorielle Größe

Reafferenzprinzip erklärt Wahrnehmung



Bitte alle Mitmachen

Penzlin, Lehrbuch der Tierphysiologie

Augendruckexperimente

binokularen Augenposition und Kraft auf das rechte Auge

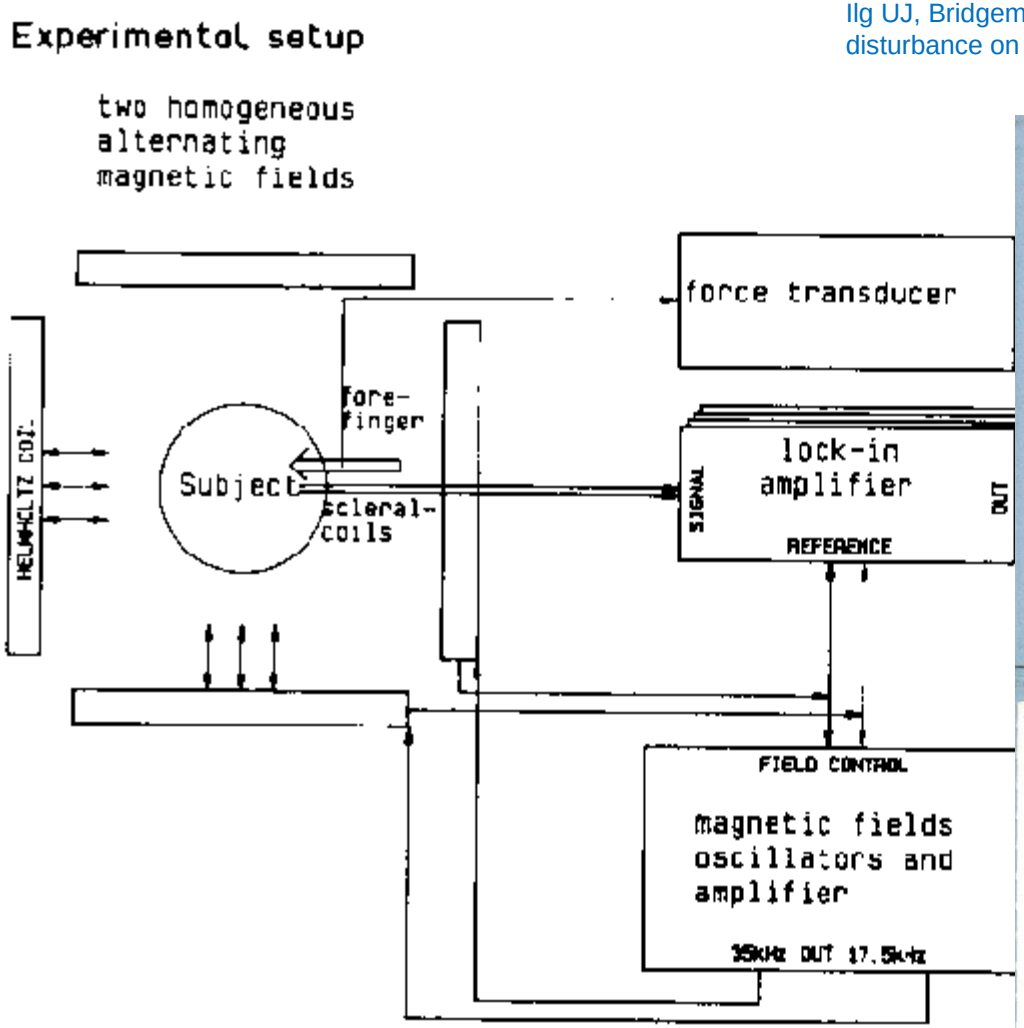
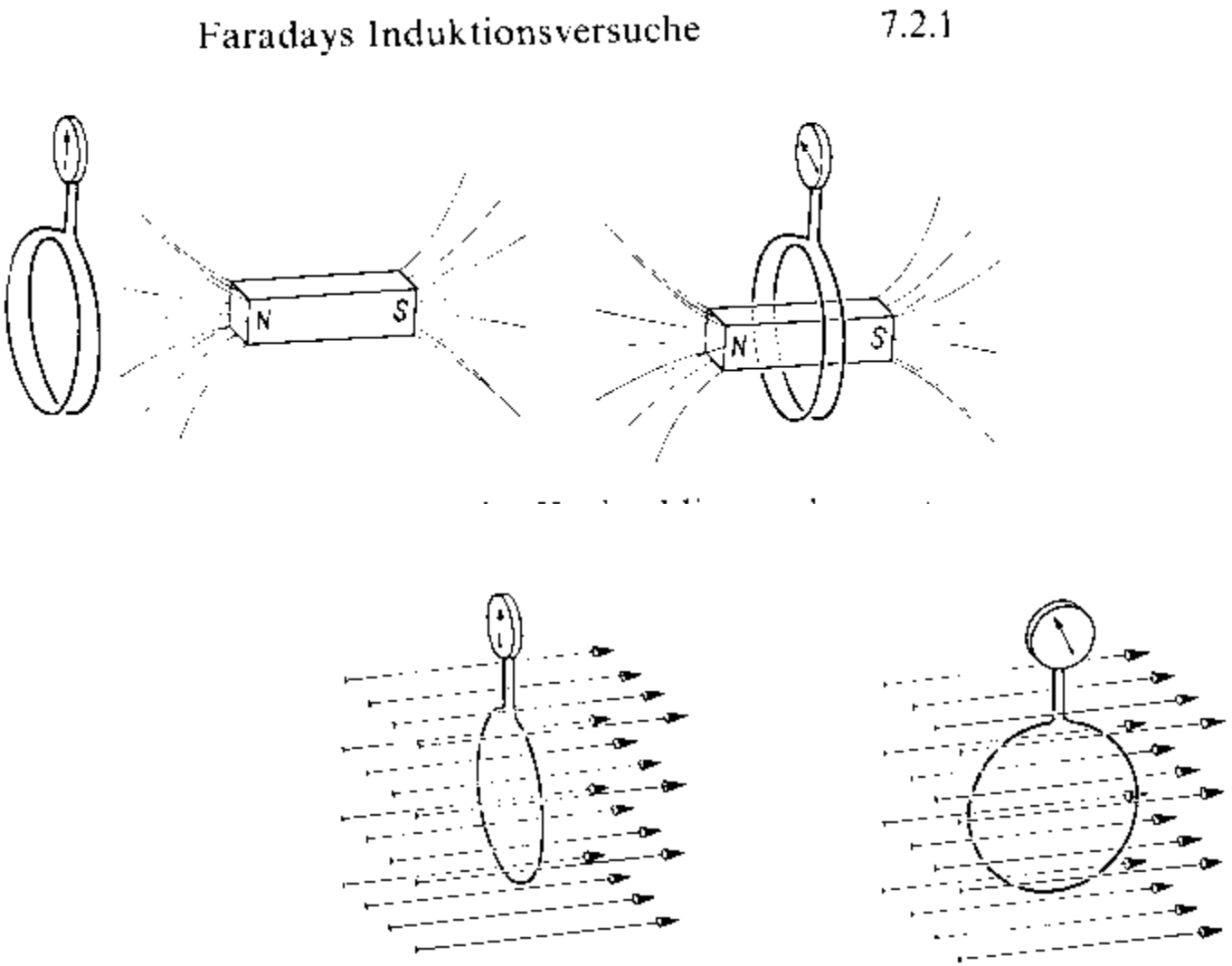


Fig. 1. Experimental apparatus for eye-pre

Ilg UJ, Bridgeman B, Hoffmann KP (1989) Influence of mechanical disturbance on oculomotor behavior. Vision Res 29:545-551.

Augendruckexperimente

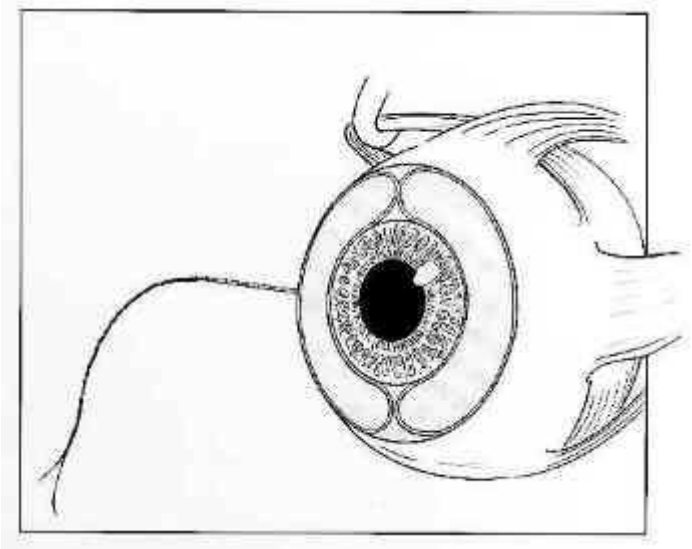
Präzise Messung der Augenposition: Skleralspulen

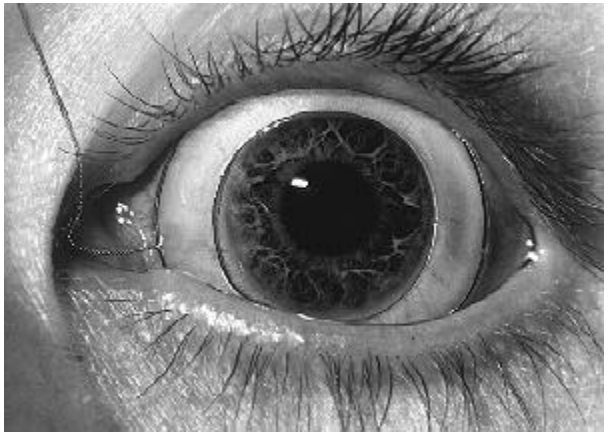


Augendruckexperimente

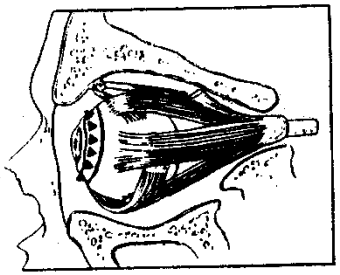
Präzise Messung der Augenposition: Skleralspulen

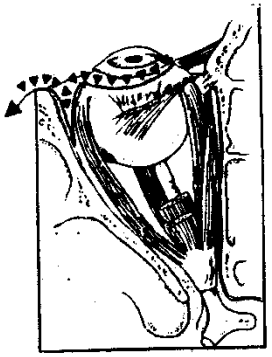
human





animal

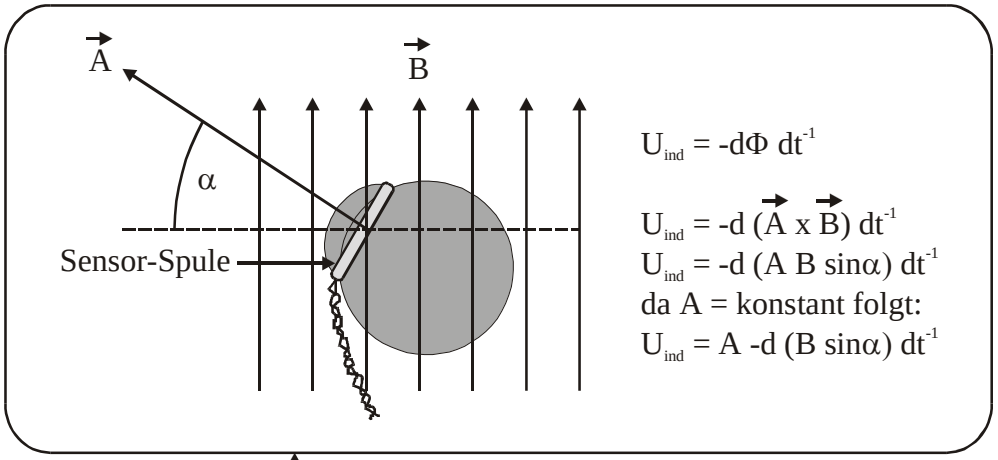


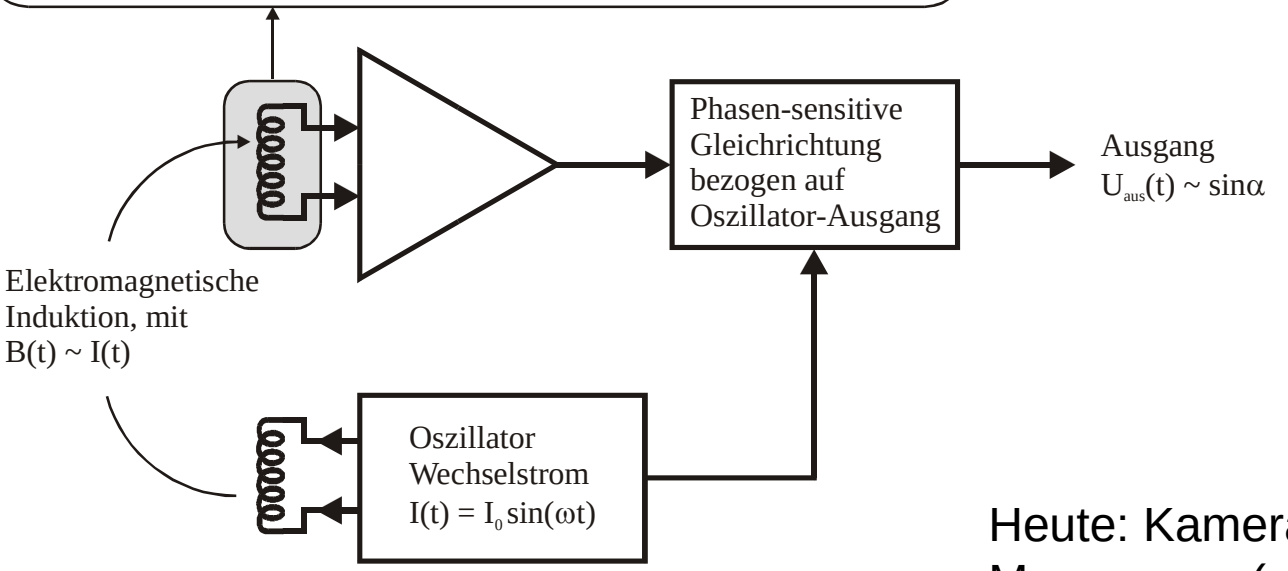


search coil technique

Augendruckexperimente

Präzise Messung der Augenposition: Skleralspulen

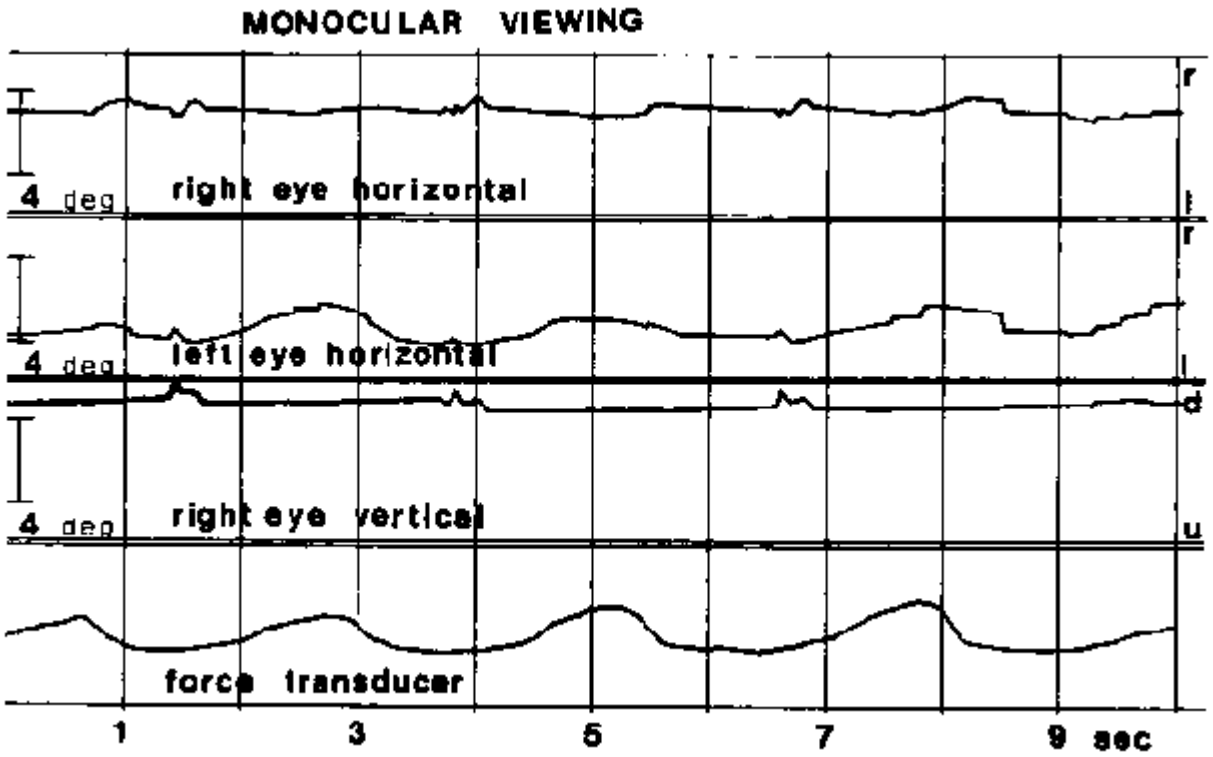




Heute: Kamera-basierte Messungen (smart phone)

Augendruckexperimente
Experimentelle Daten

Monokulares Sehen (rechtes Auge), linkes Auge abgedeckt
rechtes Auge gedrückt,



Offenes Auge

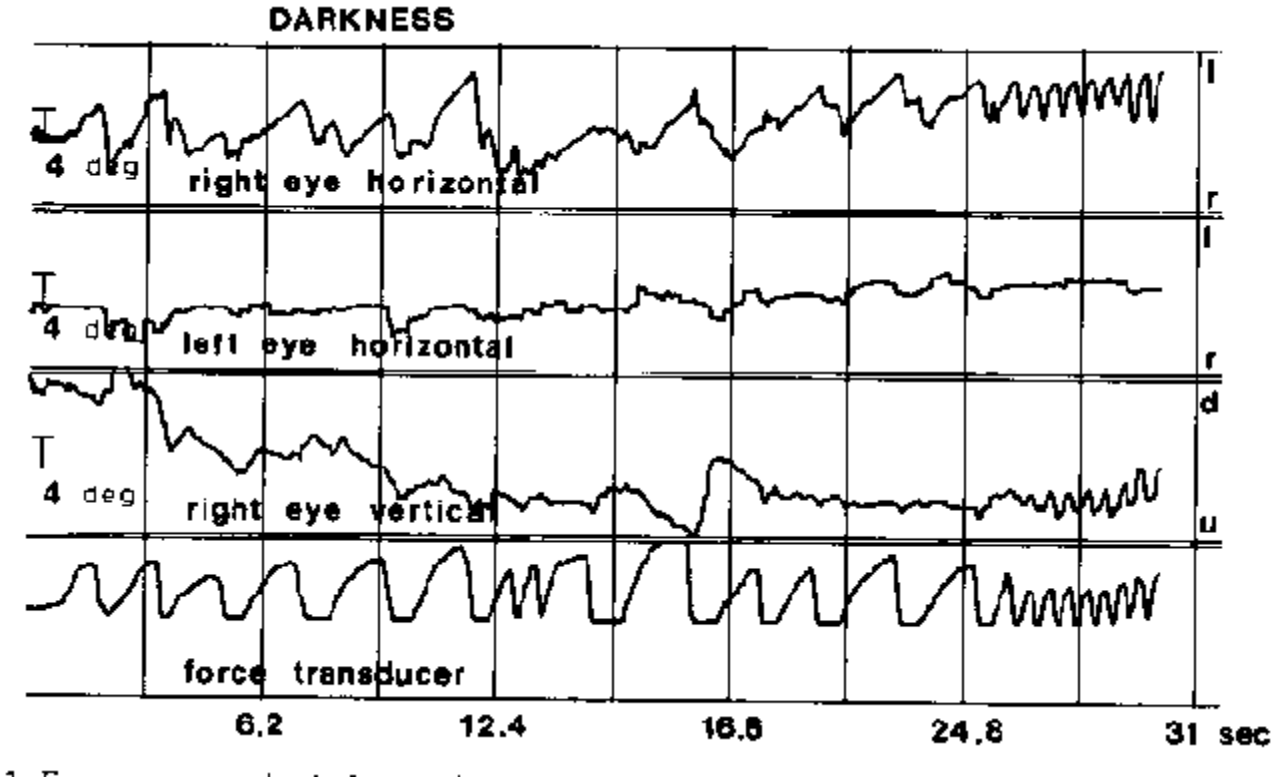
Abgedecktes Auge

Herings Gesetz: rechte *M. rectus lateralis* erhält die gleiche Innervation wie der linke *M. rectus medialis*

Grundlage für konjugierte Augenbewegungen

Augendruckexperimente

Experimentelle Daten in Dunkelheit



Nur rechtes Auge bewegt sich!

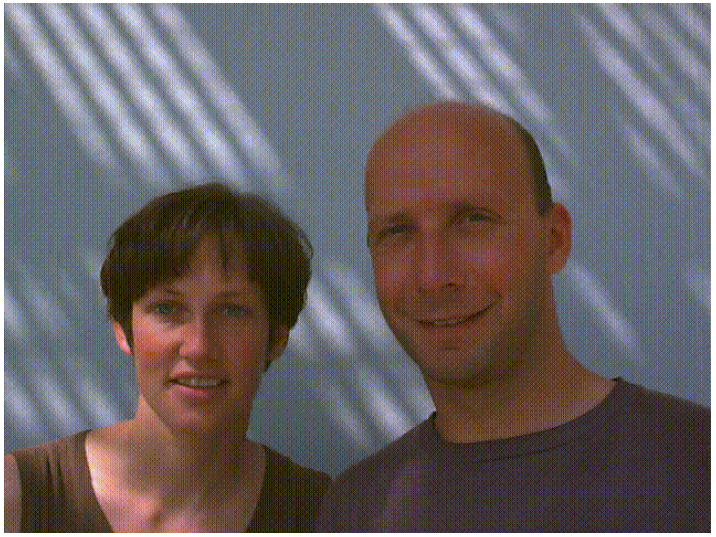
Augendruckexperimente
Zusammenfassung

Scheinbewegung der Welt kann durch die Anstrengung, das Auge zu bewegen, erklärt werden.

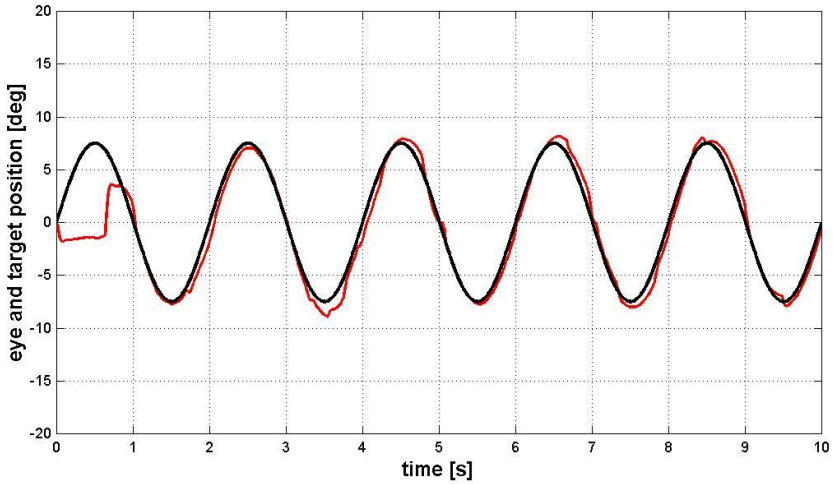
Kraft des Augenmuskels kompensiert die Kraft des Fingers.

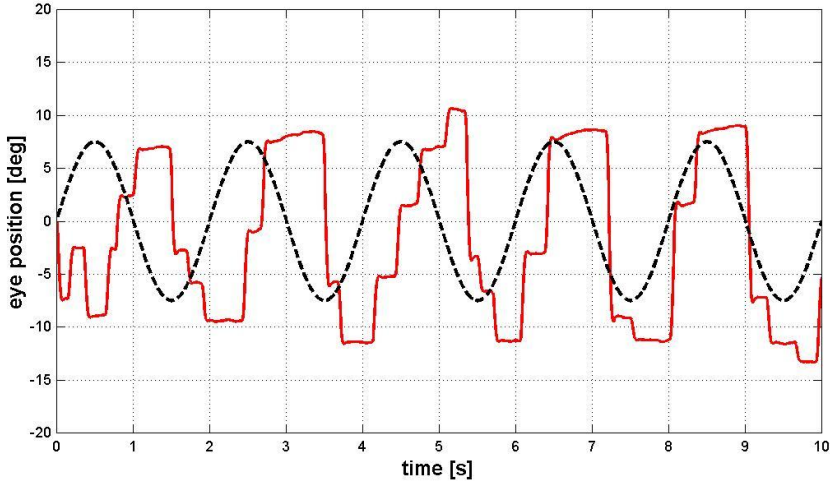
Am abgedeckten linken Auge wird diese Anstrengung sichtbar.

Keine Bewegung im retinalen Bild



Glatte Augenfolgebewegungen





1. Können nur in Gegenwart eines bewegten Ziels ausgeführt werden
2. Bewegungsempfindung ohne retinale Bewegung (Efferenzkopie)

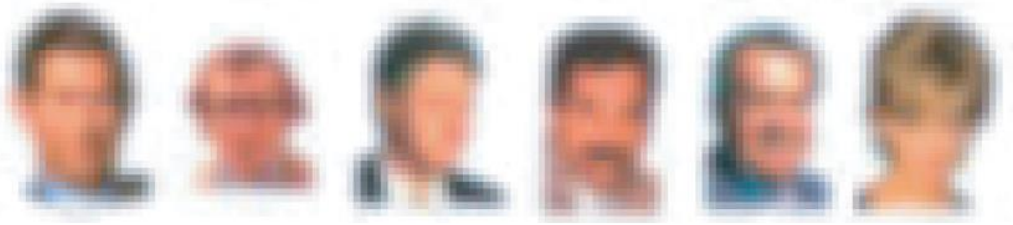
Glatte Augenfolgebewegungen

Auf der Suche nach der Efferenzkopie

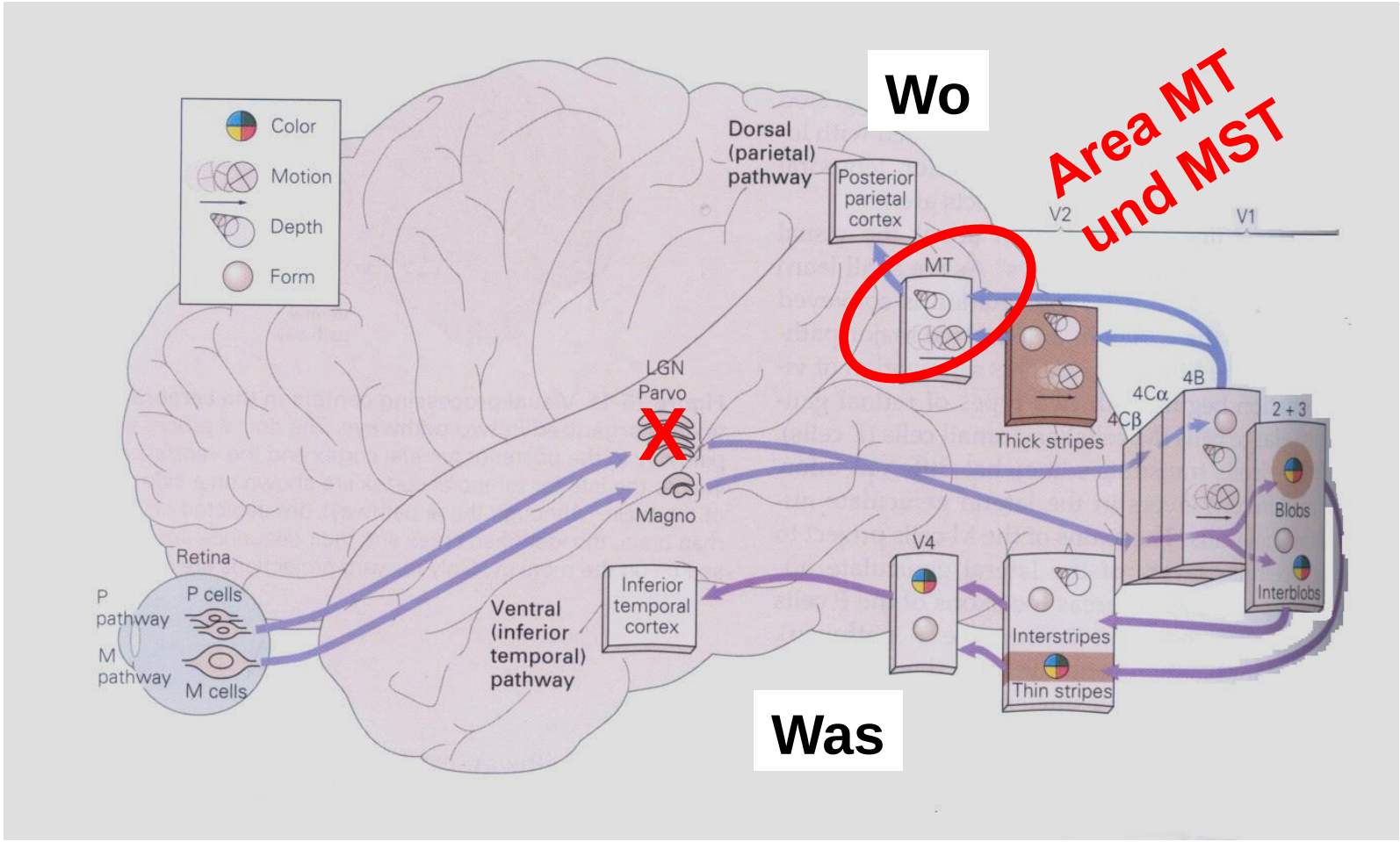
Während der Ausführung von Folgebewegungen:

In welchen Hirnarealen lassen sind Nervenzellen finden, deren Aktivität eine Efferenzkopie trägt

mehr als nur rein visuelle Antworten (extra-retinal)

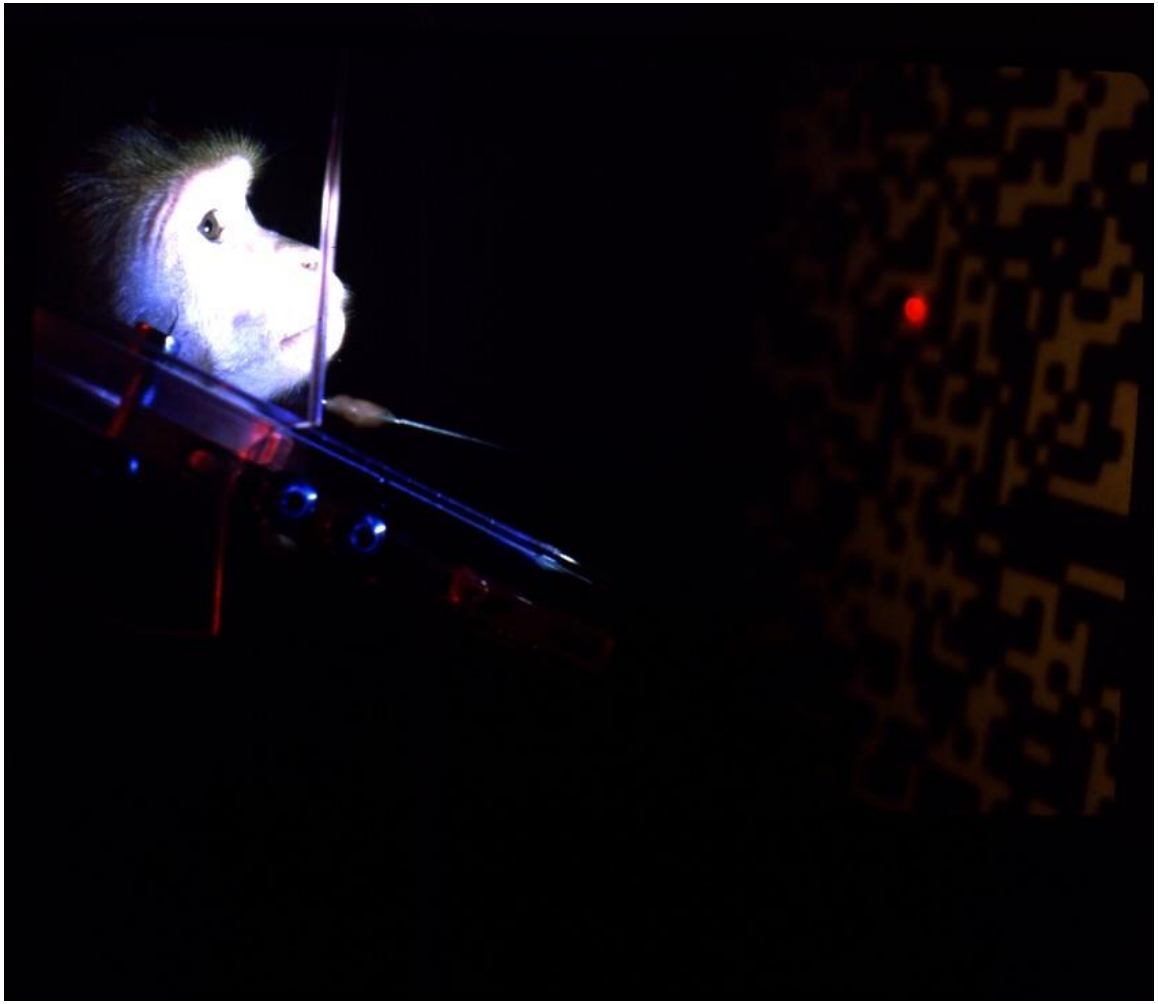


neuronales Substrat des visuellen Systems



Methoden

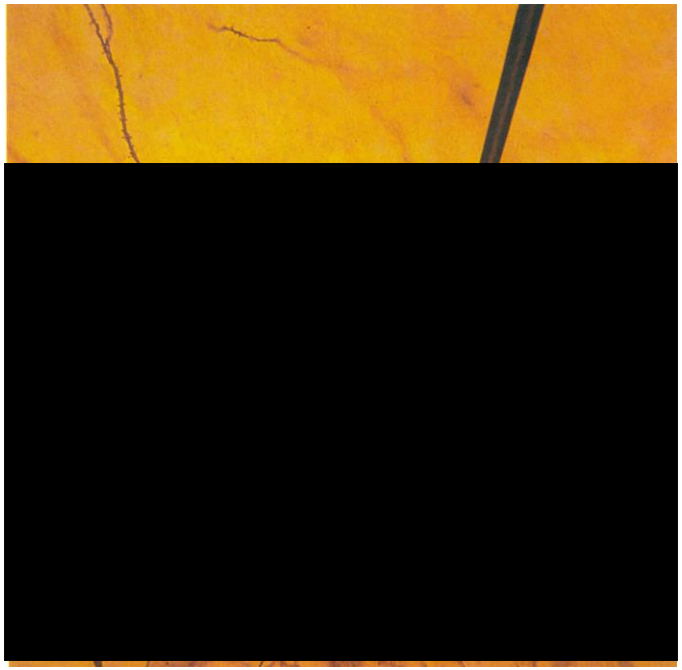
wache und trainierte Rhesusaffen: Verhalten und Wahrnehmung



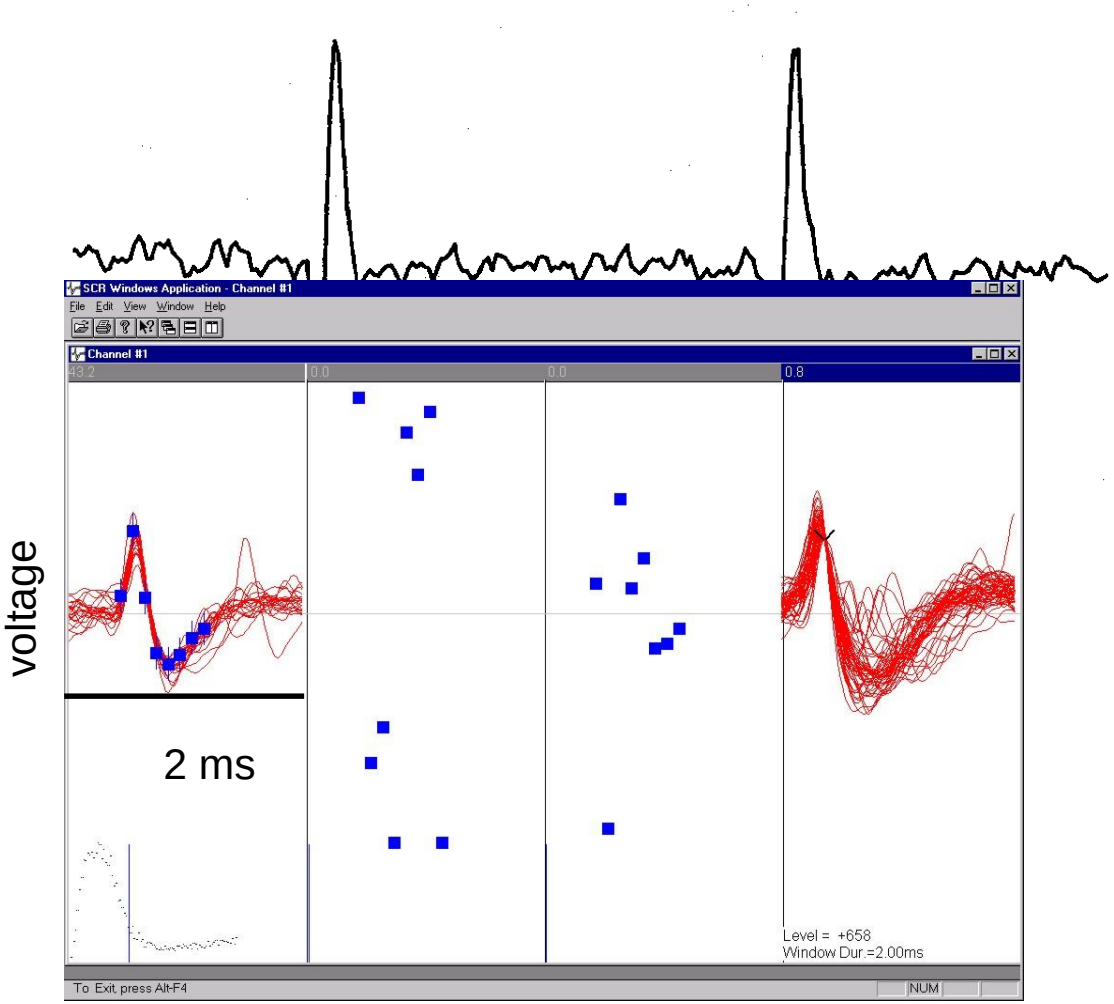
Operante Konditionierung: Belohnung für korrektes Verhalten

Methoden

wache und trainierte Rhesusaffen: Aktionspotenziale individueller Neuronen



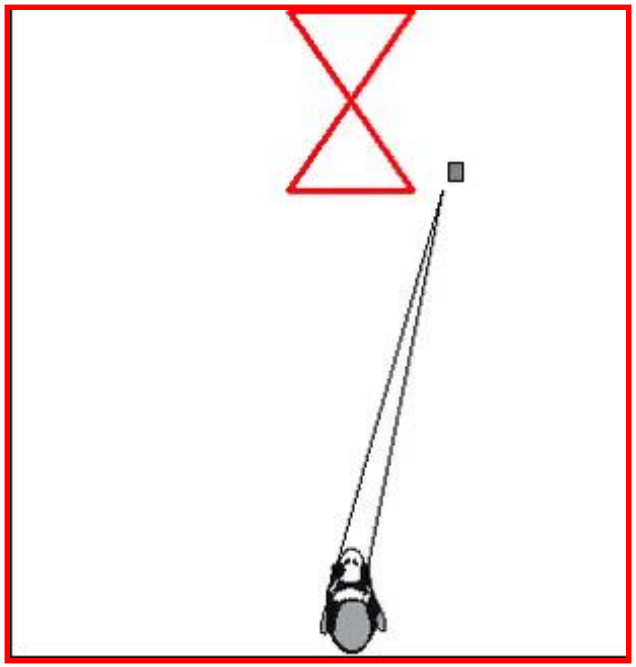
David Hubel: Eye, Brain and Vision



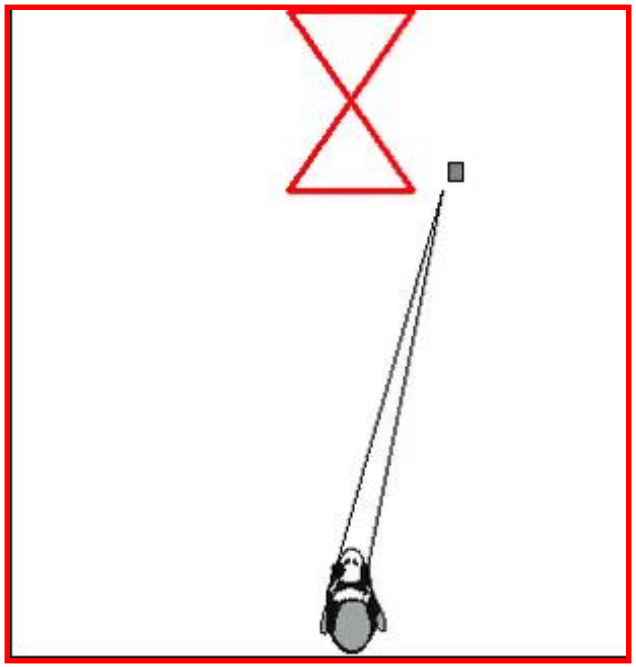
template matching

Glatte Augenfolgebewegungen

Folgebewegungen ohne Stimulation des zentralen Gesichtsfeld



Reales Ziel



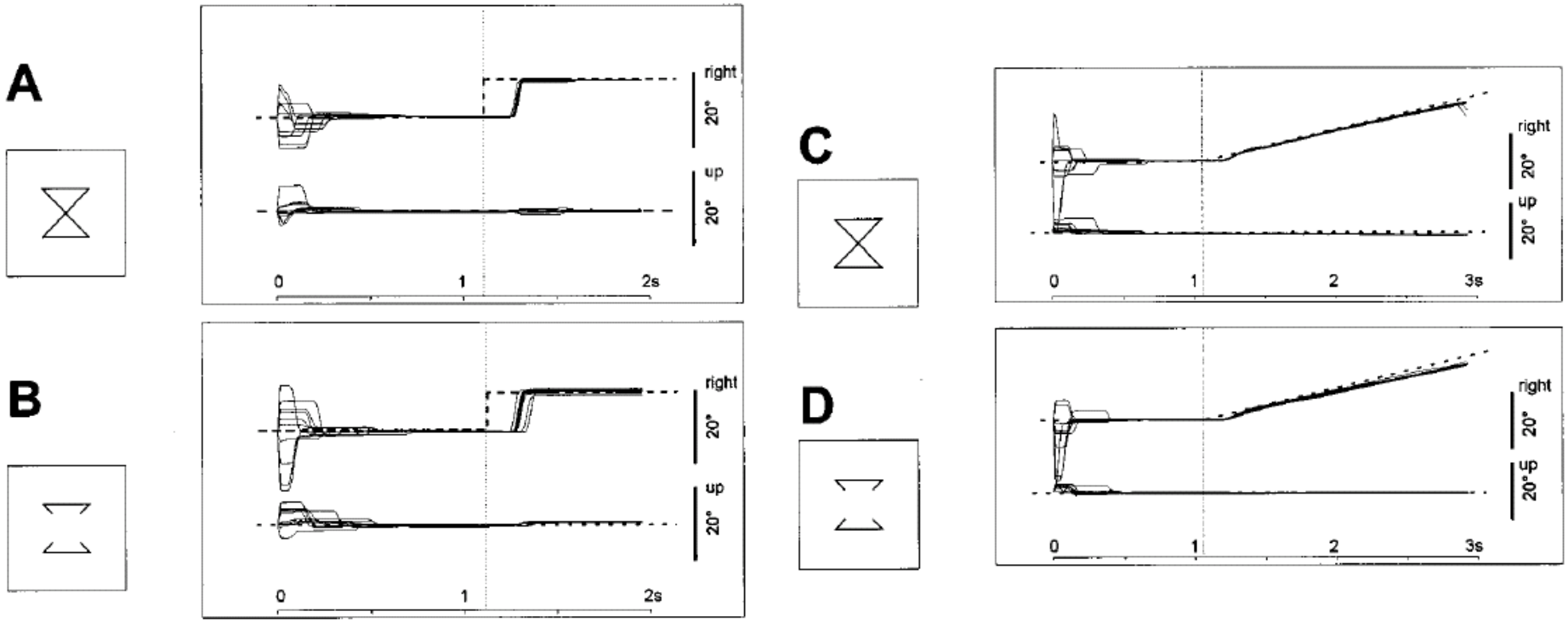
Imaginäres Ziel

Geht das?

Glatte Augenfolgebewegungen

Blickbewegungen auf reale und imaginäre Ziele

Ilg UJ, Thier P (1999) Eye movements of rhesus monkeys directed towards imaginary targets. Vision Res 39:2143-2150.

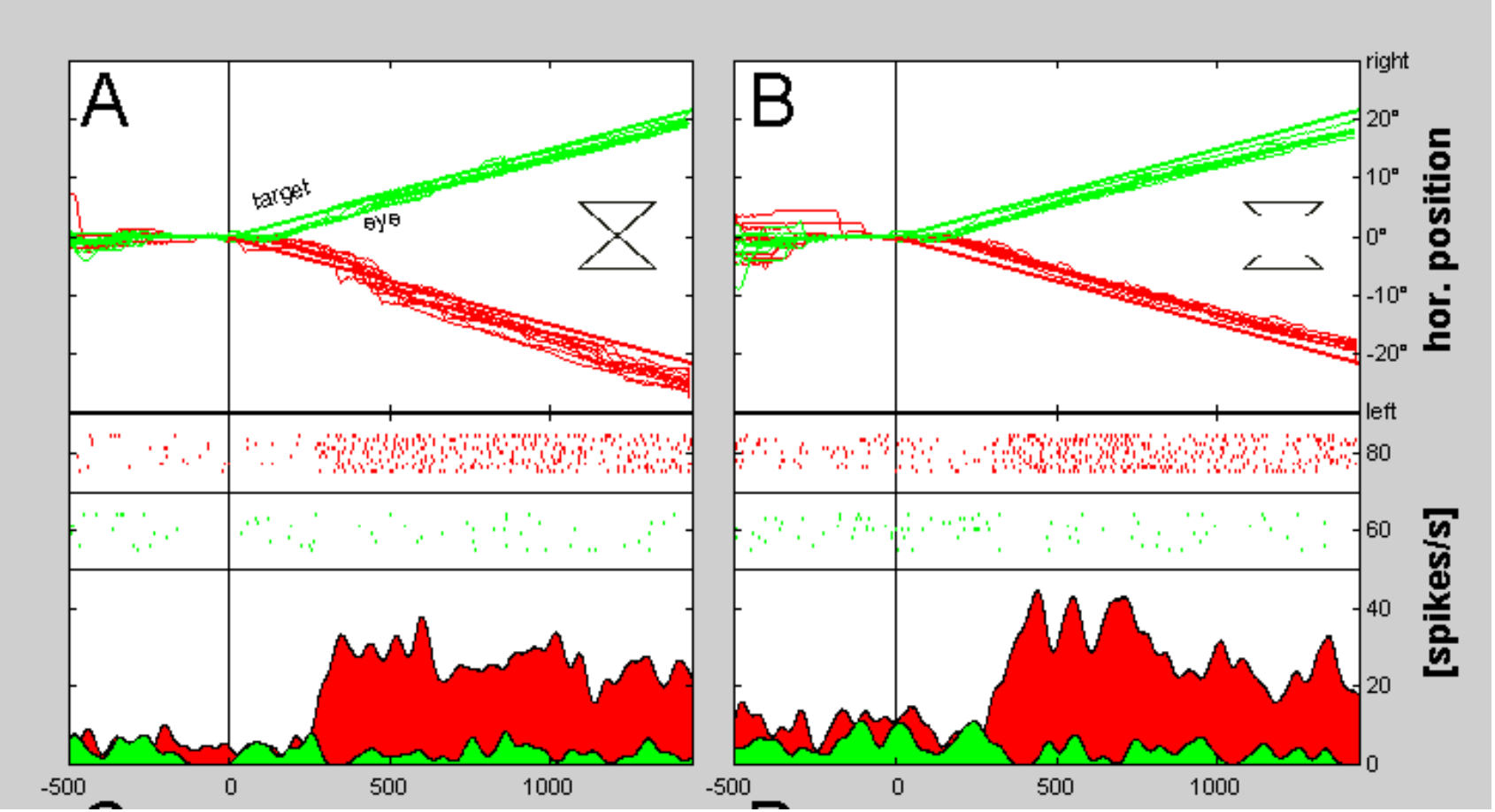


Sakkaden

Folgebewegungen

Glatte Augenfolgebewegungen

Antwort aus der Area MST während Folgebewegungen



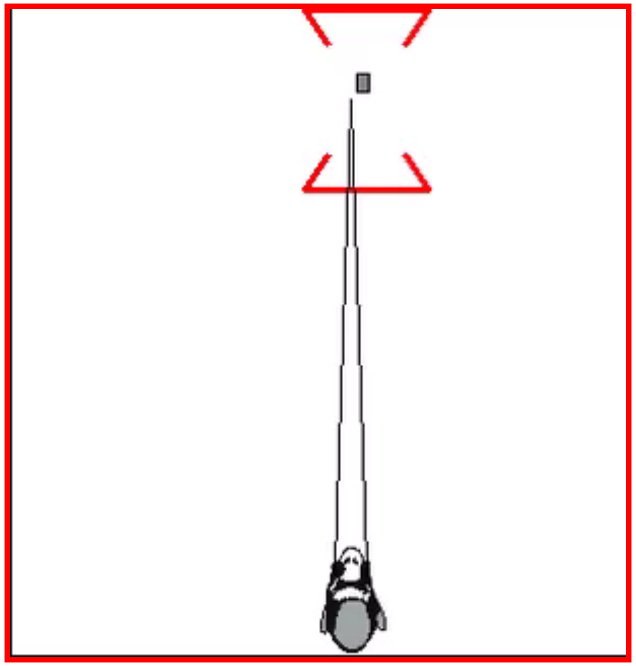
Ilg UJ, Thier P (2003) Visual tracking neurons in primate area MST are activated by smooth-pursuit eye movements of an "imaginary" target. J Neurophysiol 90:1489-1502.

2 fakt. ANOVA: signifikanter Effekt des Faktors Richtung, keinen Effekt des Faktors Ziel

Glatte Augenfolgebewegungen

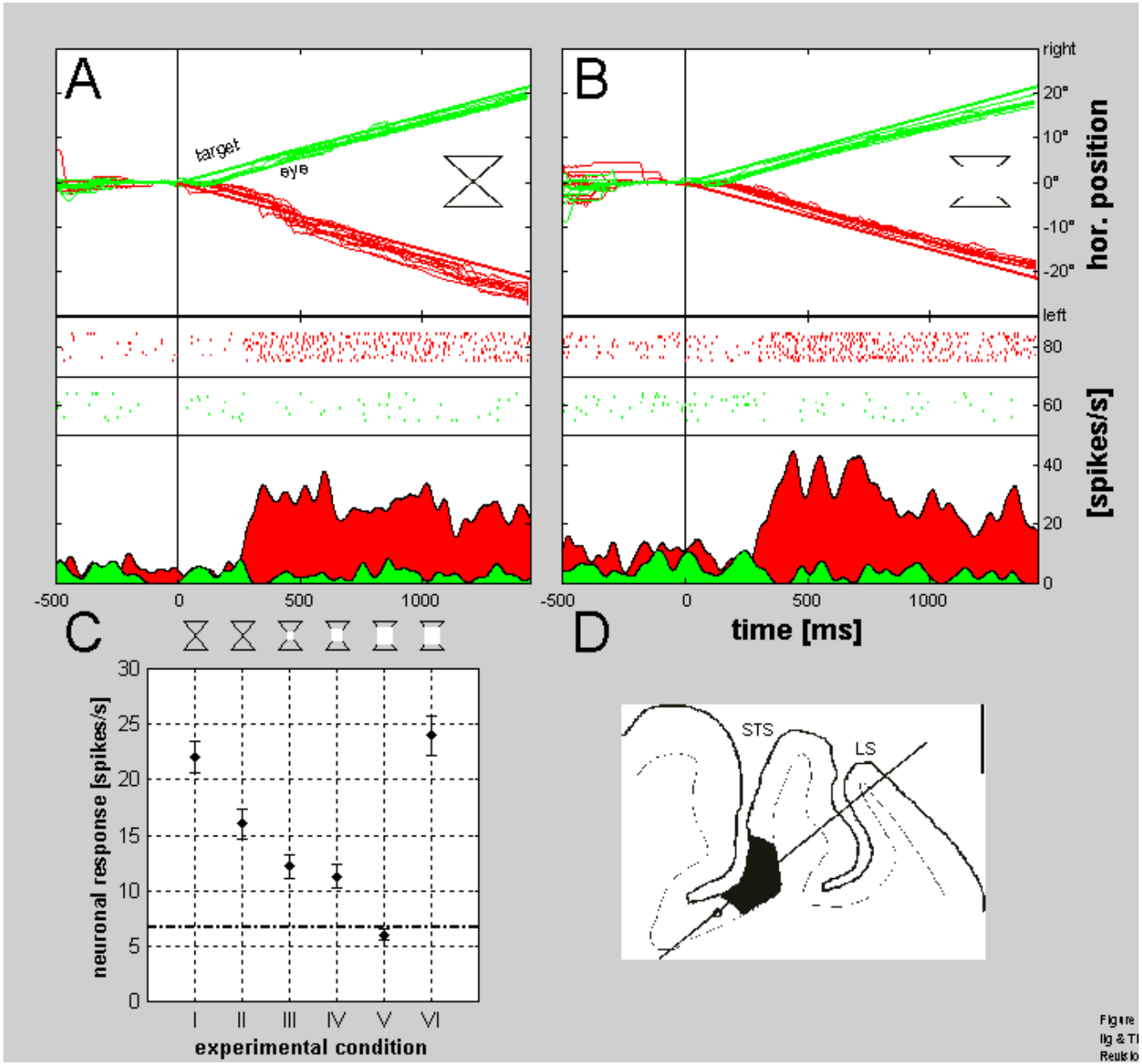
Antwort auf Stimulation der Peripherie?

Kontrollreiz



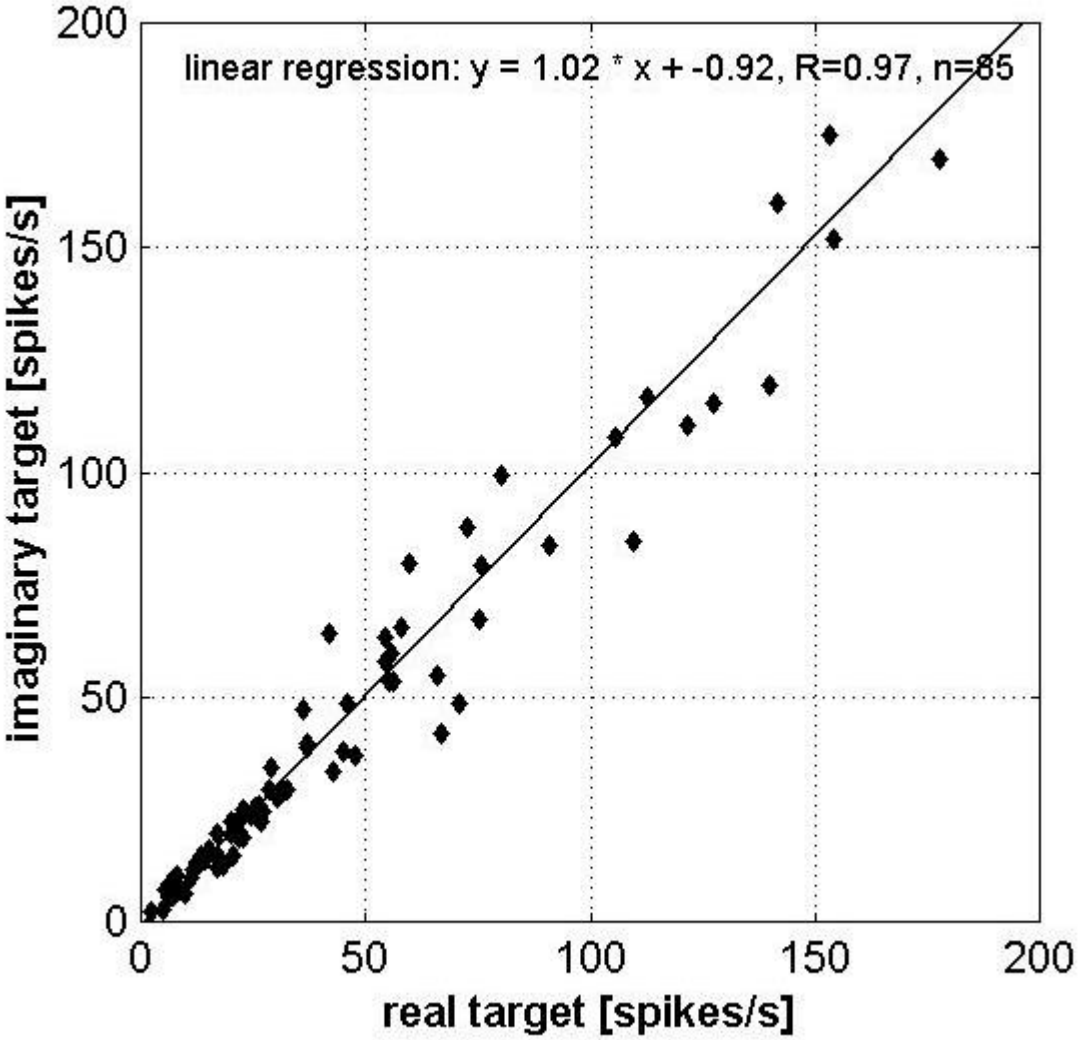
Glatte Augenfolgebewegungen

Kontrolle erfolgreich – extra-retinales Signal



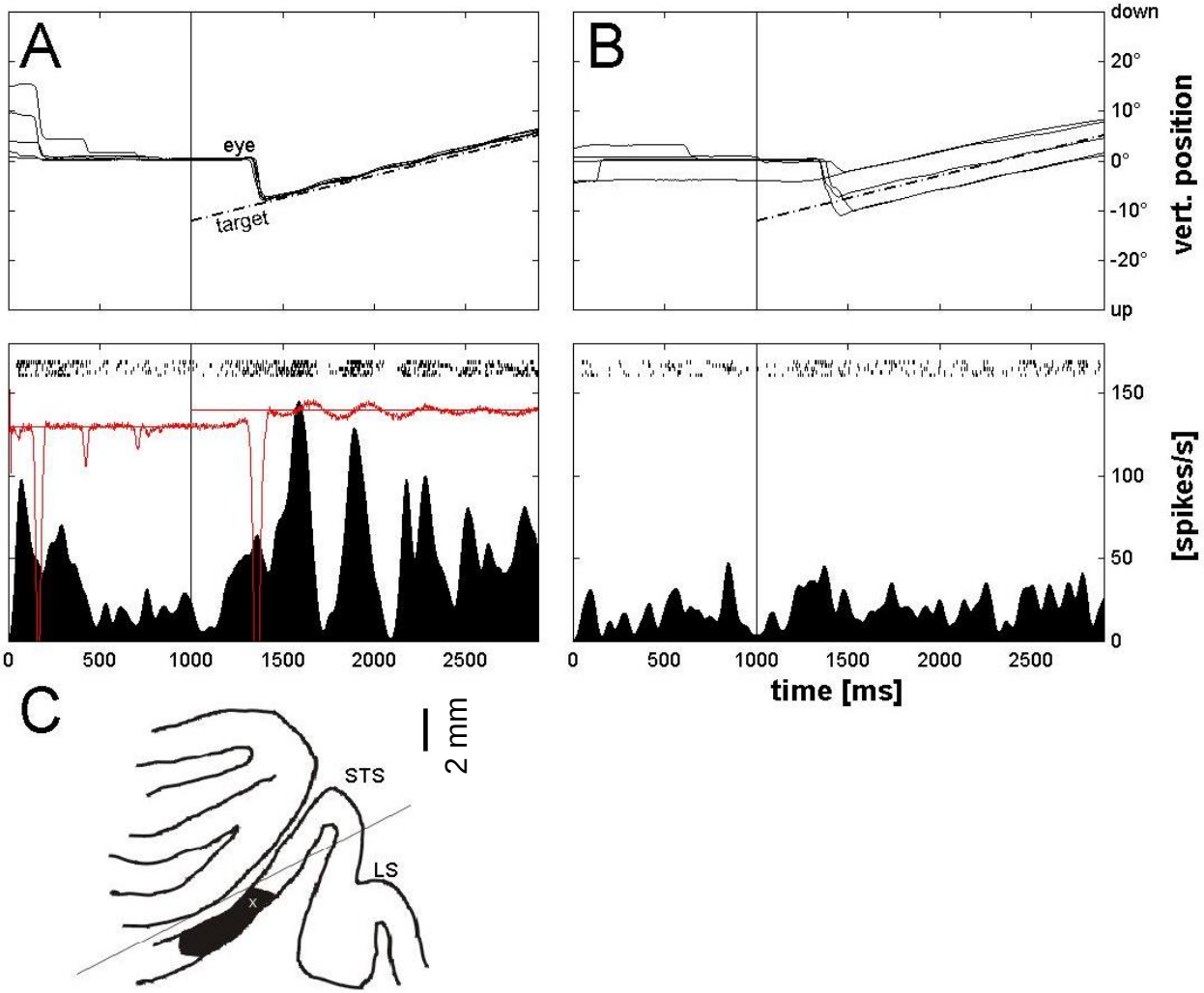
Glatte Augenfolgebewegungen

Für alle 85 gemessenen Neuronen



Glatte Augenfolgebewegungen

Area MT – rein visuelles Areal

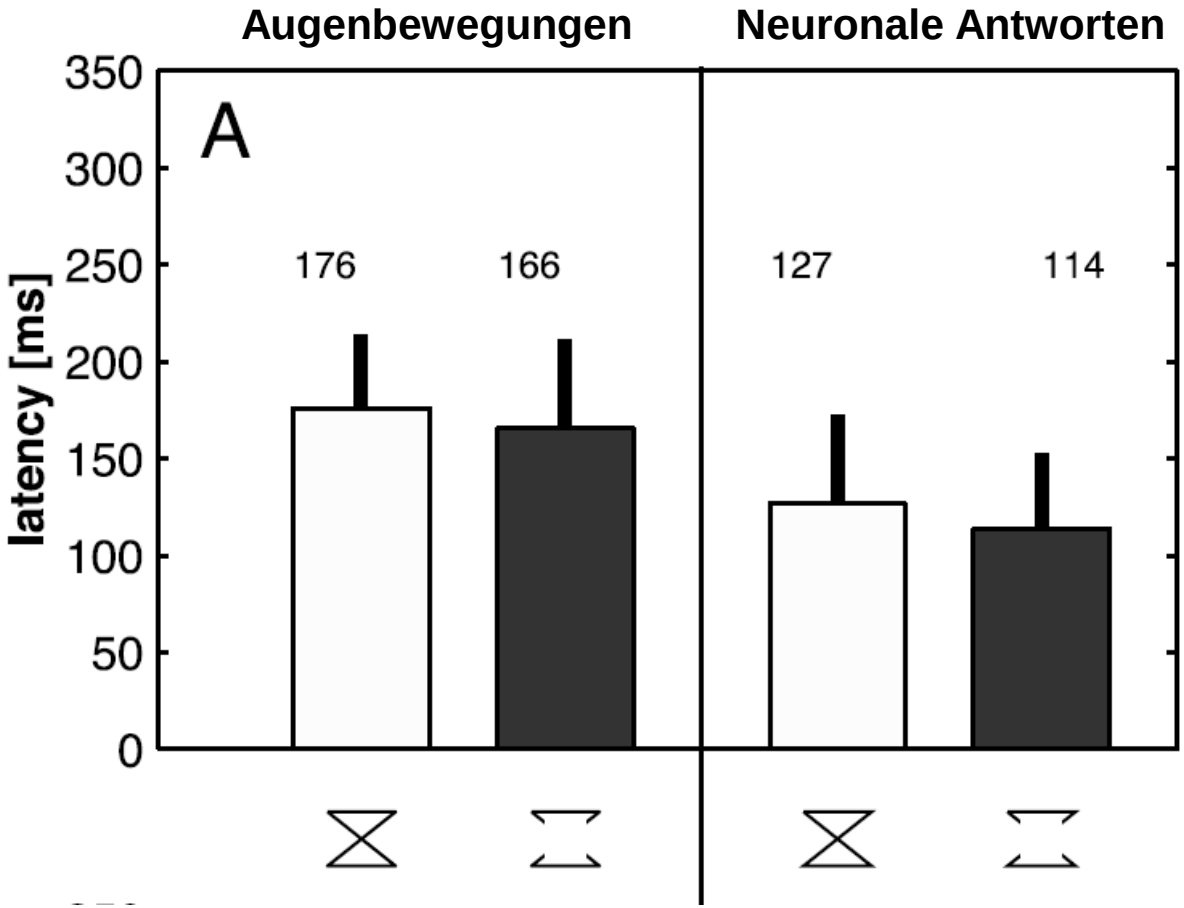


Glatte Augenfolgebewegungen

Latenz der neuronalen Aktivität ist kürzer als Latenz der Augenbewegungen

2-fact. ANOVA

spikes vs eye:	p<0.0001
type of target:	p=0.176
interaction:	p=0.617



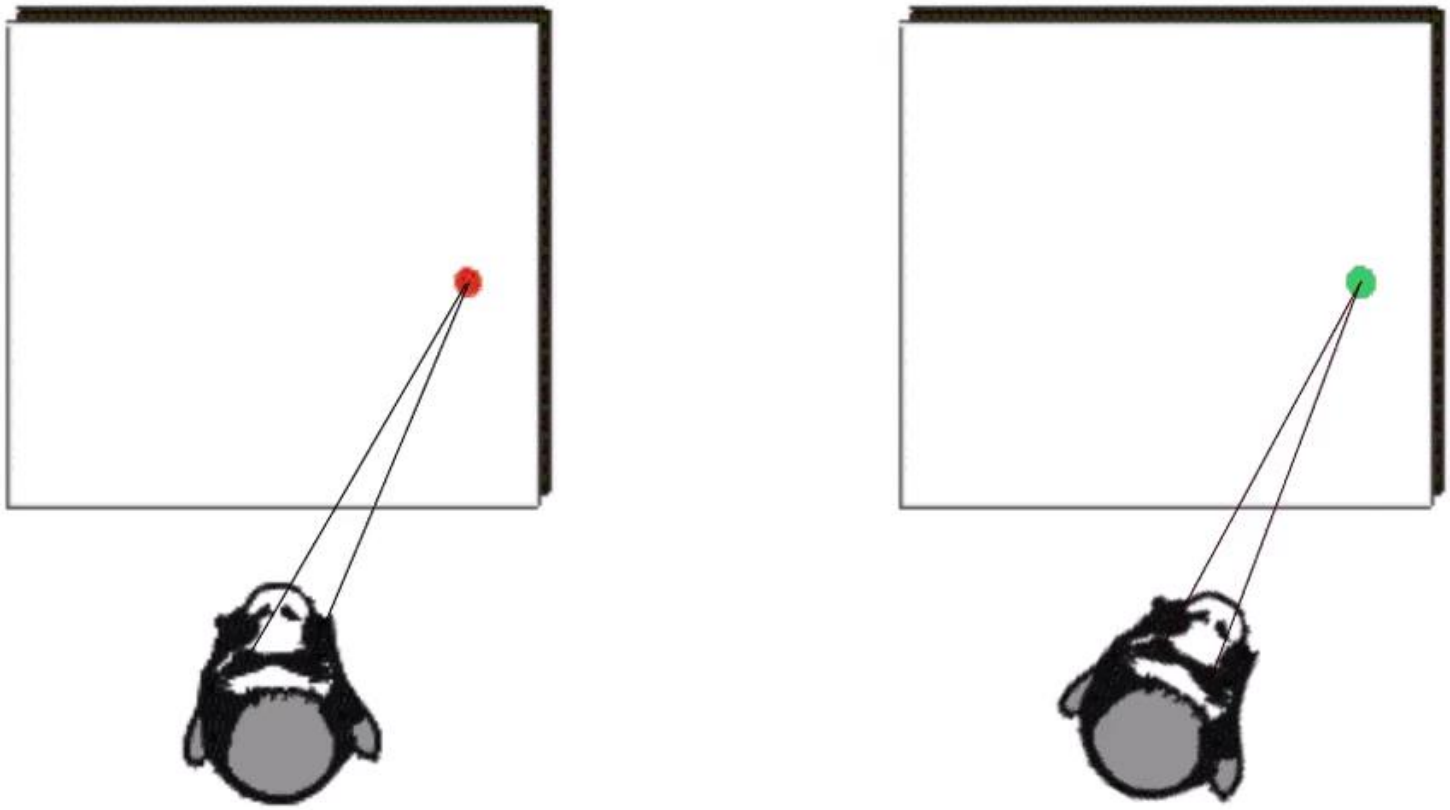
Glatte Augenfolgebewegungen
Extra-retinales Signal

Frage: was genau kodieren die extra-retinalen Signale?

Augen-im-Kopf Bewegungen (extraokuläre Motoneurone)
Blickbewegungen (im Raum)
Zielbewegung im Raum

Glatte Augenfolgebewegungen

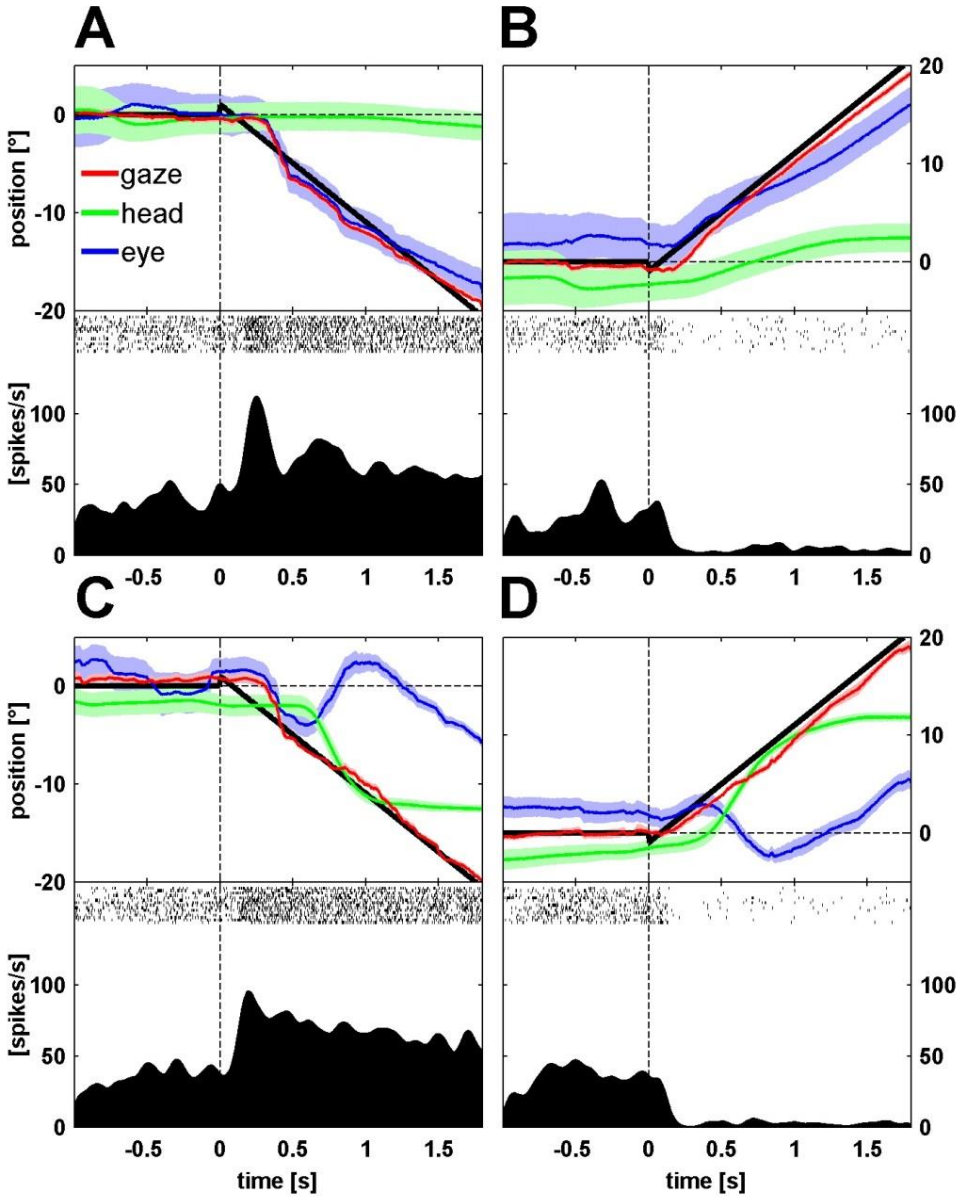
Isolierte Augen- und Kopfbewegungen – Farbe des Ziels



Glatte Augenfolgebewegungen

Ilg UJ, Schumann S, Thier P (2004) Posterior parietal cortex neurons encode target motion in world-centered coordinates. Neuron 43:145-151.

Isolierte Augen- und Kopfbewegungen – typisches Beispiel



Nur Augenbewegungen

Kombinierte Augen- und Kopfbewegungen

Glatte Augenfolgebewegungen

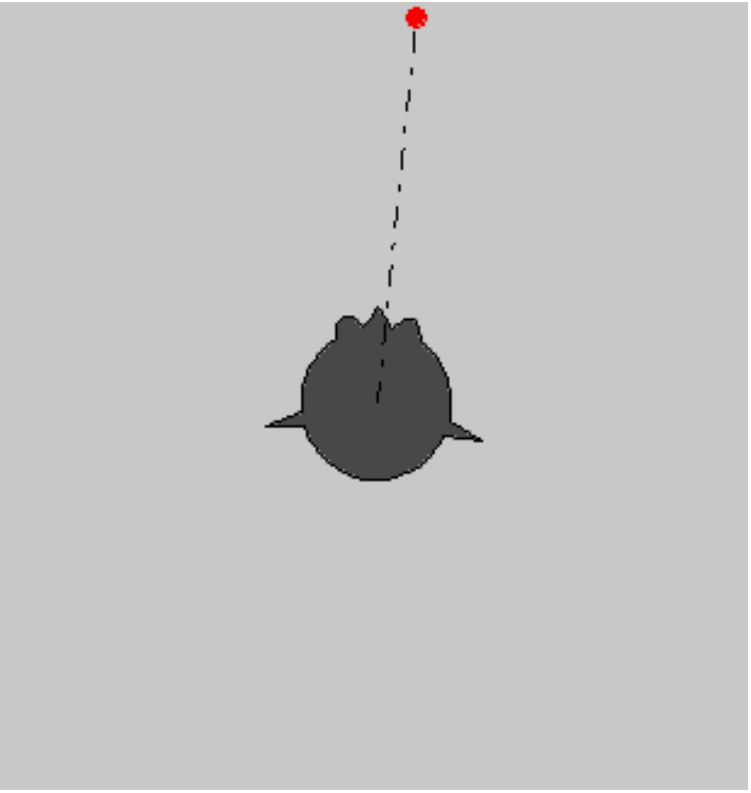
Isolierte Augen- und Kopfbewegungen – Schlussfolgerung

extra-retinal Signale kodieren sicher nicht
die Bewegungen der Augen im Kopf
(i.e. Aktivität von extraokulären Motoneuronen)

Bleibt also entweder
Blick- oder Zielbewegung im Raum

Glatte Augenfolgebewegungen

Blick- oder Zielbewegung?



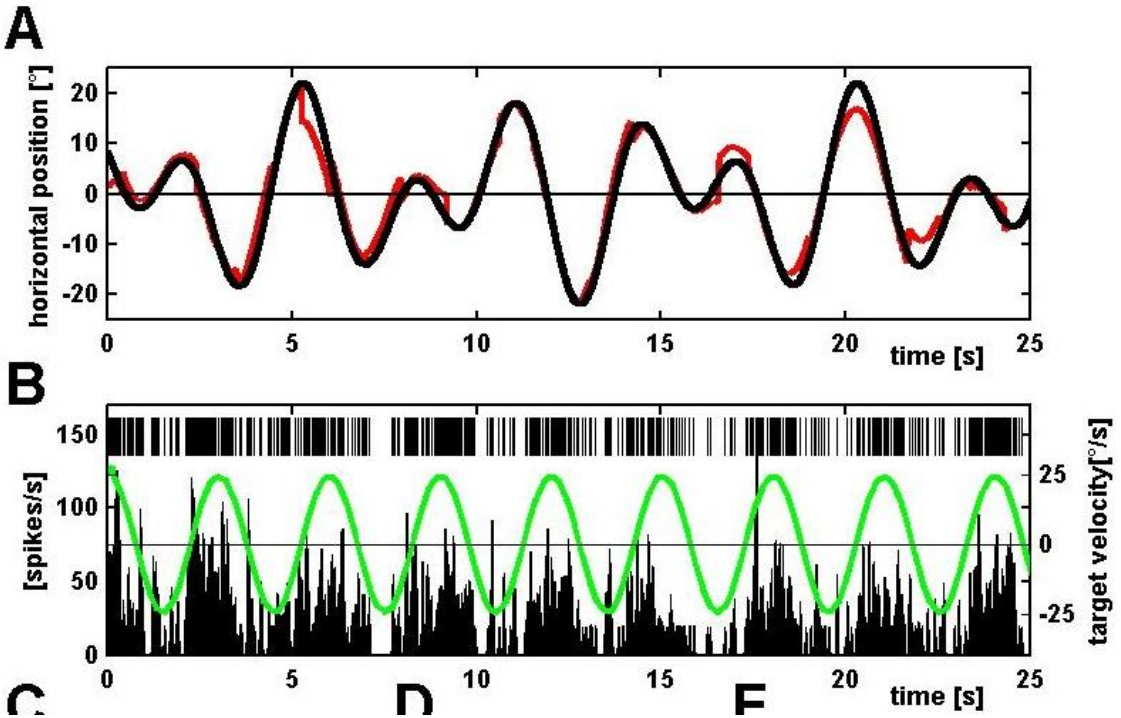
f_1: vestibuläre Stimulation (**0.2 Hz**)

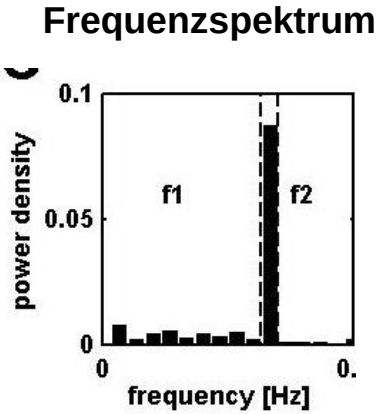
f_2: Zielbewegung (**0.5 Hz**)

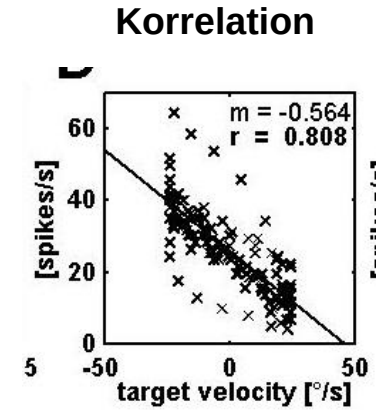
$f_1 != f_2$

Glatte Augenfolgebewegungen

Blick- oder Zielbewegung - Daten





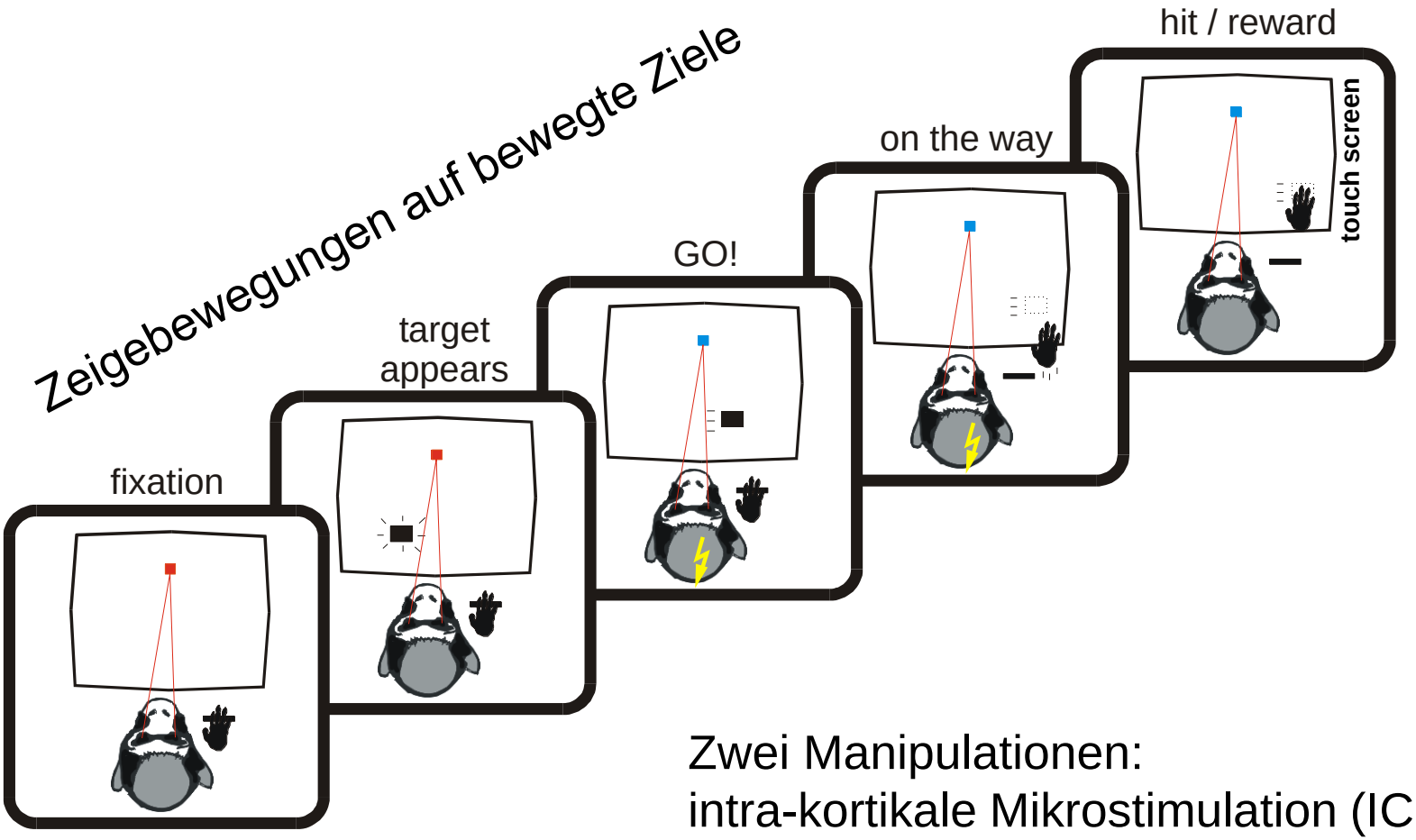


Extra-retinales Signal = Zielbewegung im Raum

Glatte Augenfolgebewegungen

mehr als Augenbewegungen?

Ilg UJ, Schumann S (2007) Primate area MST-l is involved in the generation of goal-directed eye and hand movements. J Neurophysiol 97:761-771.

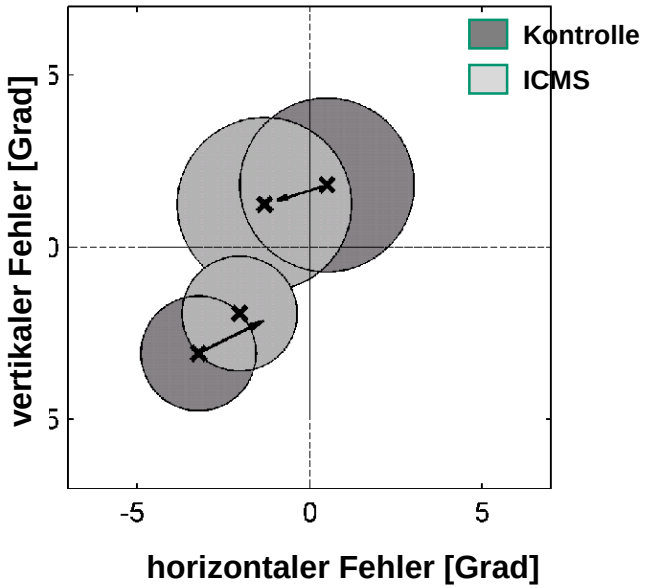


Zwei Manipulationen:
intra-kortikale Mikrostimulation (ICMS)
reversible Deaktivierung (Muscimol)

Glatte Augenfolgebewegungen

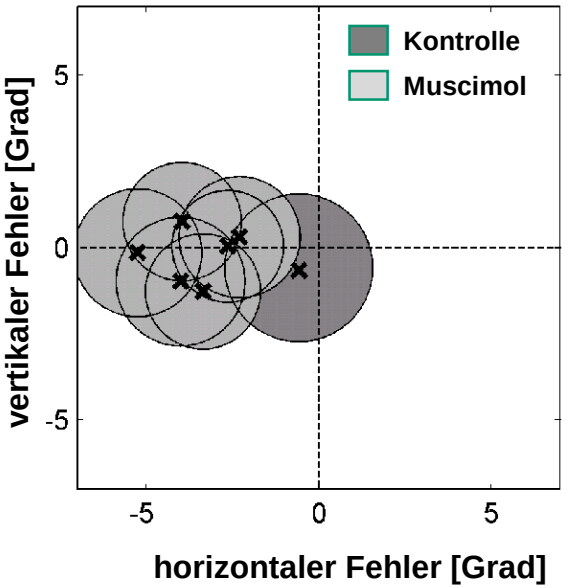
mehr als Augenbewegungen? Präzision der Handbewegungen

Aktivierung



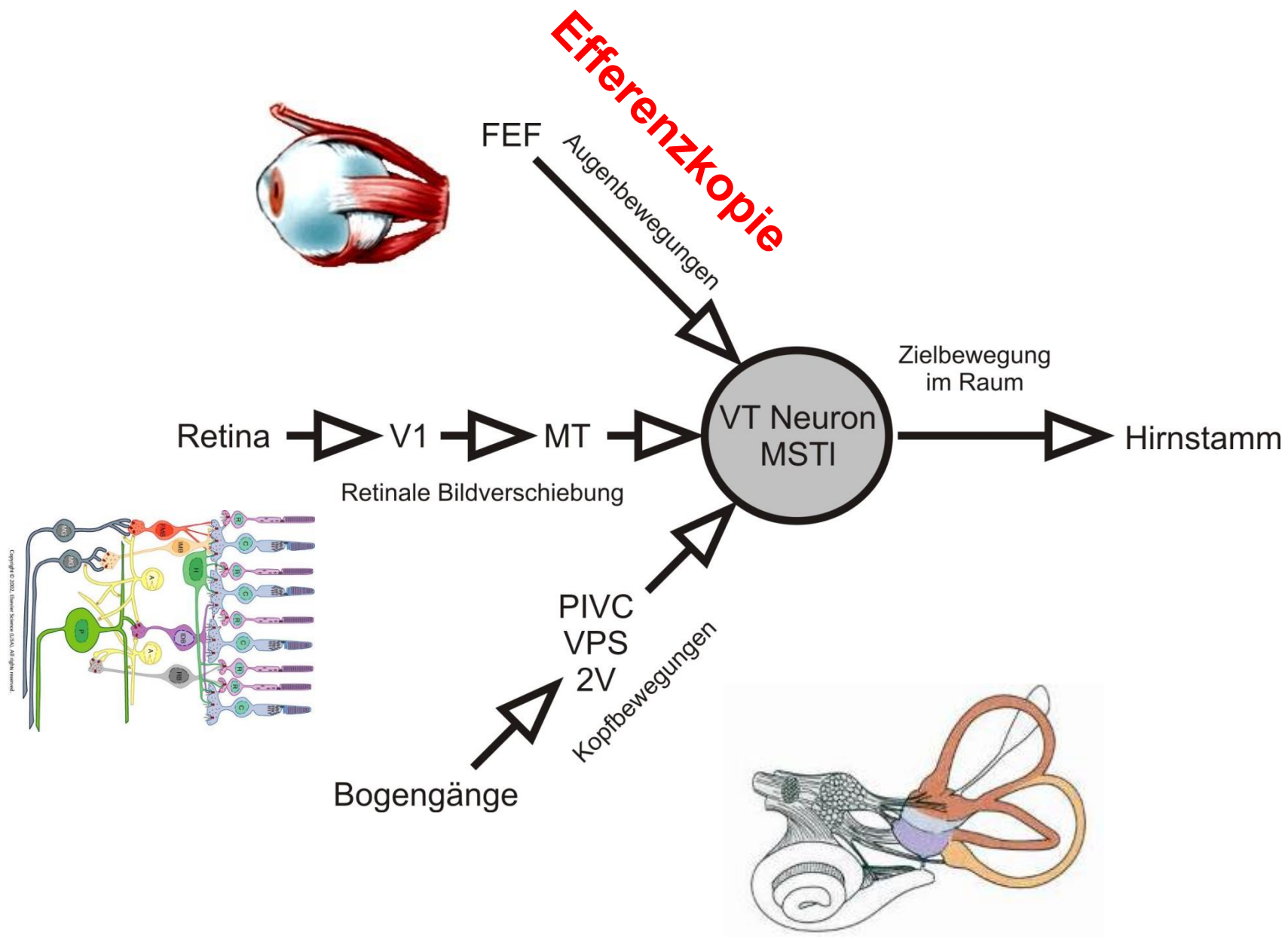
Vorzugsrichtung der stimulierten Stelle

Hemmung



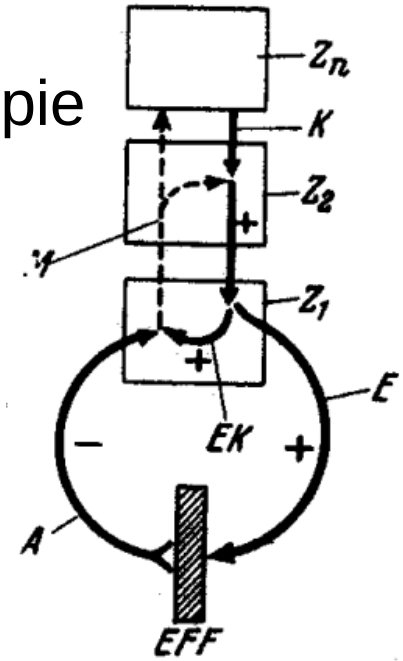
Abweichung auf die Gegenseite

Glatte Augenfolgebewegungen
Zusammenfassung



Zusammenfassung: Aktives Sehen

Elementares Element für das Reafferenzprinizp:
Efferenzkopie

erklärt Scheinbewegung in Augendruckexperimenten

Neuronale Aktivität im posterioren Parietalkortex von Rhesusaffen:
Extra-retinale Signale im Sinne einer Efferenzkopie