

# Faszination Wunder Gehirn

Optische Täuschungen als Werkzeug  
der Neurowissenschaften

## Uwe Ilg

Hertie-Institut für klinische Hirnforschung  
Universität Tübingen



Schülerlabor  
Neurowissenschaften

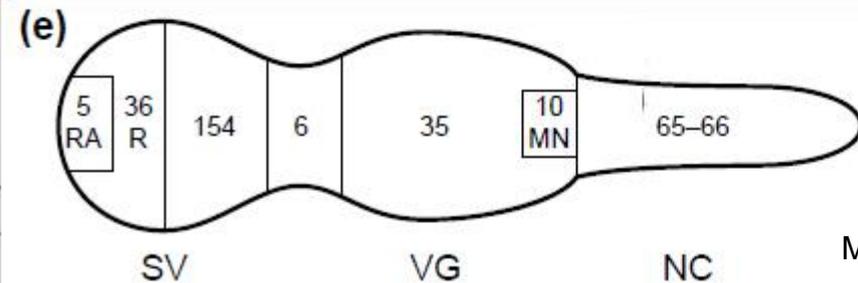
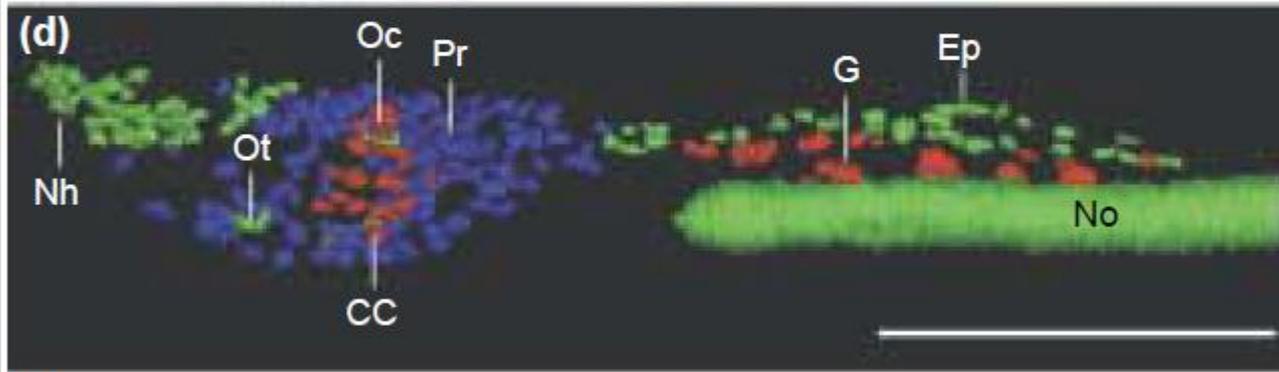
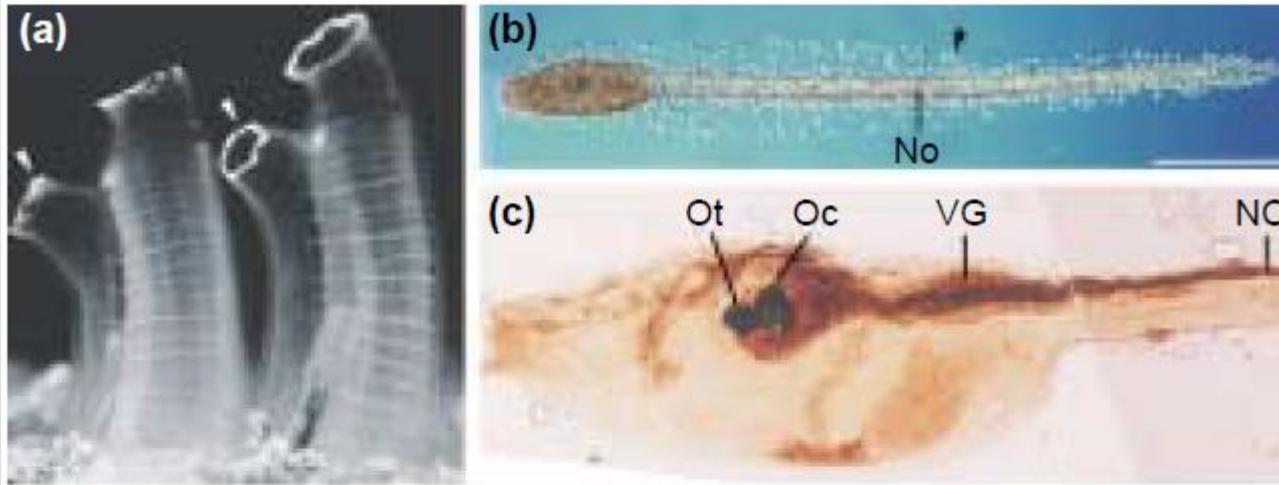
Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung

# Wozu braucht man ein Gehirn?

Beispiel Seescheiden (Ascidien)  
 Adulte                      Larven



**menschliches Gehirn**  
**100 Milliarden**

Meinertzhagen & Okamura 2001

*TRENDS in Neurosciences*

## 1. Bewegung

- Ansteuerung der Muskeln
- Korrektur der Sinnesorgane  
 Berührung  
 Augen



**Hertie-Institut**  
 für klinische Hirnforschung

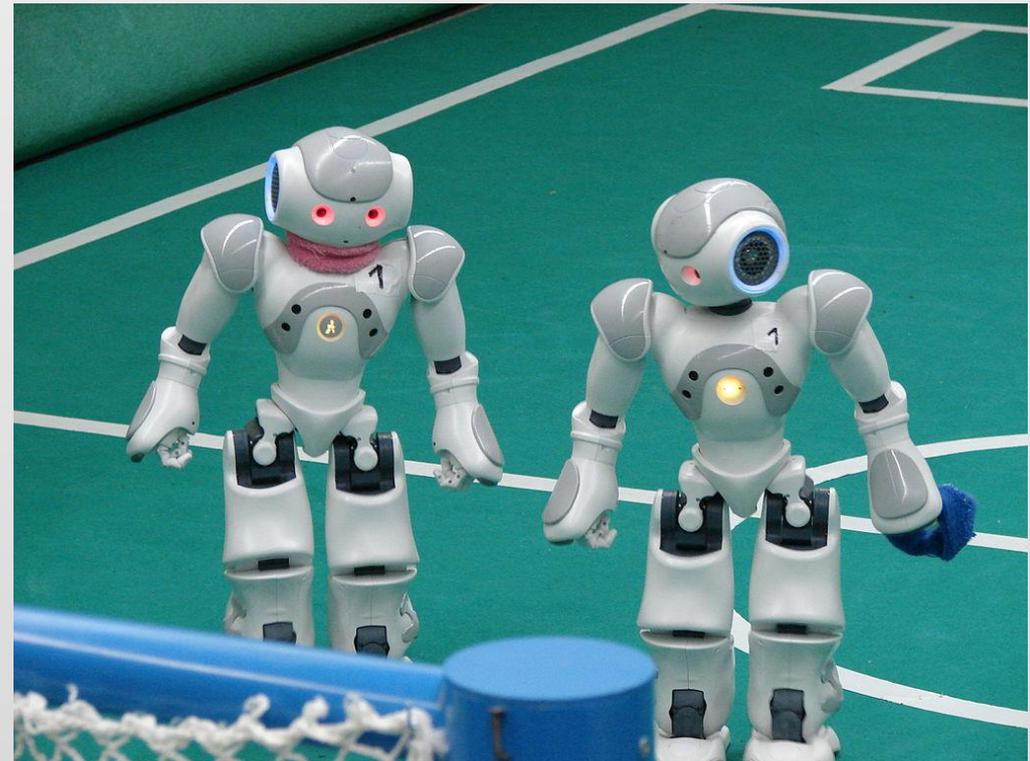
# Welche Sportart setzt höchste Ansprüche an die kognitiven Fähigkeiten?



# eher überschaubare Fähigkeiten

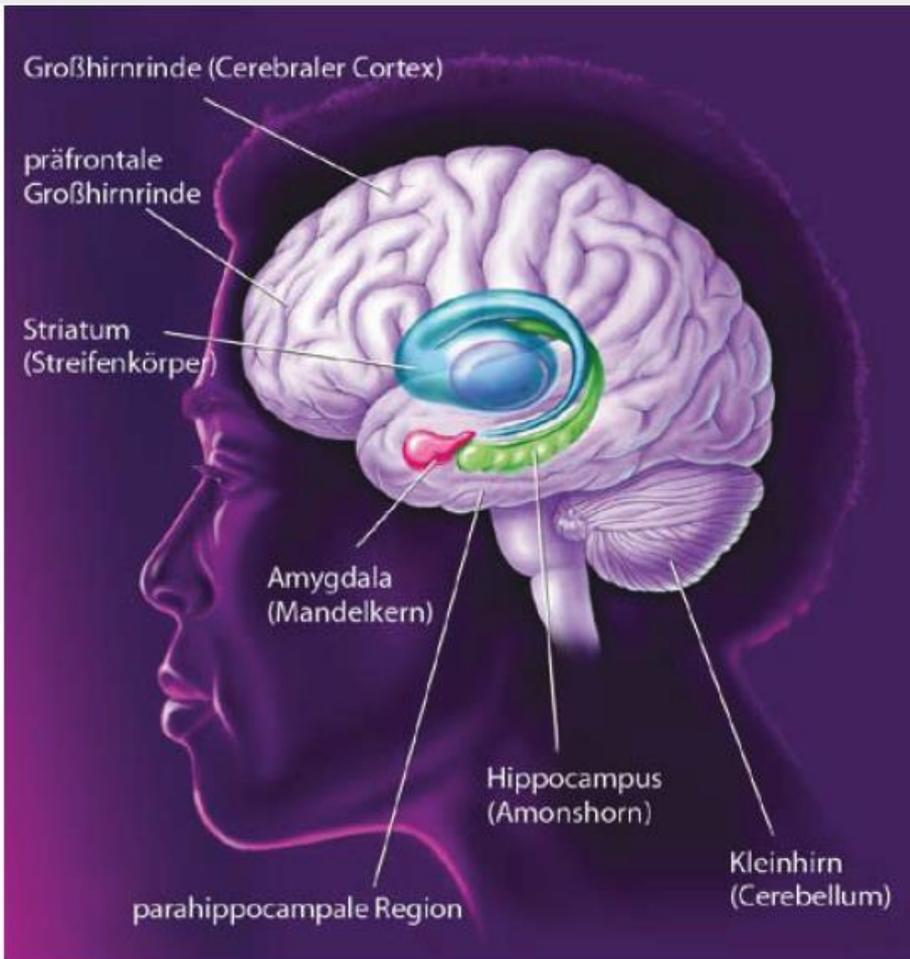


**aber: technische Umsetzung noch sehr unterschiedlich!**



# Wozu braucht man ein Gehirn?

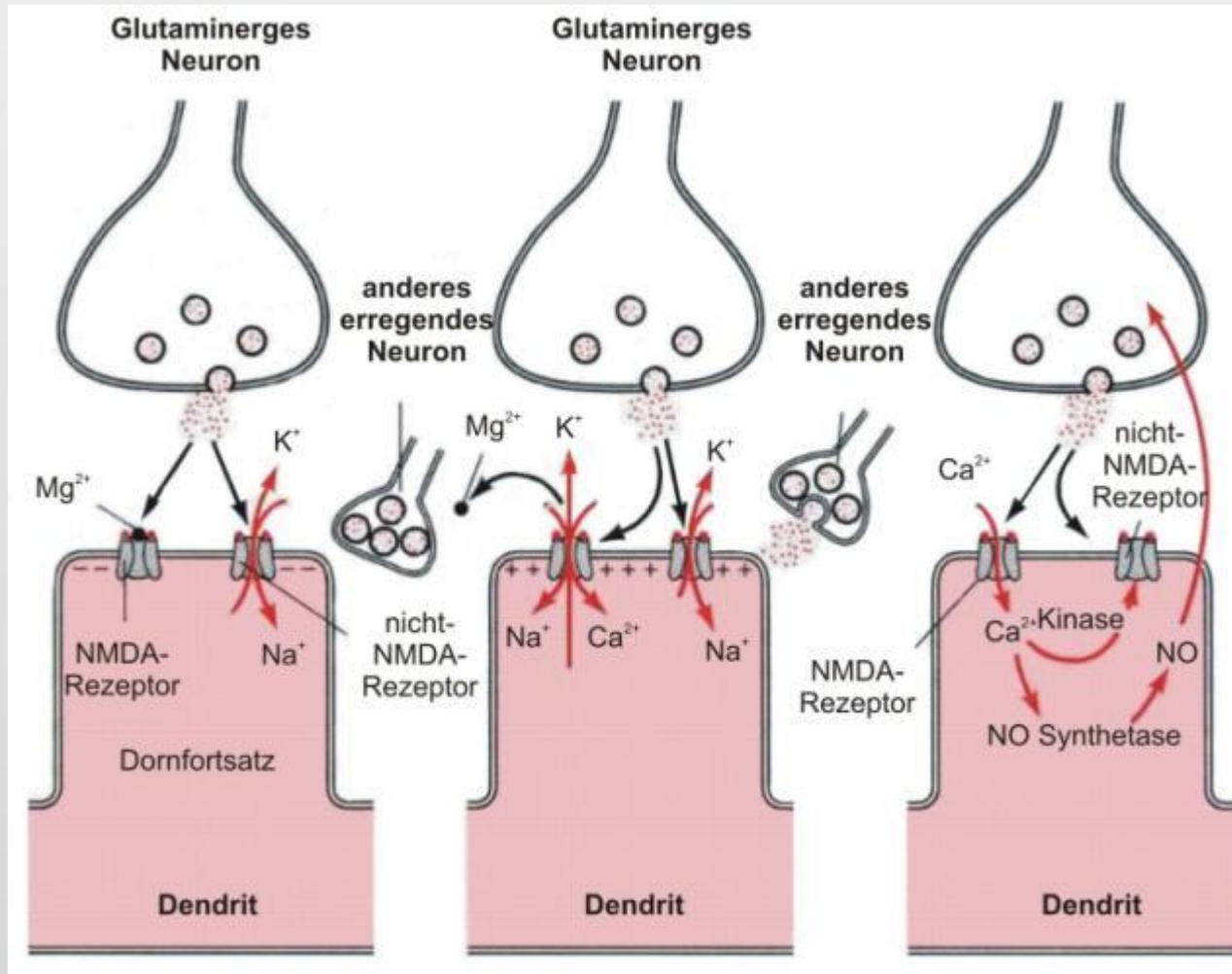
## 2. Lernen und Gedächtnis



### Patient HM (1926 – 2008)

Epilepsie, Schläfenlappen auf beiden Seiten (1953) entfernt  
nach Operation keine Gedächtnisbildung mehr  
konnte sich aber an Ereignisse vor der Operation erinnern

### Langzeitpotenzierung (LTP) – Effizienz von Synapsen



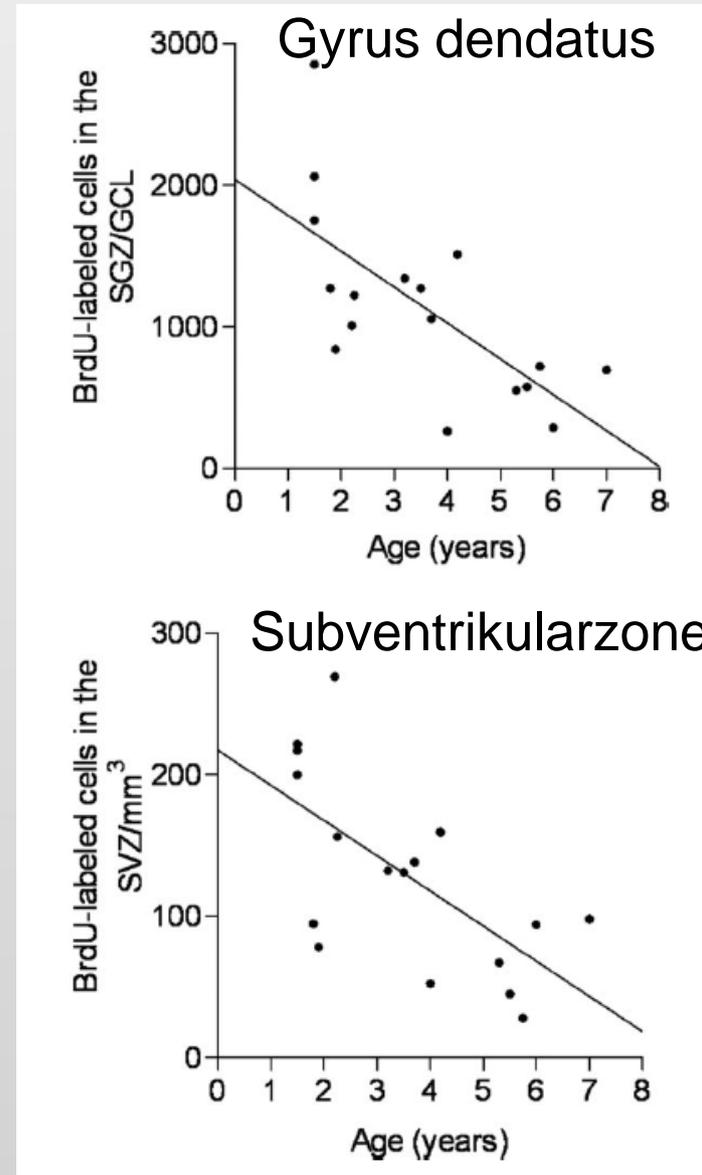
## Neurogenese im Neocortex von erwachsenen Primaten

Entstehung von neuen Nervenzellen in adulten Tieren  
Markierer für DNA-Verdoppelung: Bromodesoxyuridin (BrdU) für Thymidin

Neurogenese bei Säugern:  
i) Subventrikularzone  
ii) Hippocampus  
iii) Bulbus olfactorius



Pinselohaffe  
Lebensspanne 8 – 16 Jahre  
Seneszenz beginnt 8 – 10 Jahre  
Leuner et al 2007



# menschliches Gehirn

100 Milliarden Nervenzellen

## Vorderhirn

Neocortex  
Archicortex  
Paleocortex

## Zwischenhirn

Thalamus  
Hypothalamus

## Mittelhirn

Vierhügelplatte

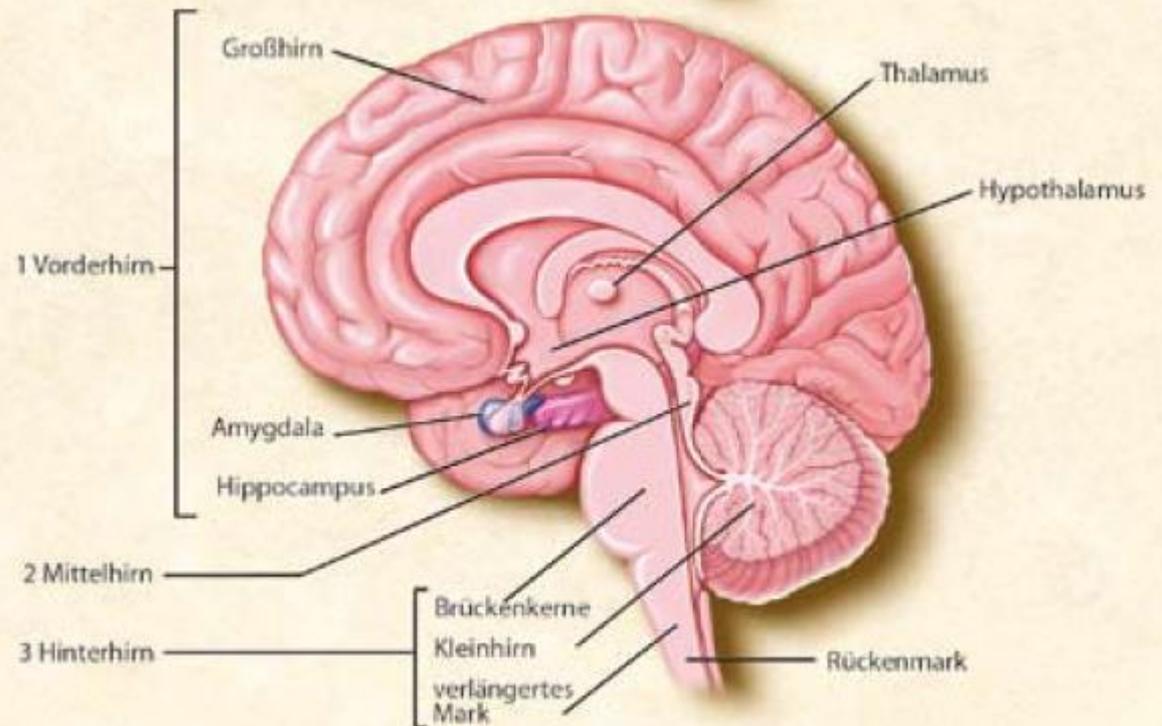
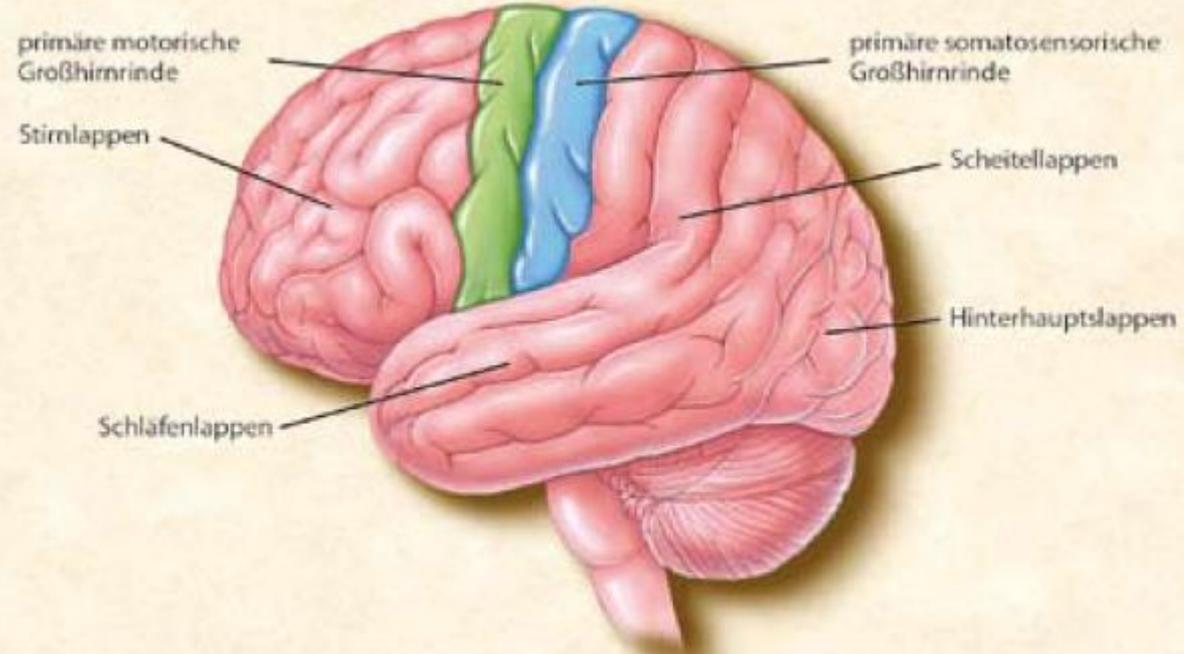
## Nachhirn

Cerebellum  
Brückenkerne

## verlängertes Mark

Medulla oblongata

## Rückenmark



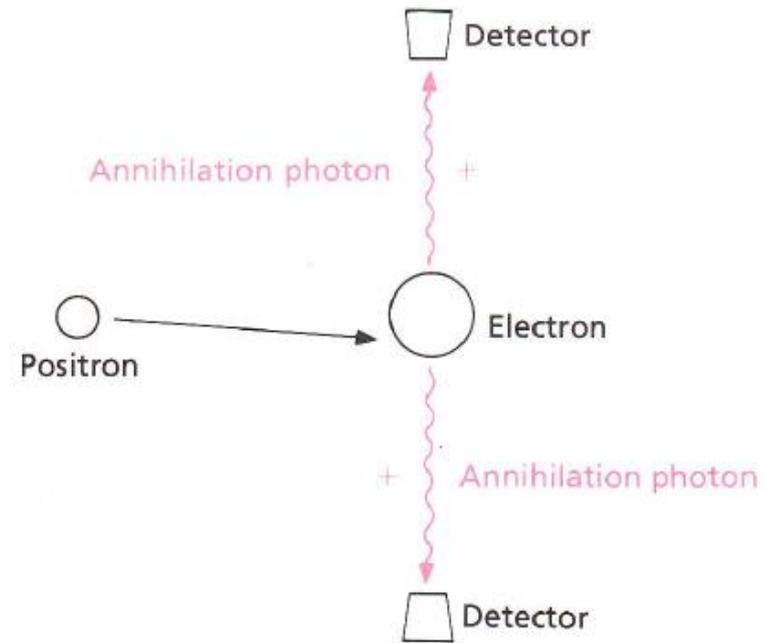
Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung

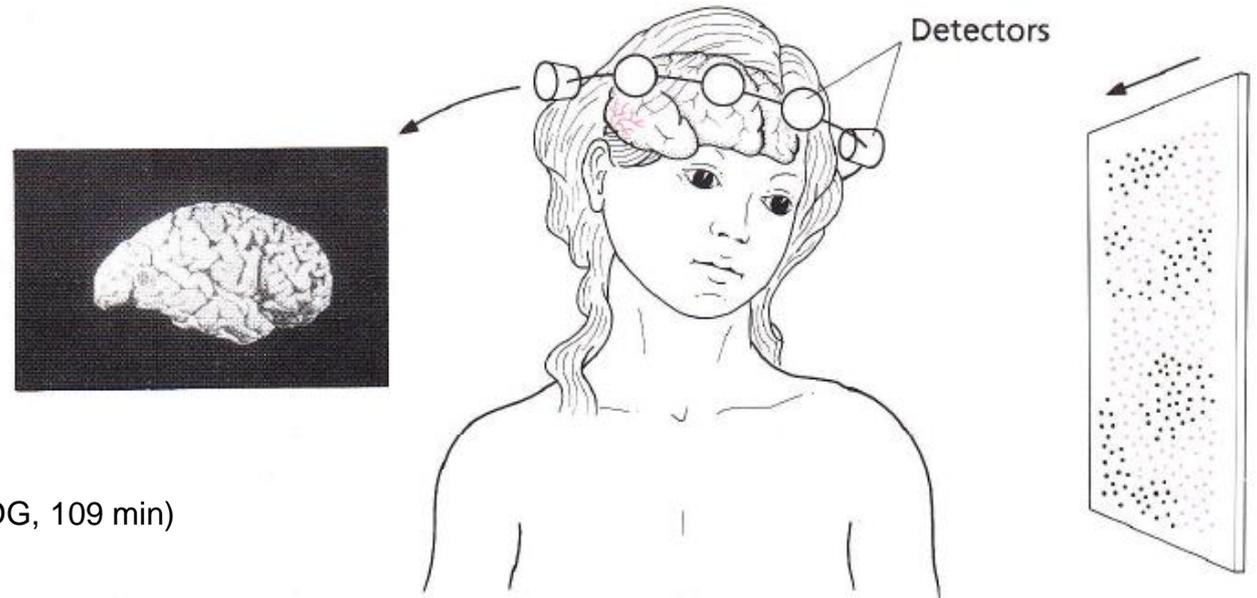
# Methoden

## 1. PET

Positronen-Emissions-Tomographie



(a)

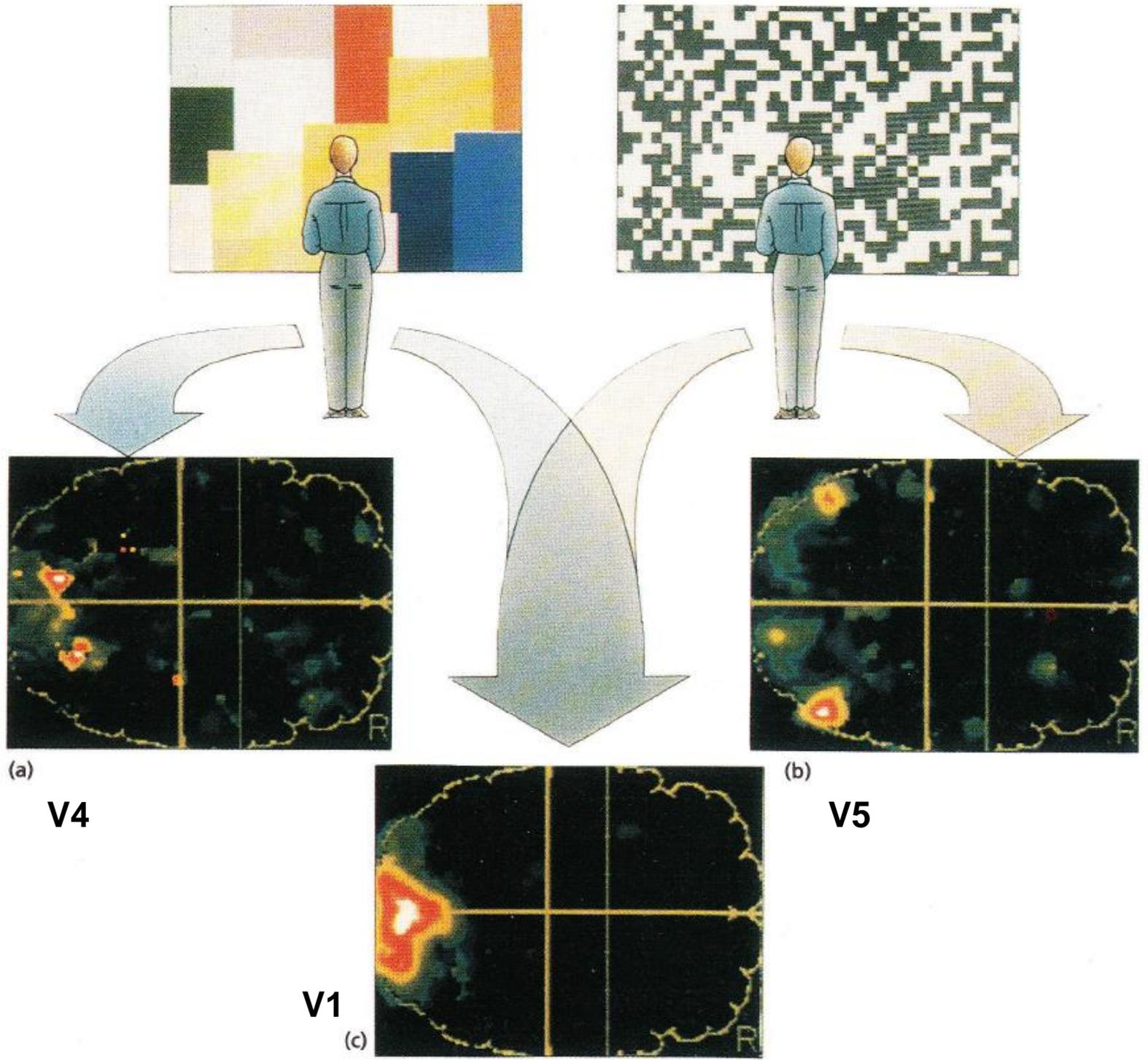


(b)

## Positronenstrahler

$^{15}\text{O}$  (2.04 min, inhalation),  $^{11}\text{C}$  (20 min),  $^{18}\text{F}$  ( $^{18}\text{F}$ -2-DG, 109 min)

# Farb- und Bewegungswahrnehmung

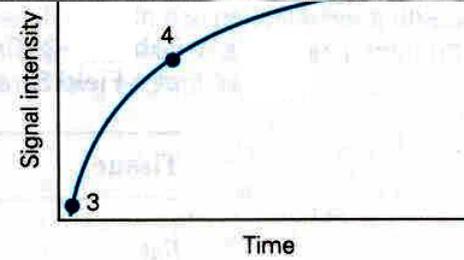
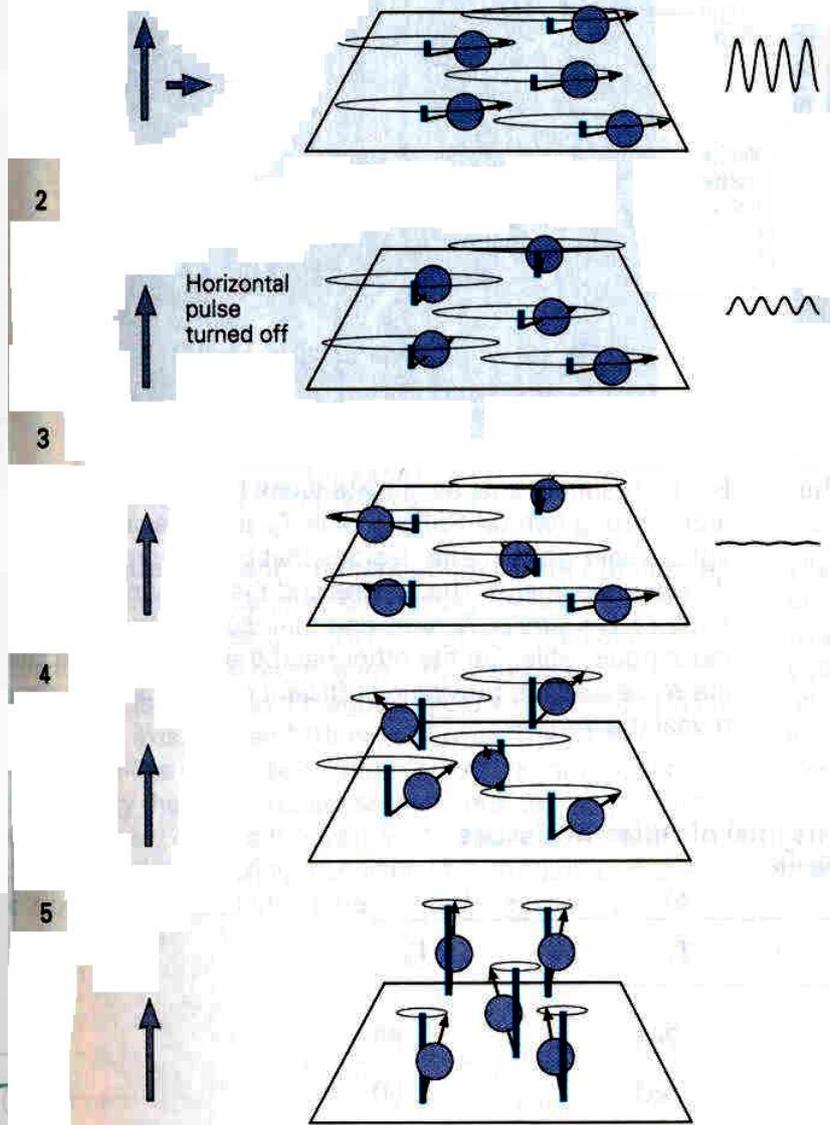


# 2. MRT

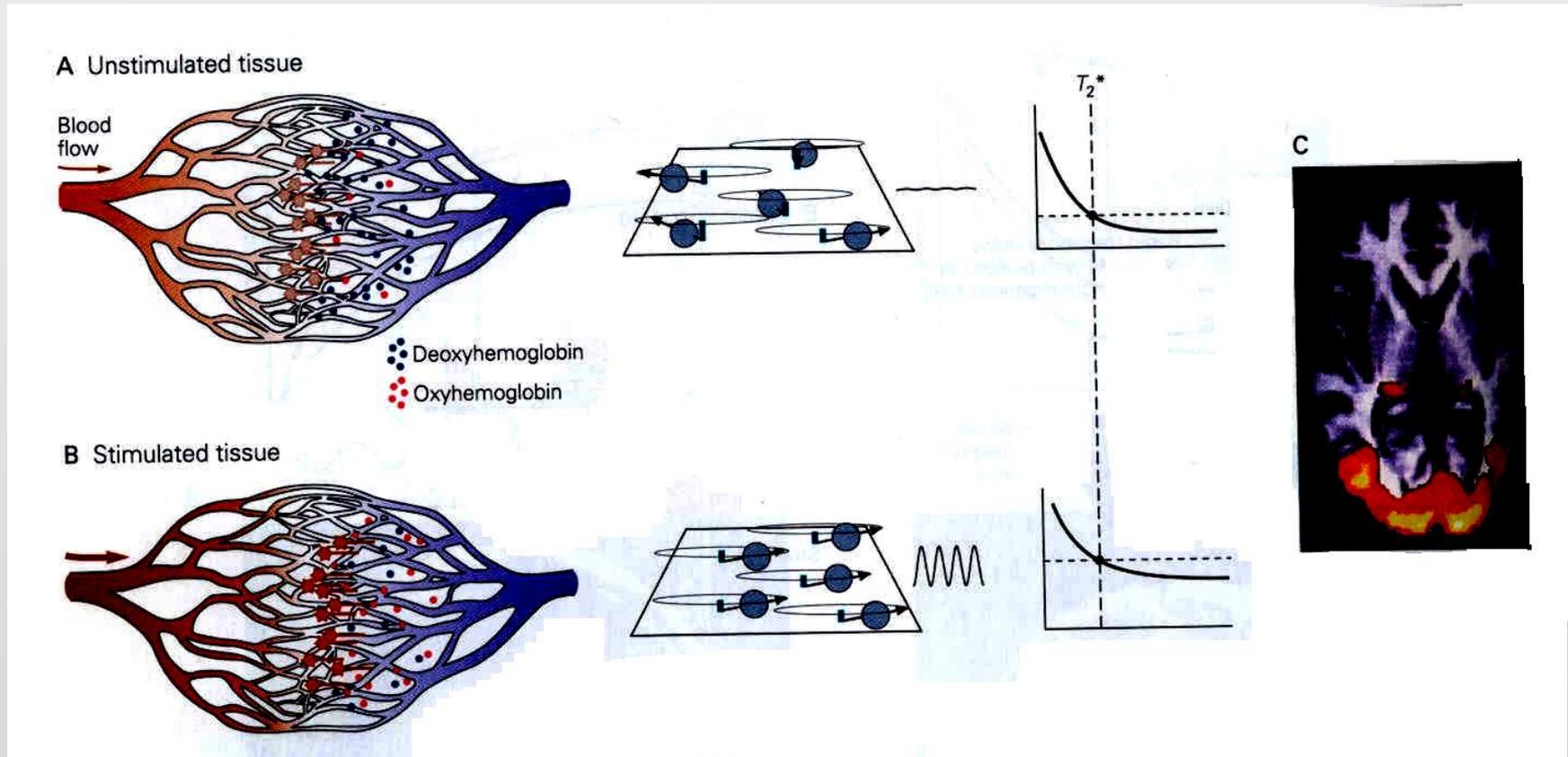
## Magnetresonanztomographie MRT

B Relaxation processes emphasized in MRI

T<sub>1</sub> gewichtete Aufnahme

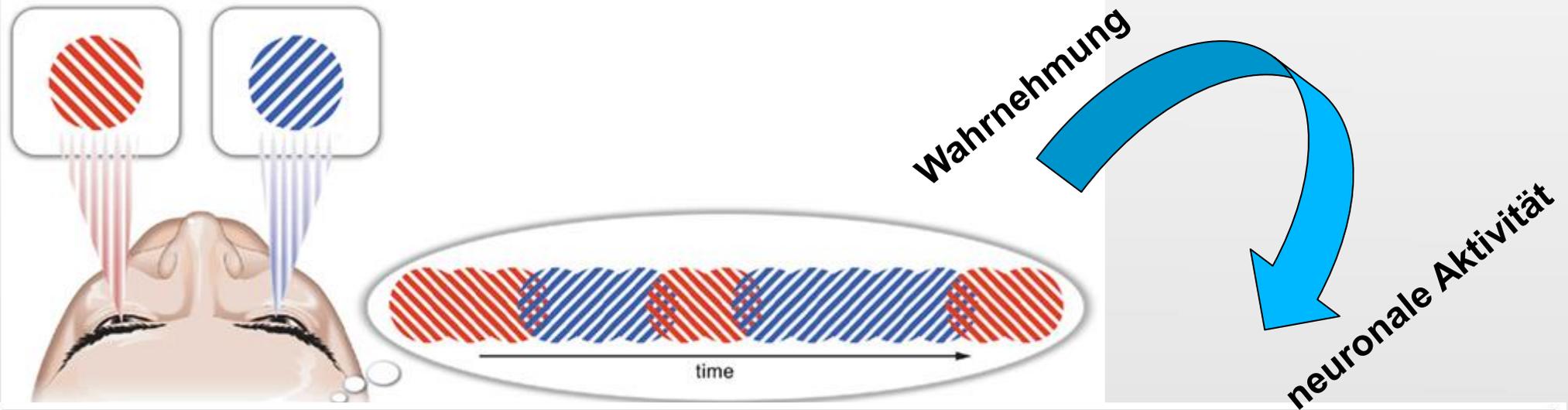


# 3. fMRT funktionelle Magnetresonanztomographie



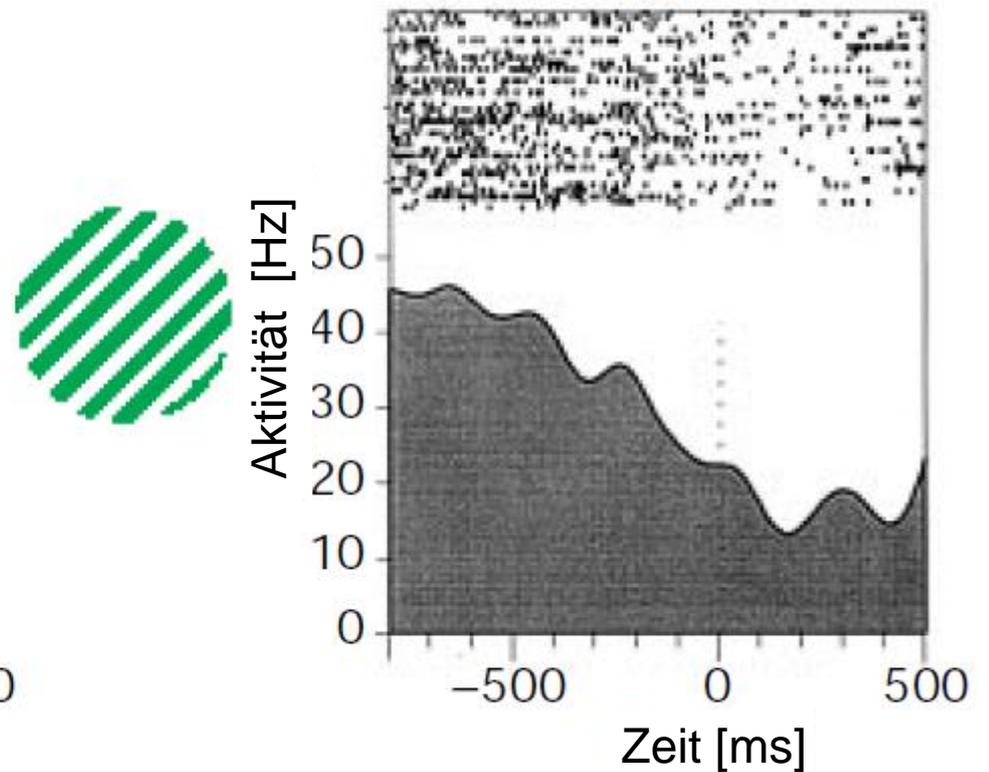
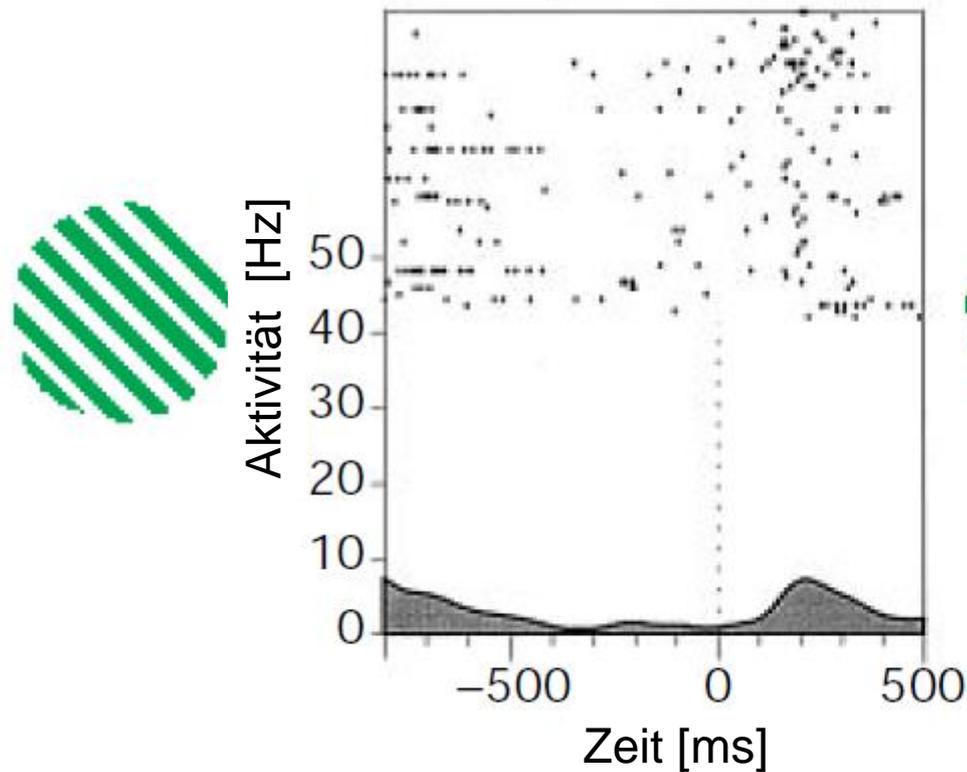
# 4. Einzelzellphysiologie

Binokuläre Rivalität



Bericht Null-Orientierung

Bericht Vorzugs-Orientierung



# Gesetze der Wahrnehmung: Psychophysik

Naive Annahme: Sinnesorgane geben uns objektive Information über unsere Umwelt

Subjektive Wahrnehmung  
**Psychologie**

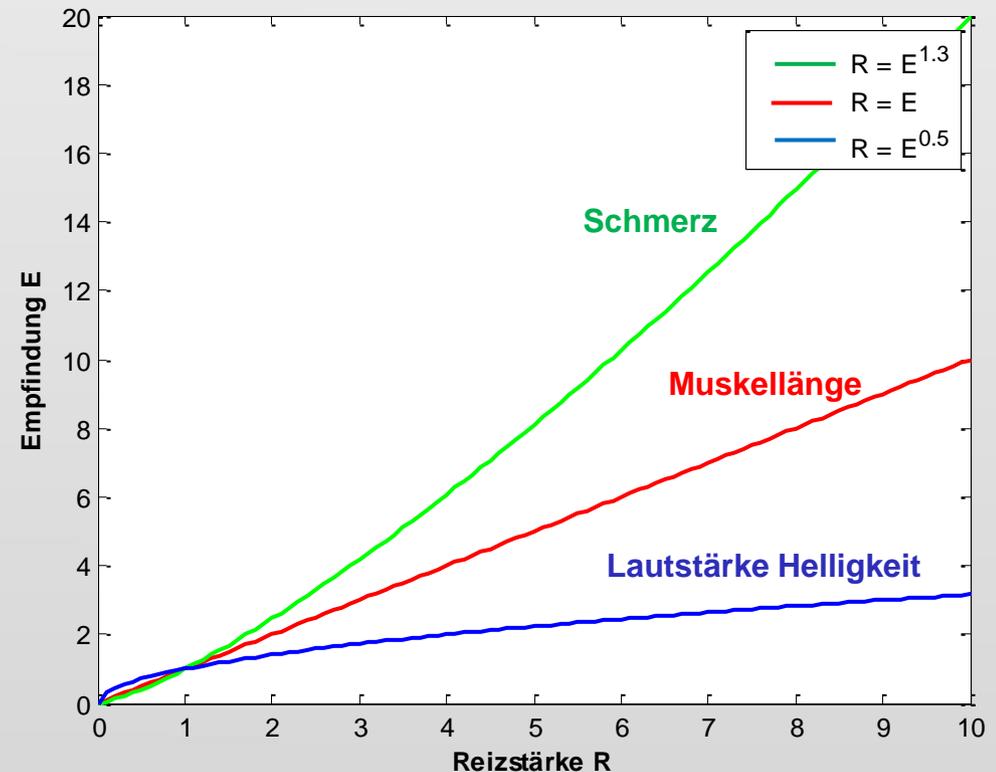
Exakte Vermessung  
**Physik**

## Weber'sche Gesetz

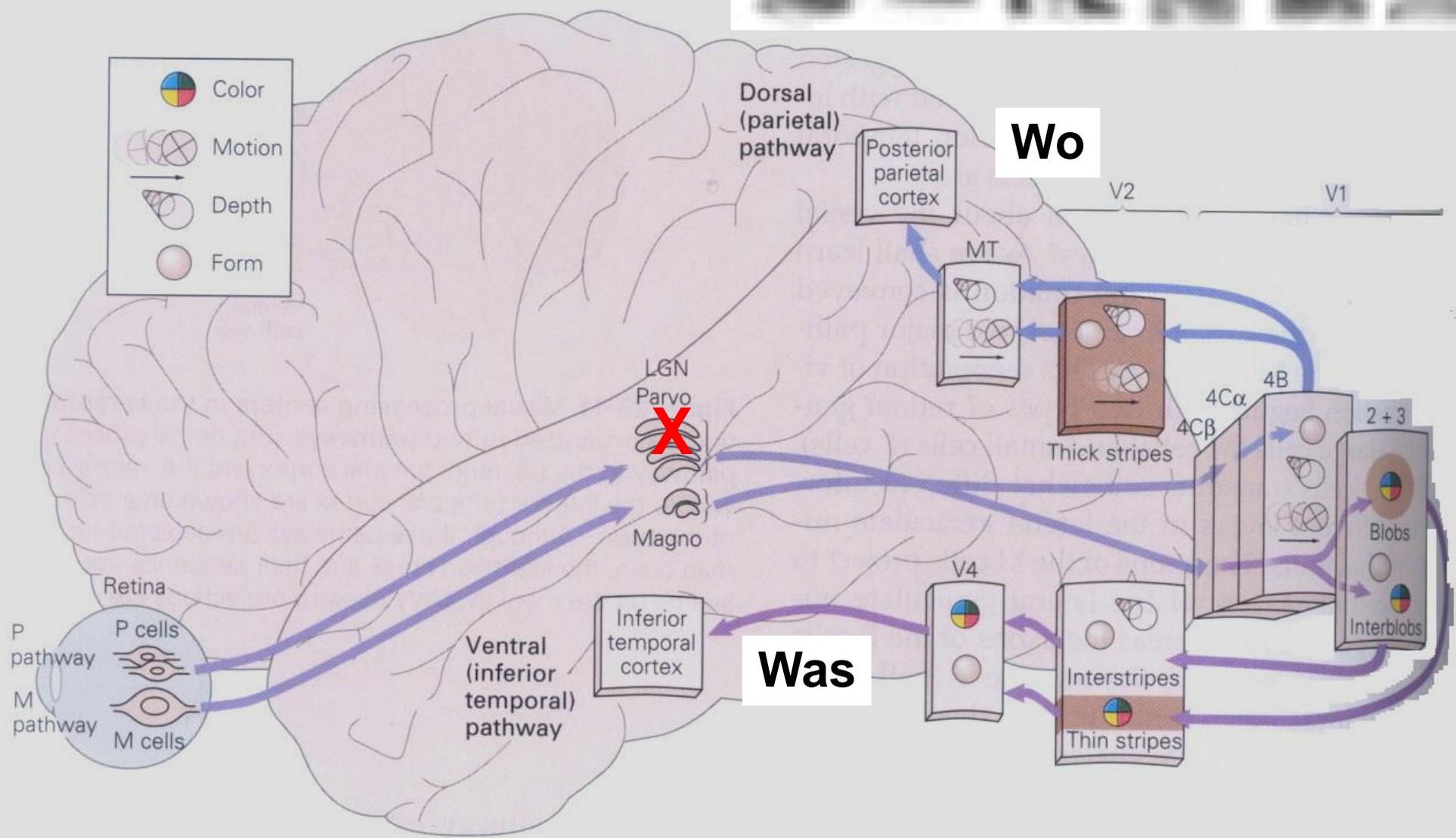
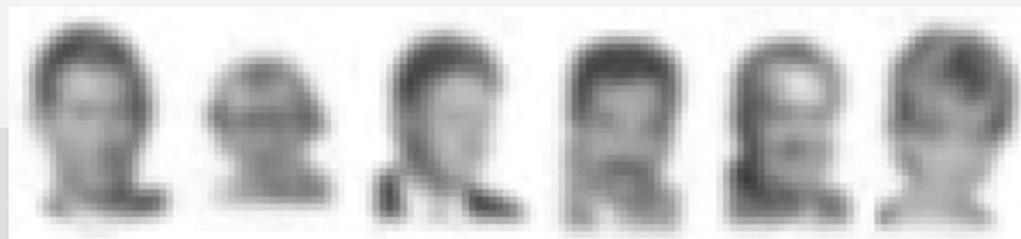
gerade noch wahrnehmbarer Unterschied skaliert mit Reizstärke

Beispiele: Gewichte, Kerzen

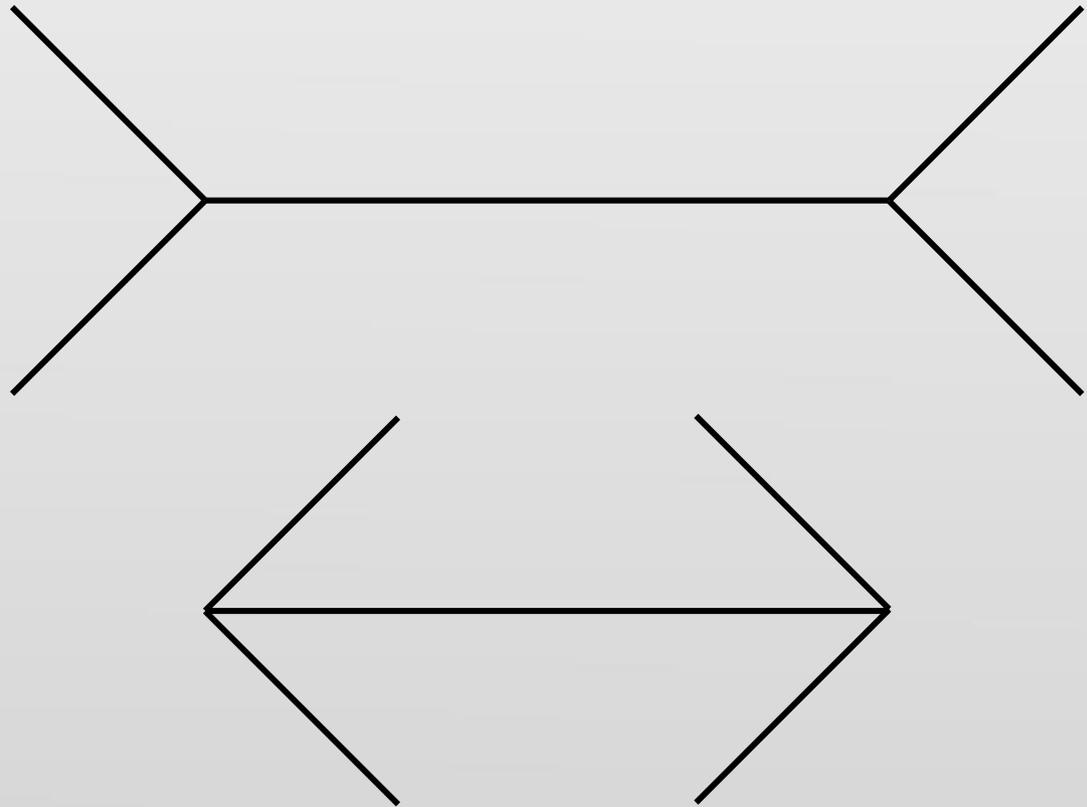
## Weber-Fechner'sches Gesetz



# neuronales Substrat der visuellen Wahrnehmung



# Mechanismen der Wahrnehmung durch optische Täuschungen verdeutlichen



Müller-Lyer-Illusion

# 1. Wahrnehmung wird durch Adaptation (Anpassung) beeinflusst

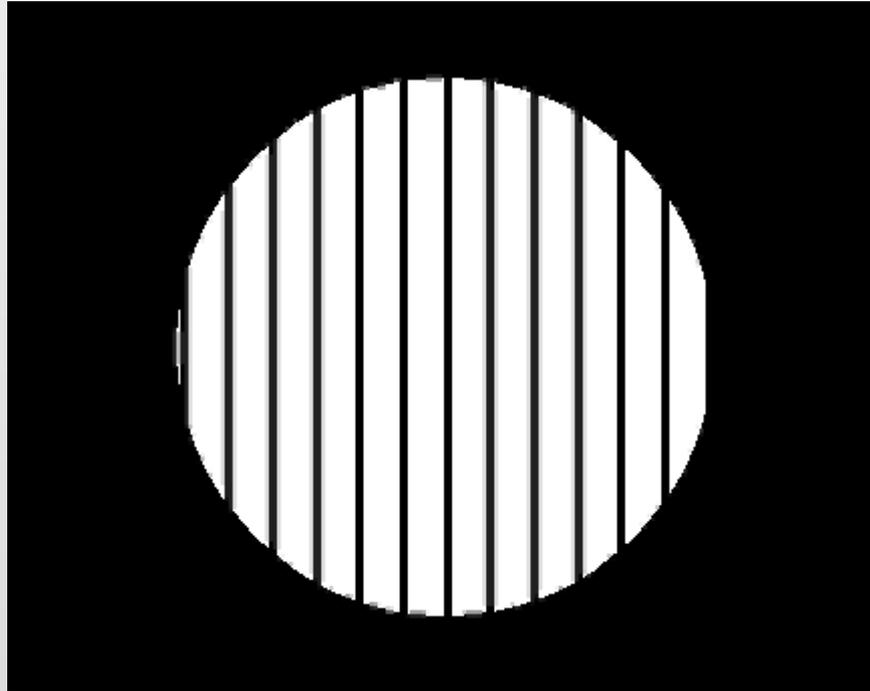
Bewegung

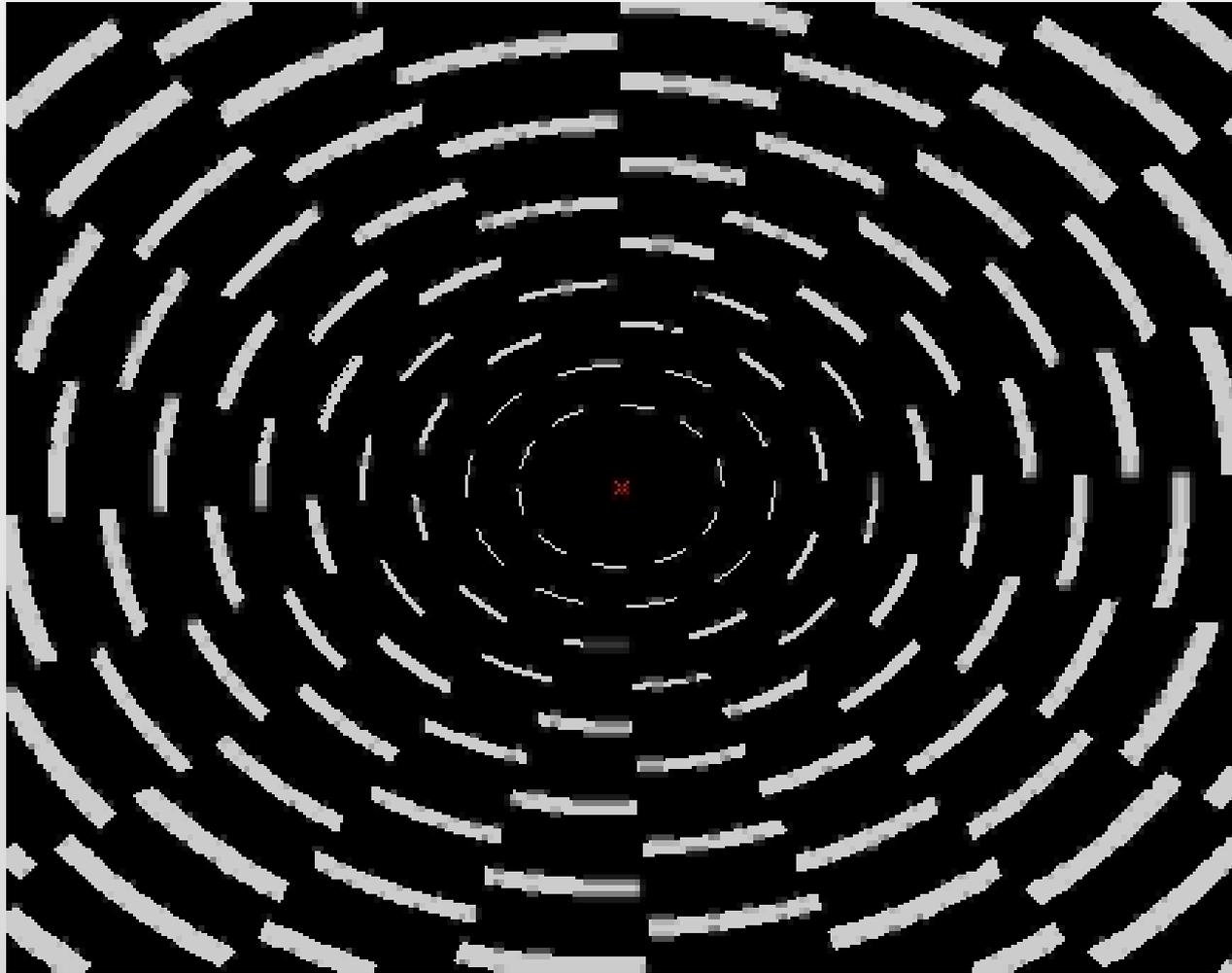
Mengen

Farbe

# Bewegung

Bewegungs-Nacheffekt  
Wasserfall Illusion





Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung 20



Schülerlabor  
Neurowissenschaften

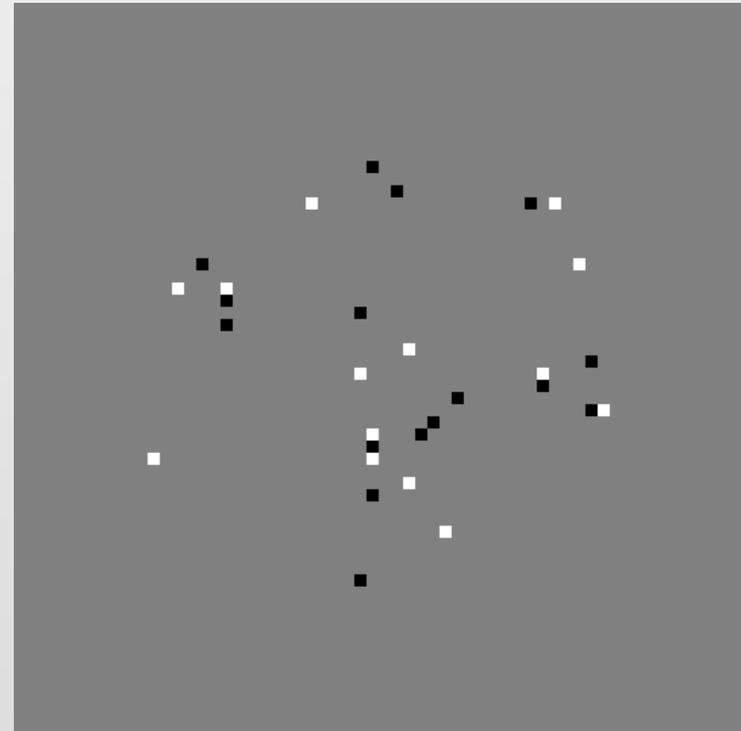
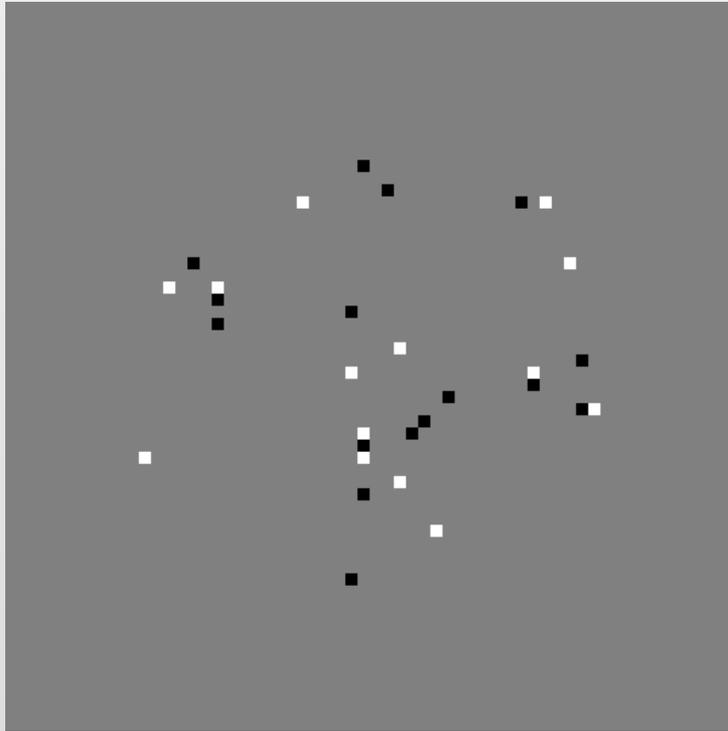
Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung

Wie weit können Sie zählen?

Wörter für Zahlen: eins, zwei, drei ..... siebenhunderttausenddreihundertfünfundvierzig



Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung

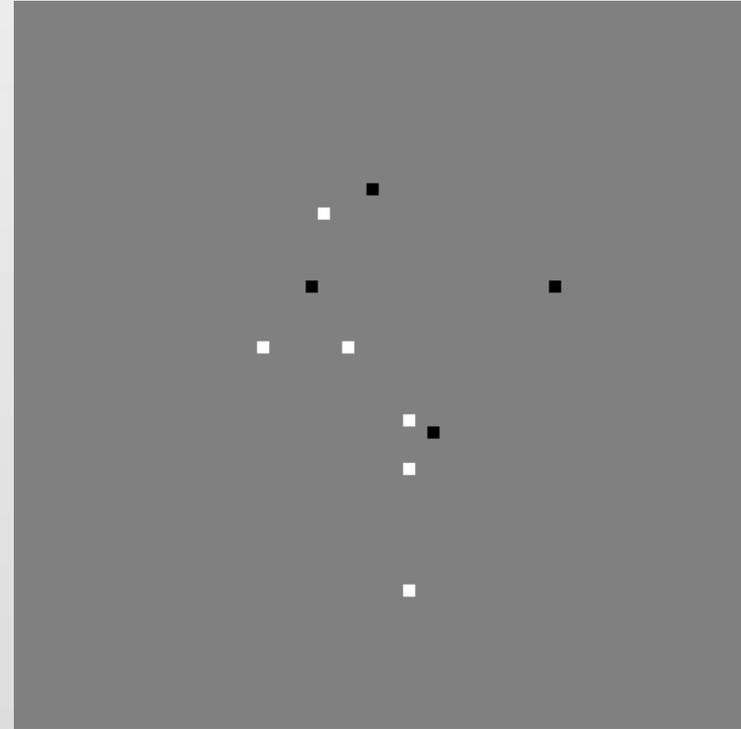
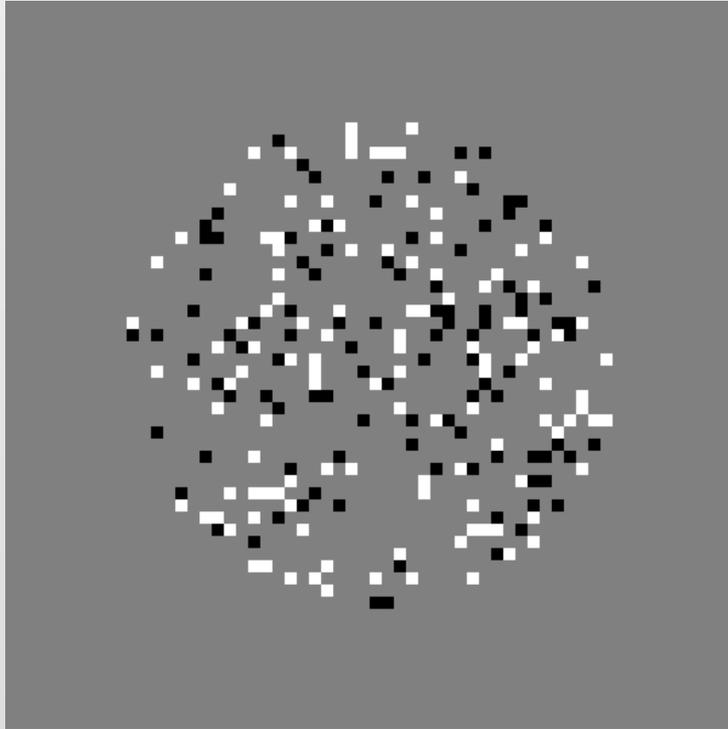


Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung<sup>24</sup>

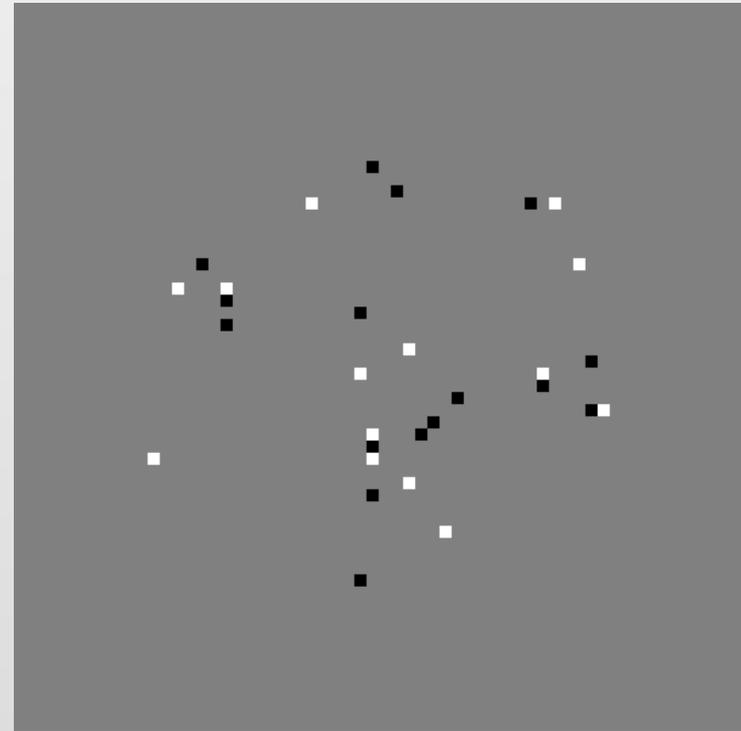
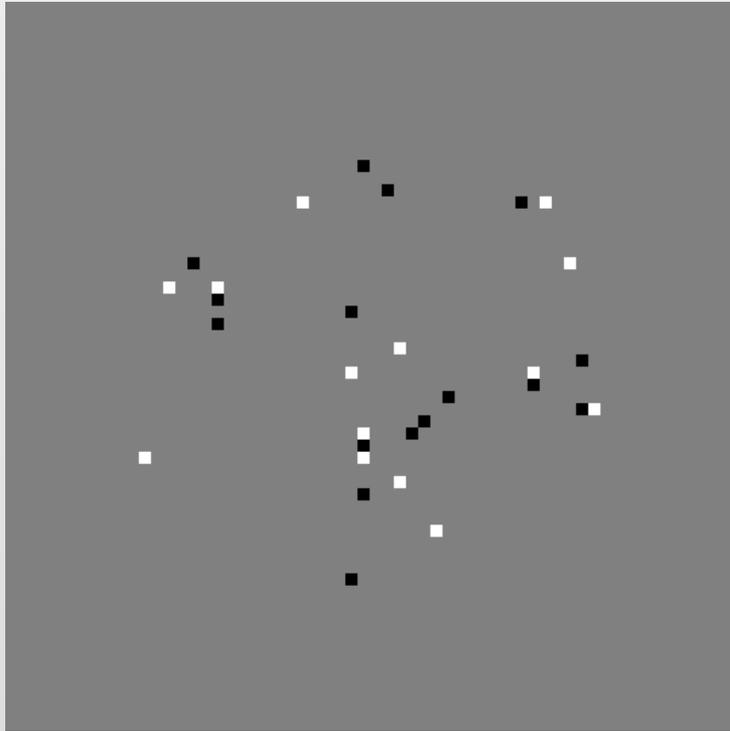


Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung





Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung

x

**Farbe**

x

# Farbe

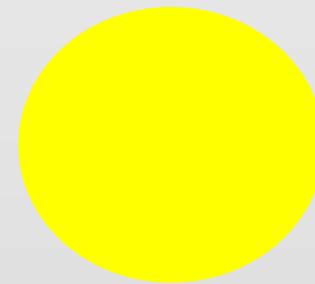
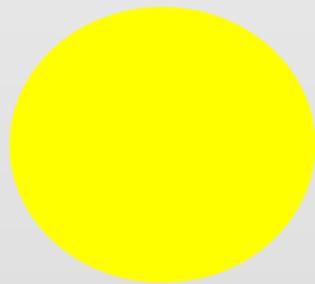


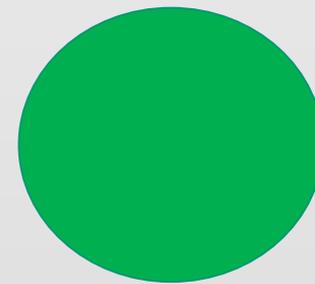
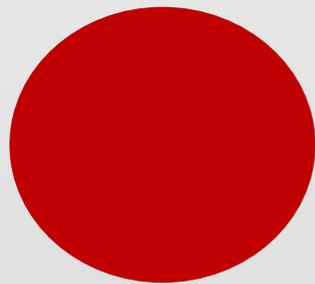
Schülerlabor  
Neurowissenschaften

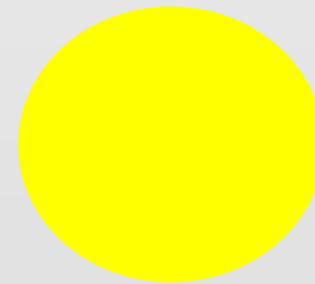
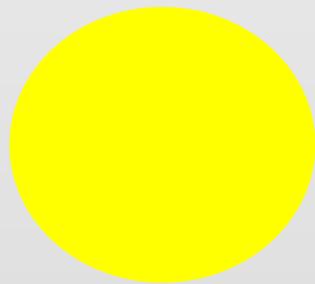
Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



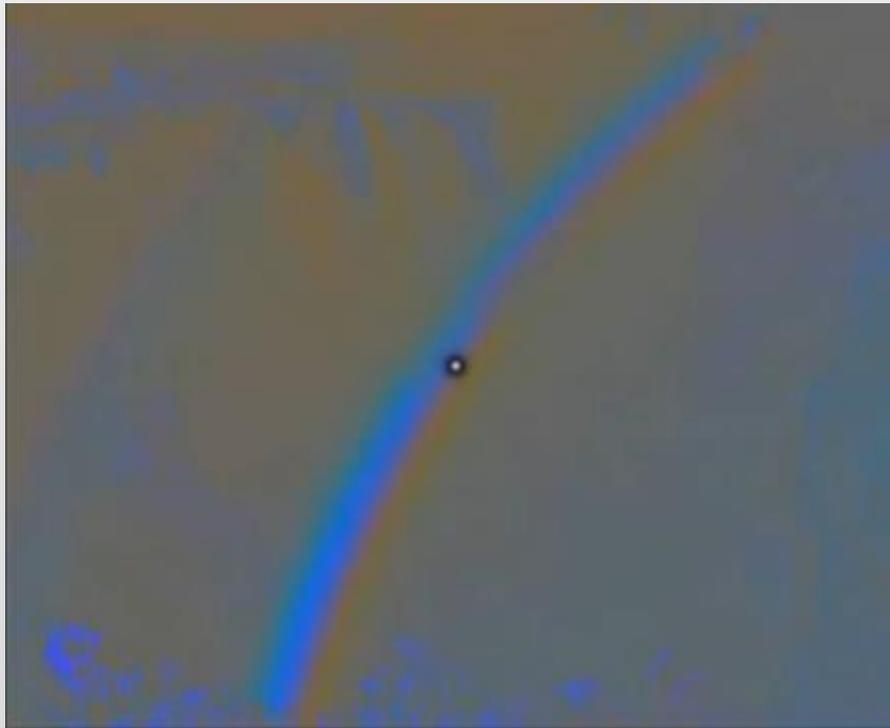
Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung











Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut<sup>34</sup>  
für klinische Hirnforschung



## Erklärung dieser Phänomene der Nacheffekte:

Adaptation auf zellulärer Ebene

Nervenzellen zeigen vor allem phasische Eigenschaften  
d.h. nur Änderungen werden kodiert

Adaptation als einfache Form des Lernens  
technische Systeme: SIRI

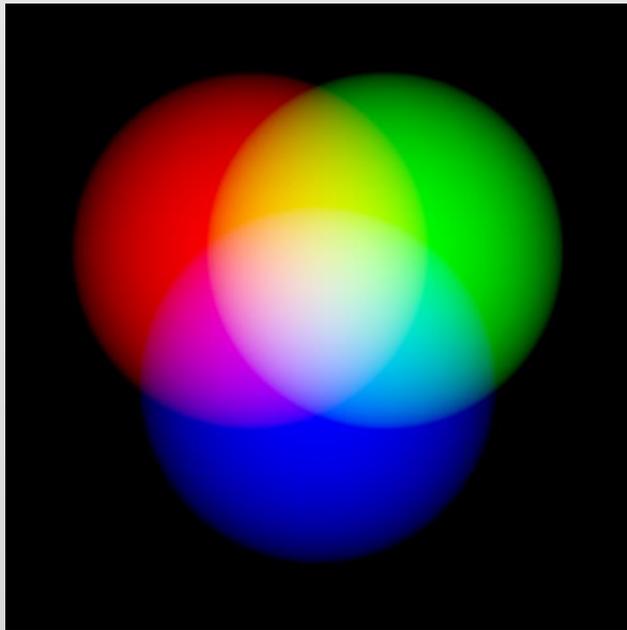
Basis für extreme Breite des dynamischen Bereichs:  
Zeitung lesen im Mondschein bis Skifahren auf dem  
Gletscher

## 2. Farbwahrnehmung

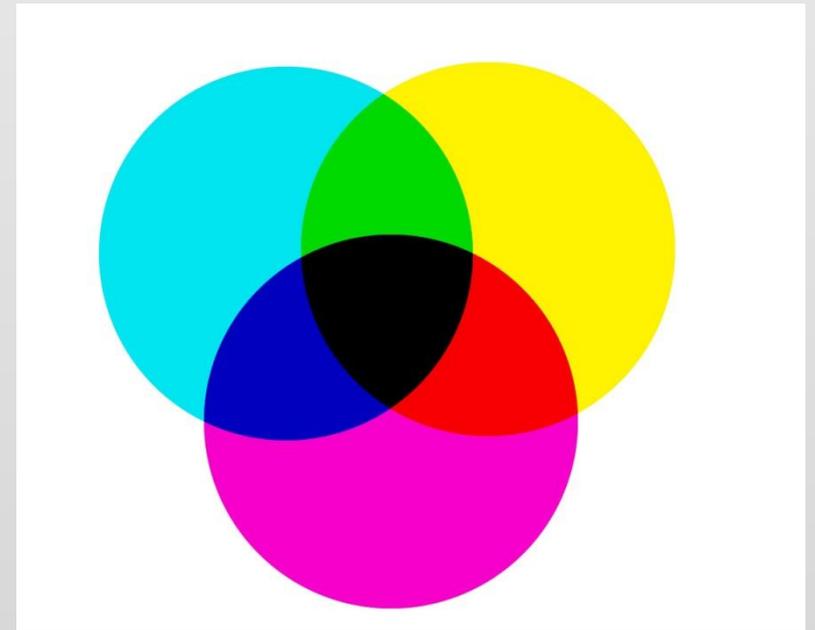
**Computer, Fernseher:** Pixel (picture element) für rot, grün und blau

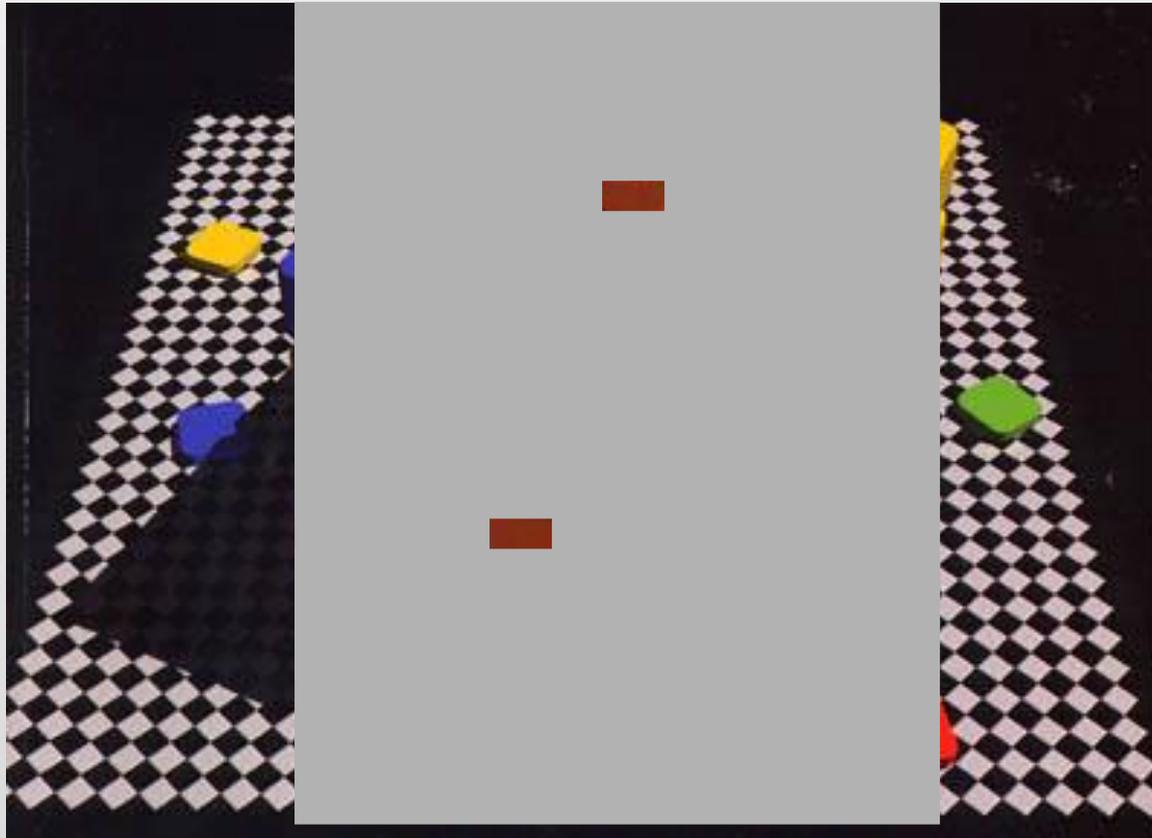
**Auge:** Sinneszellen für rot, grün und blau

Additive Farbmischung



Subtraktive Farbmischung





## Farbkonstanz

Farbwahrnehmung ist unabhängig von der aktuellen Beleuchtung

## Erklärung dieser Phänomene der Farbwahrnehmung:

Farbwahrnehmung ist ein globaler Vorgang, findet in der Großhirnrinde statt

Photorezeptoren (Zapfen) in der Netzhaut sollten nicht nach Farben, sondern nach den physikalischen Eigenschaften des Lichts benannt werden.

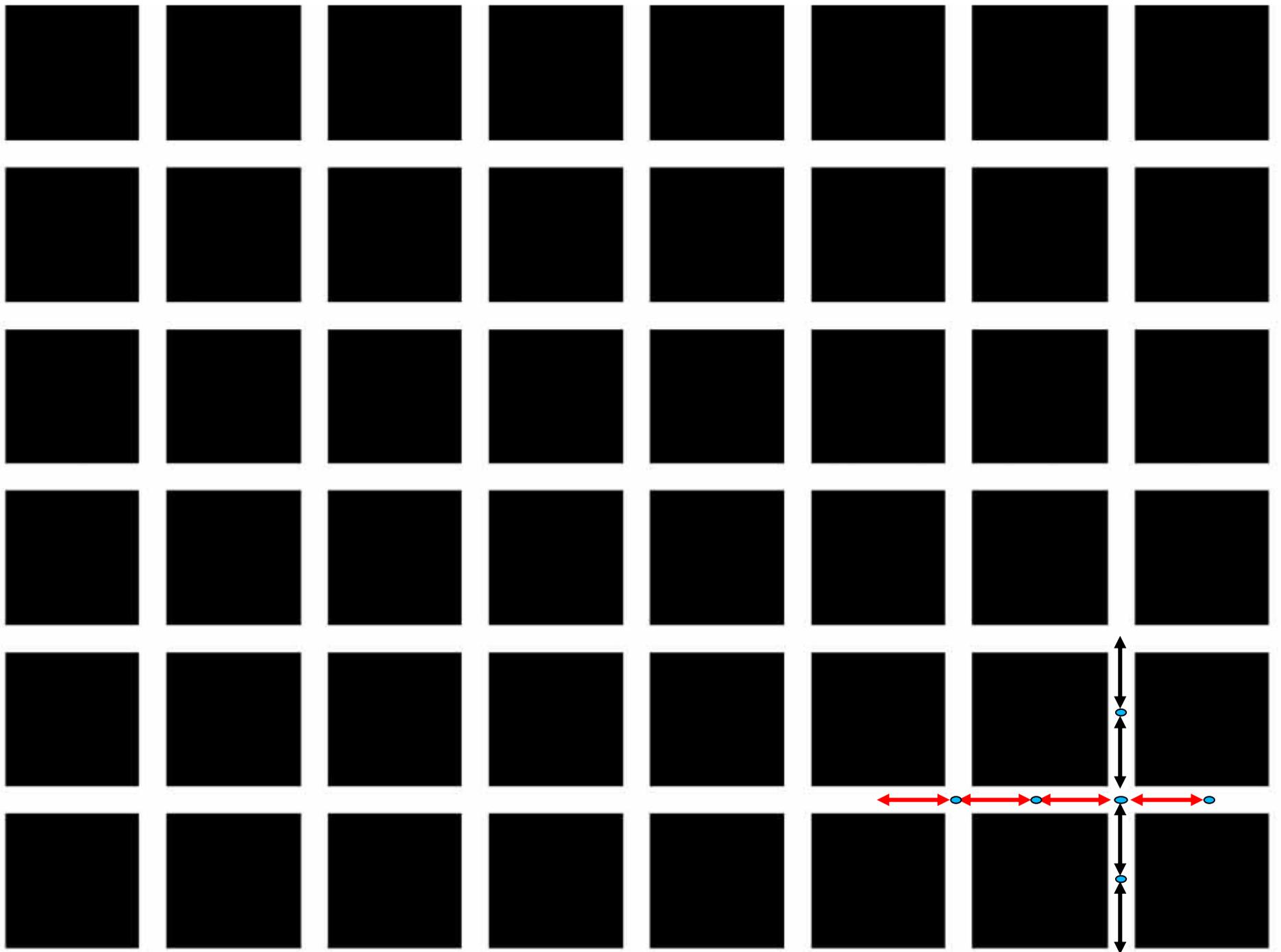
|                        |  |
|------------------------|--|
| <del>Rot-Zapfen</del>  | Zapfen für langwelliges Licht                |
| <del>Grün-Zapfen</del> | Zapfen für Licht einer mittleren Wellenlänge |
| <del>Blau-Zapfen</del> | Zapfen für kurzwelliges Licht                |

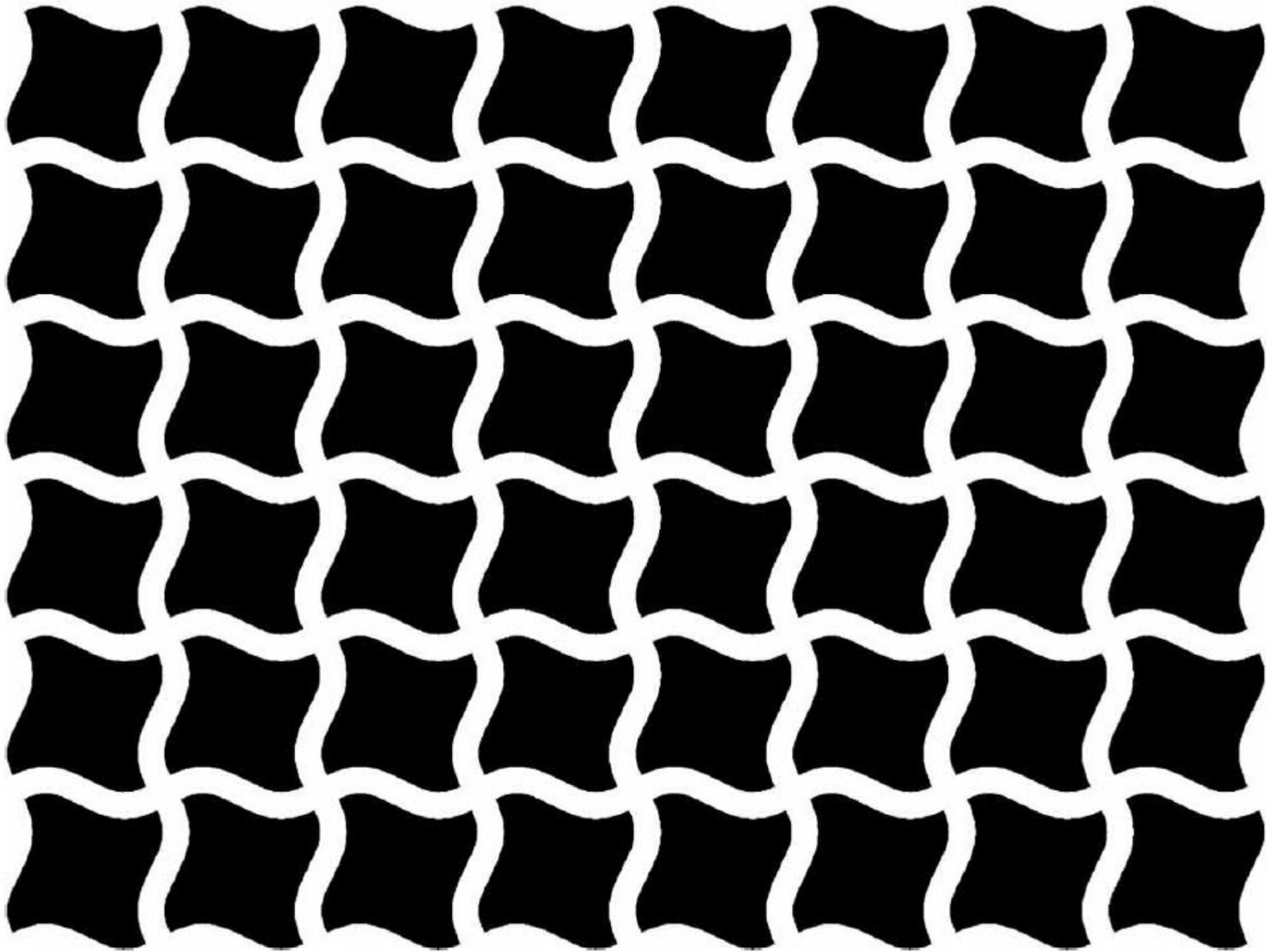
### 3. Formwahrnehmung

.... ein Dalmatiner?

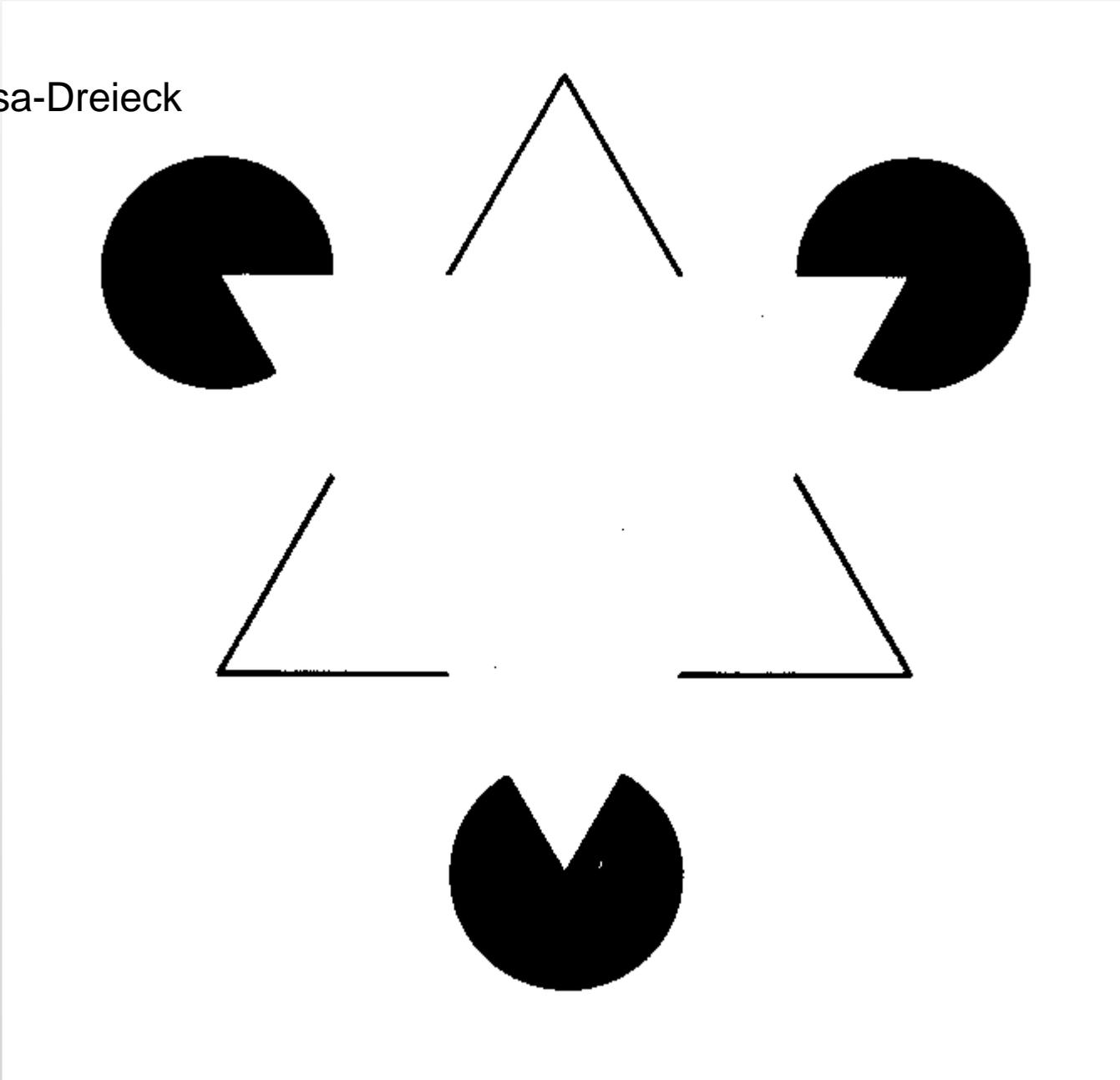


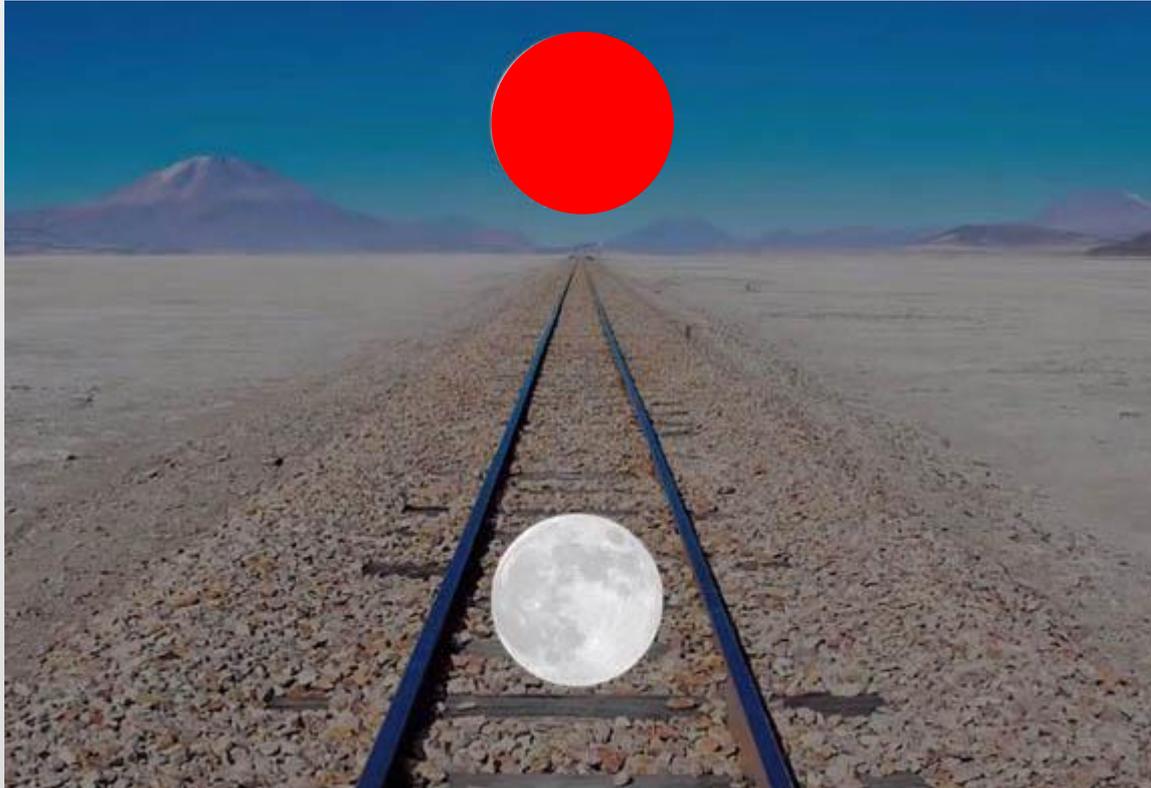
# Einfluss des Nachbarn: laterale Inhibition



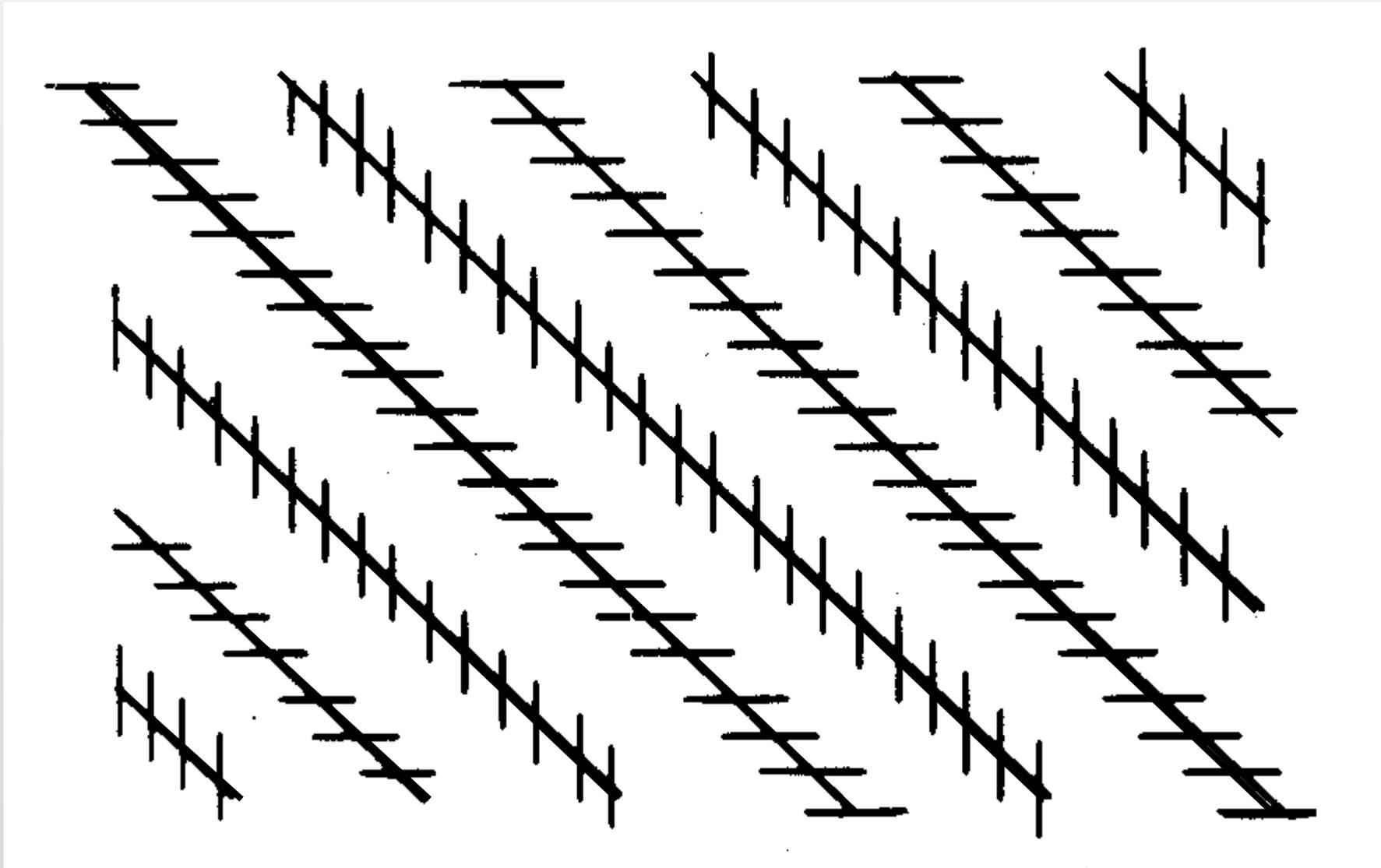


# Kanizsa-Dreieck

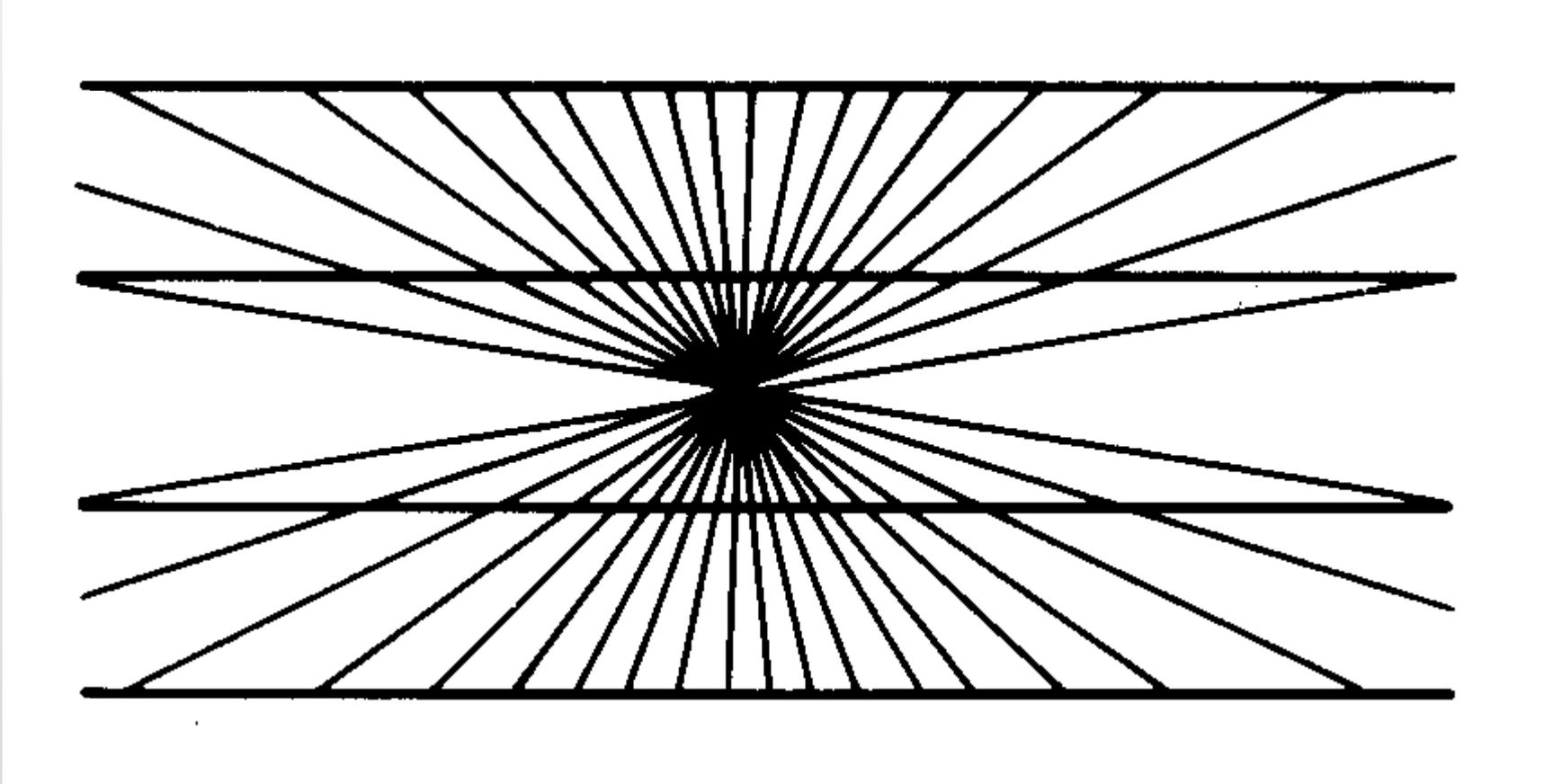




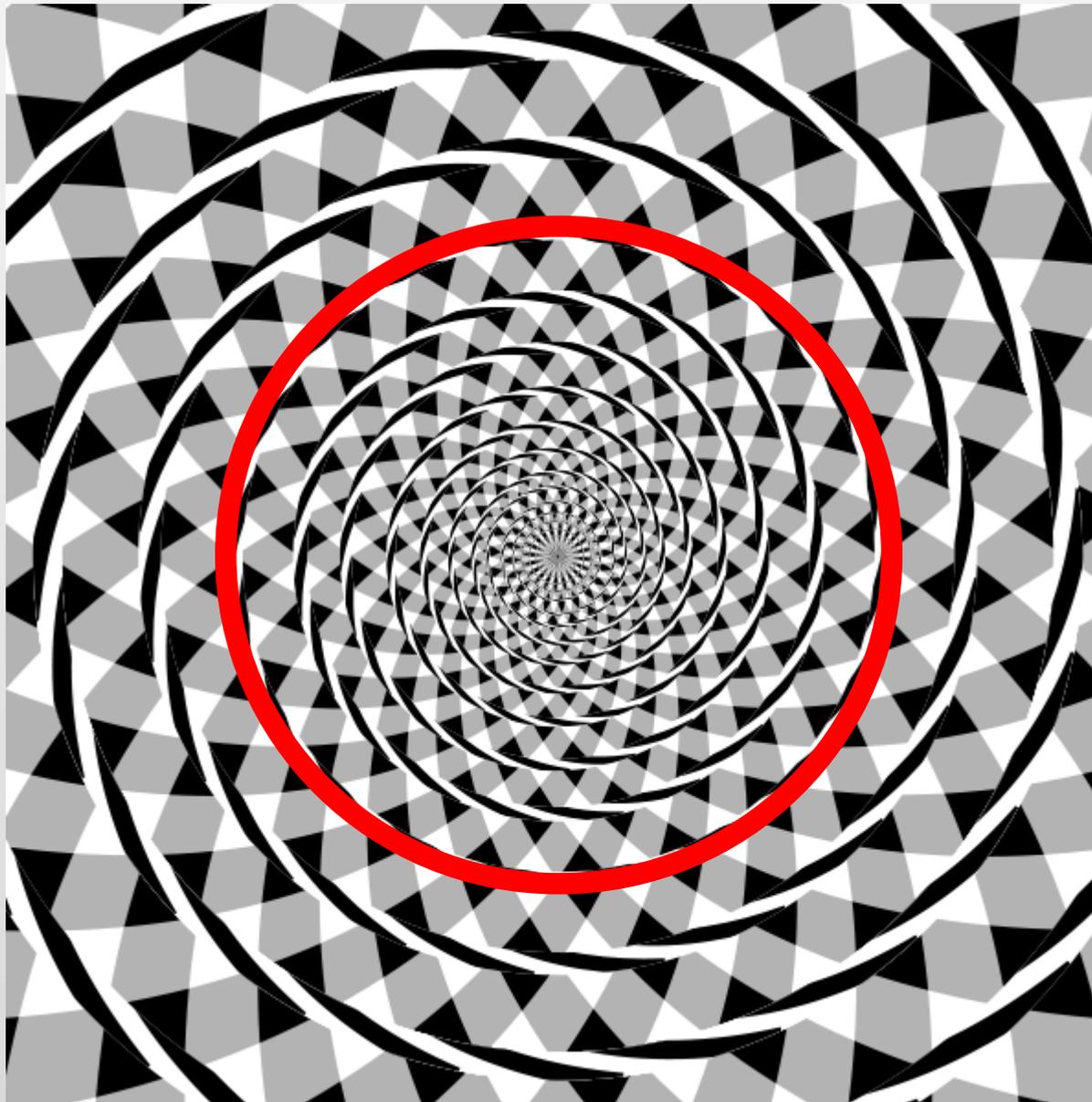
Ponzo Illusion



Zöllner Illusion



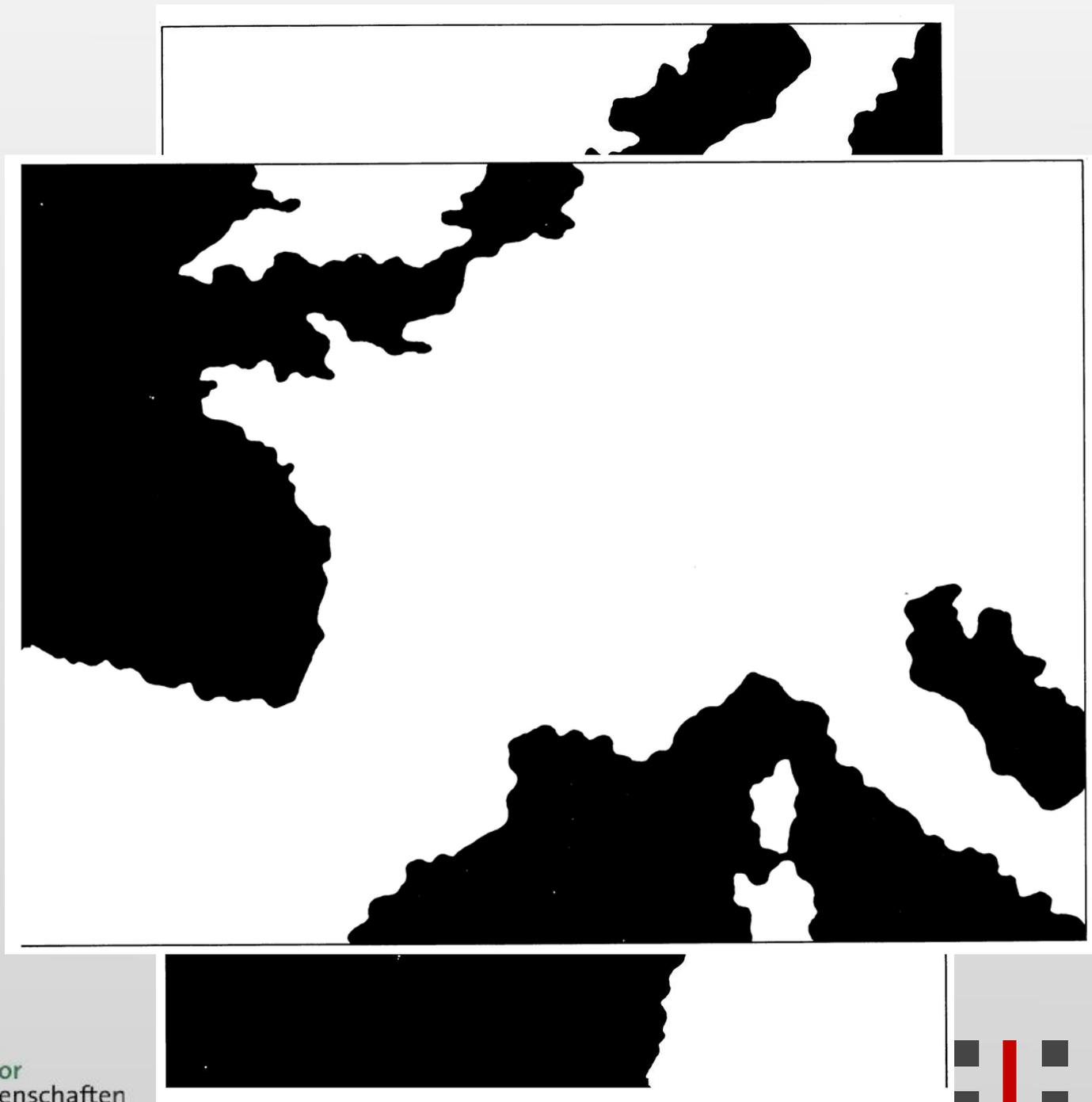
Hering Illusion



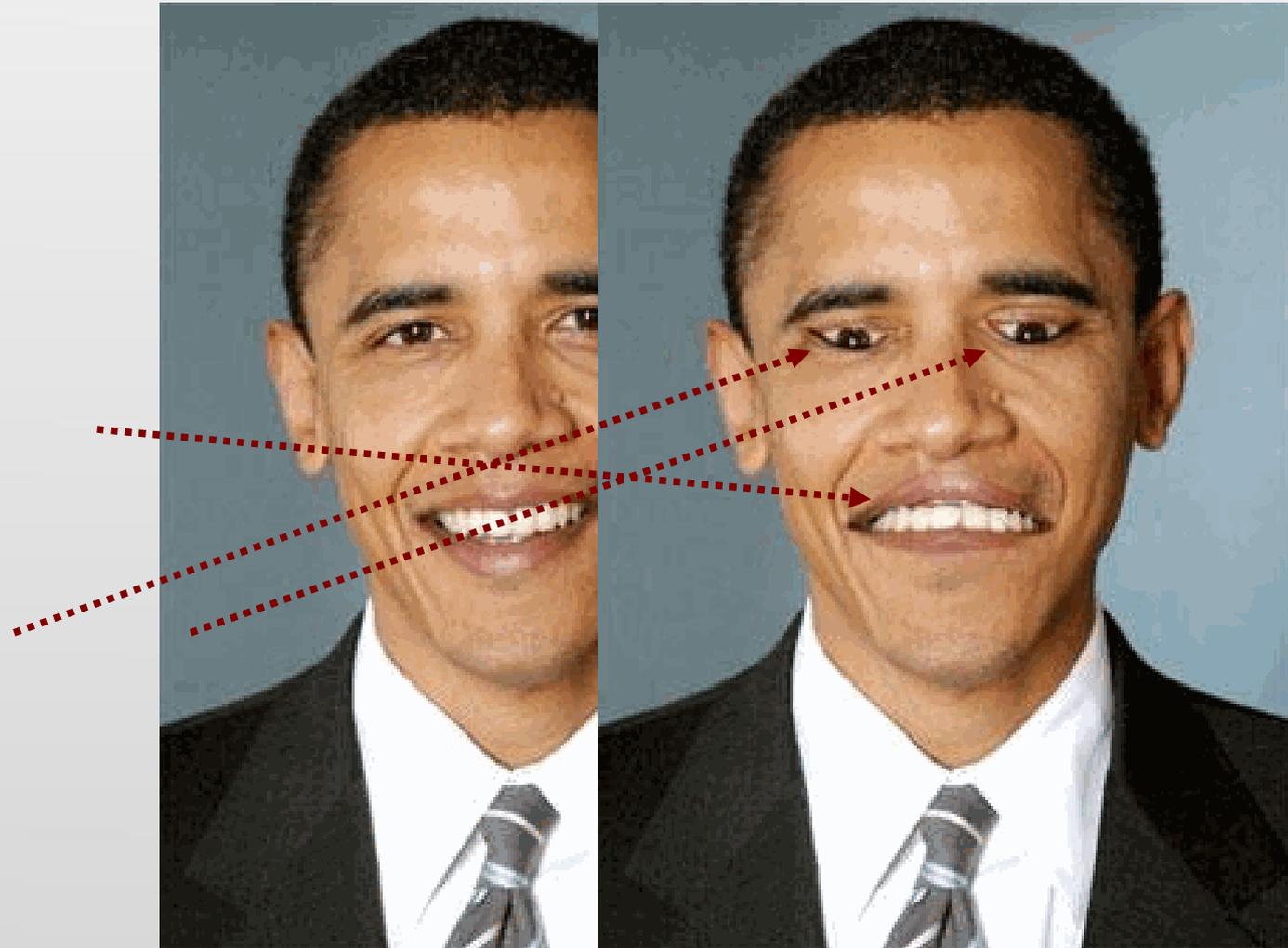
## Sehen von Formen

Wahrnehmung einer Form erfolgt niemals isoliert!

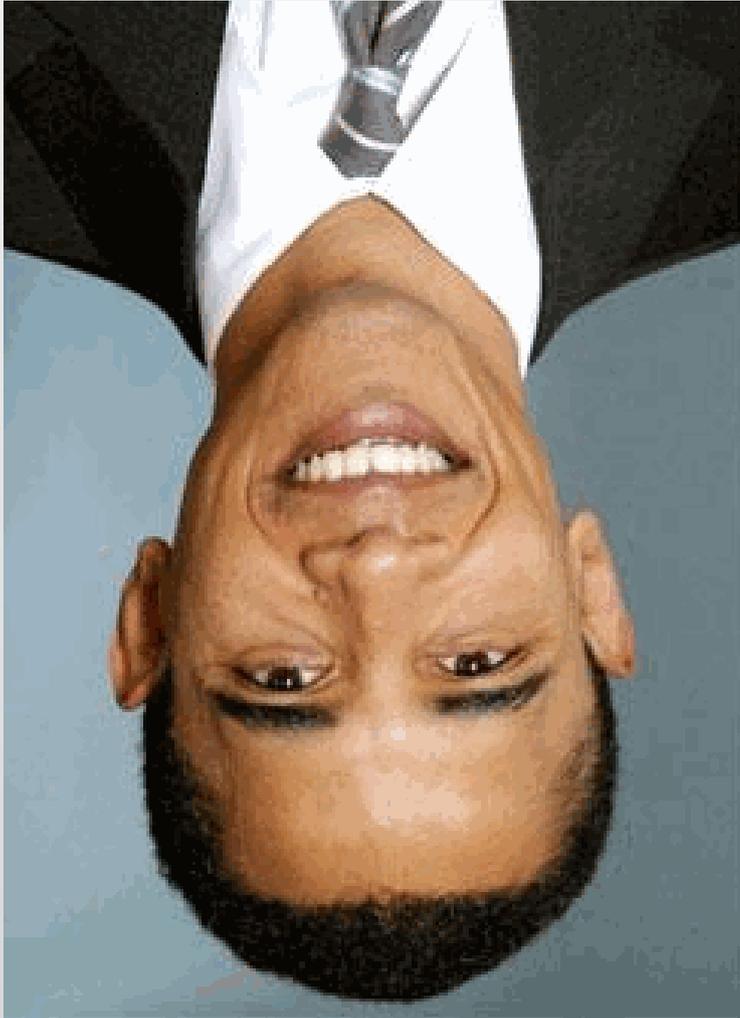
# aufrechte Welt: erfolgreiche Formwahrnehmung setzt eine normale Orientierung voraus



aufrechte Welt: erfolgreiche Formwahrnehmung setzt eine normale Orientierung voraus



# aufrechte Welt



# aufrechte Welt

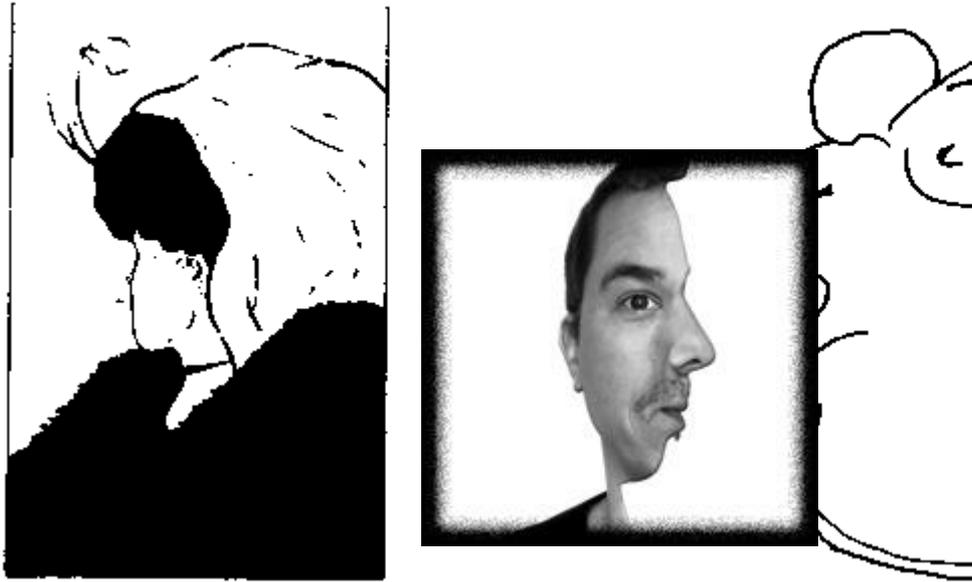


## **Erklärung dieser Phänomene der Formwahrnehmung:**

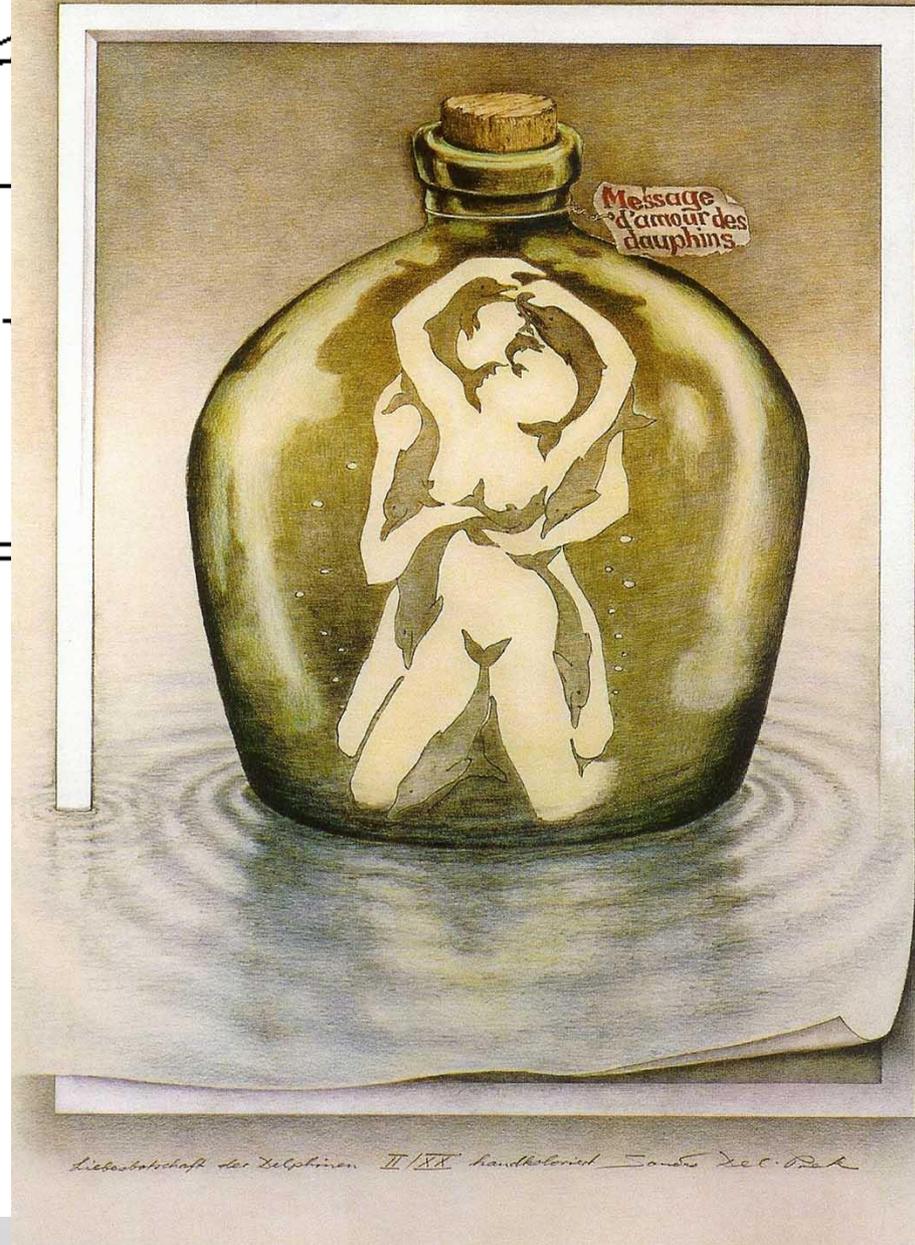
Objektwahrnehmung geschieht niemals isoliert

Eigenschaften eines Objektes werden durch die Eigenschaften der Umgebung beeinflusst

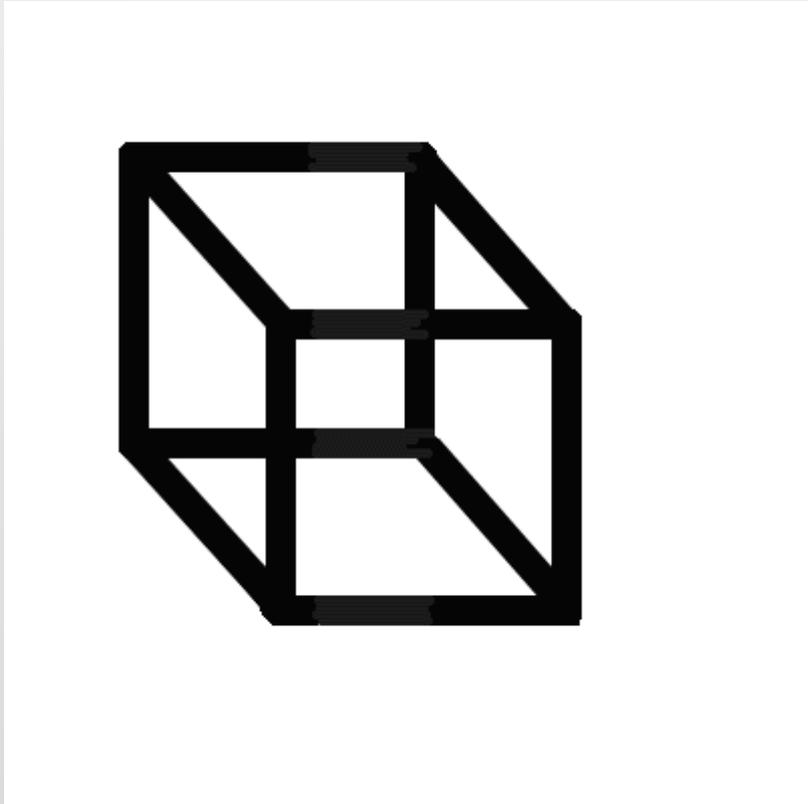
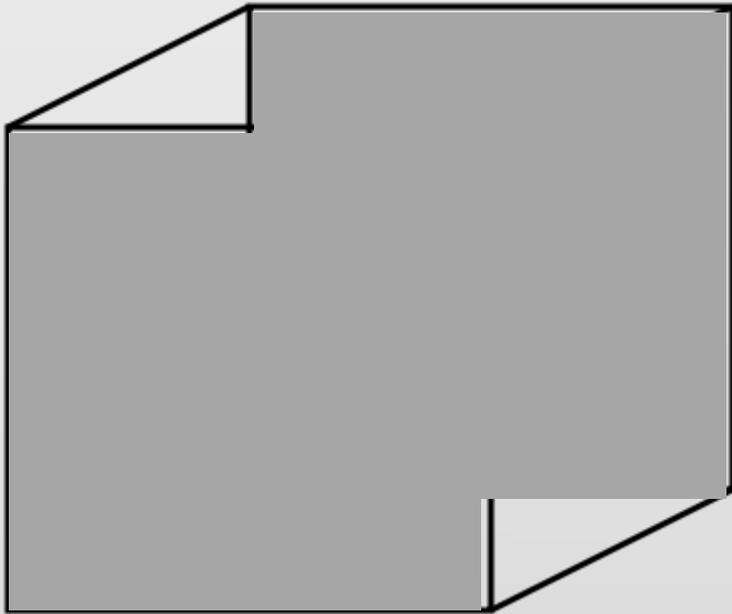
# 4. Bistabile Wahrnehmung



Sandro Del Prete

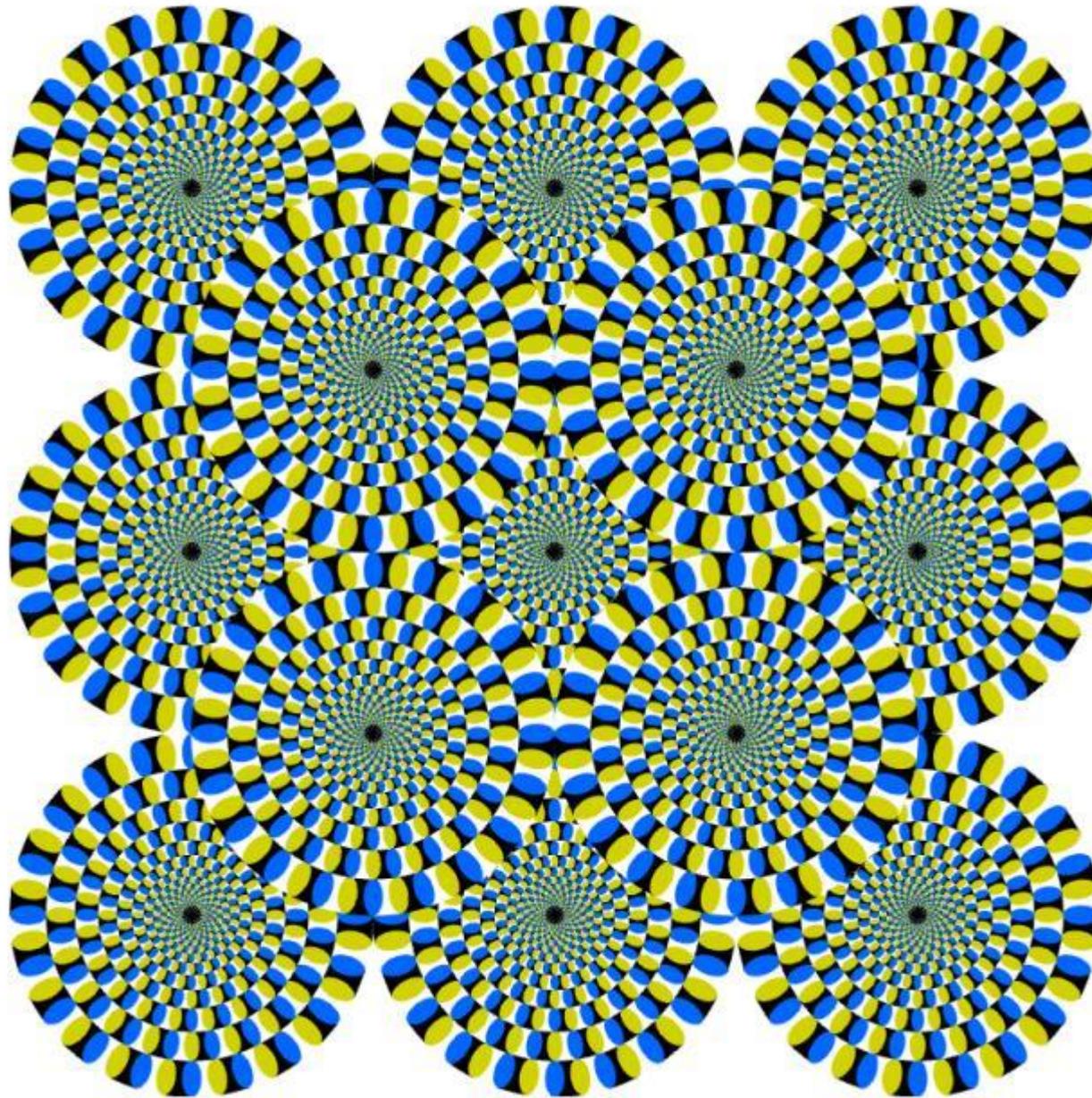


# Necker Würfel





## 5. Augenbewegungen

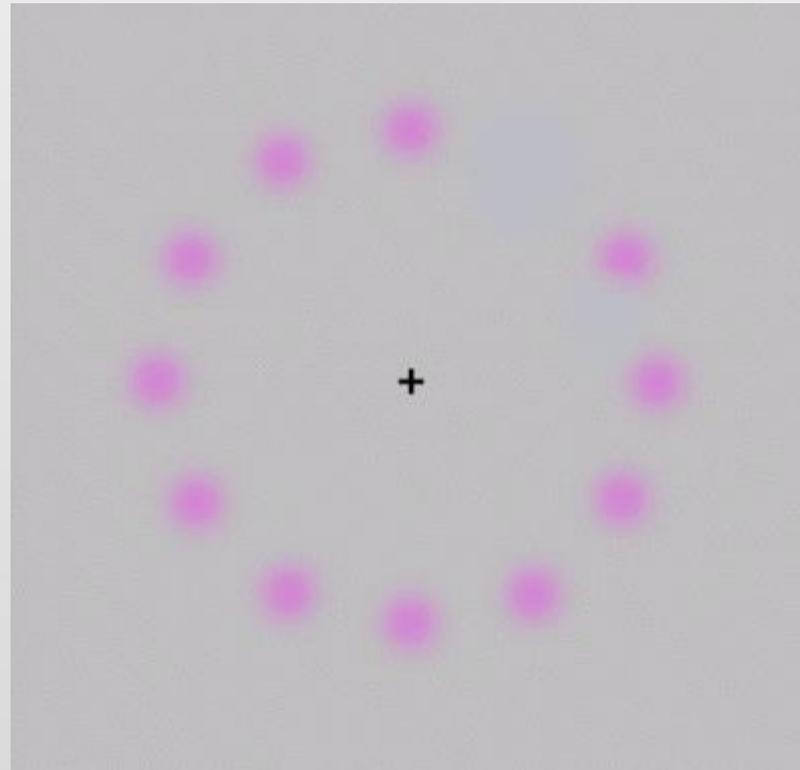


# Augenbewegungen (Menschen) – Kopfbewegungen (Vögel)



## 6. Bewegungswahrnehmung

Troxler  
Illusion



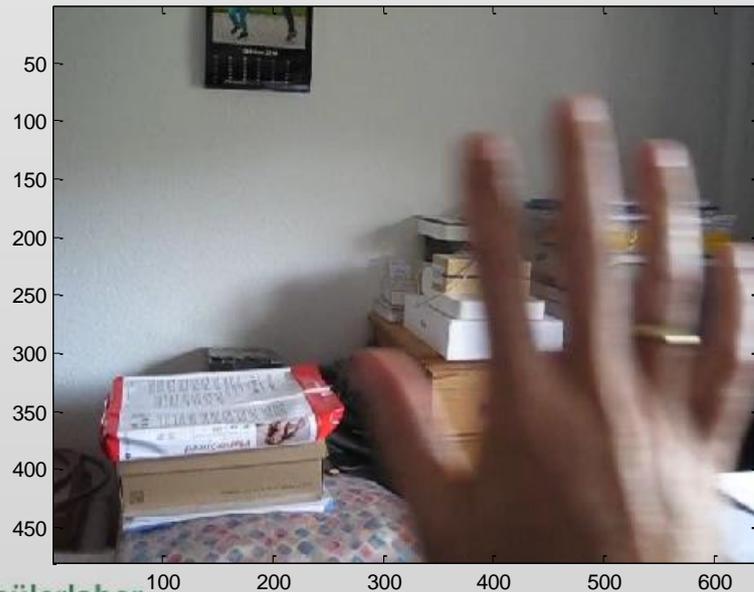


## Verarbeitung von Bewegung

Als erstes wird ein Objekt erkannt,  
danach kann  $v = dx/dt$  berechnet werden

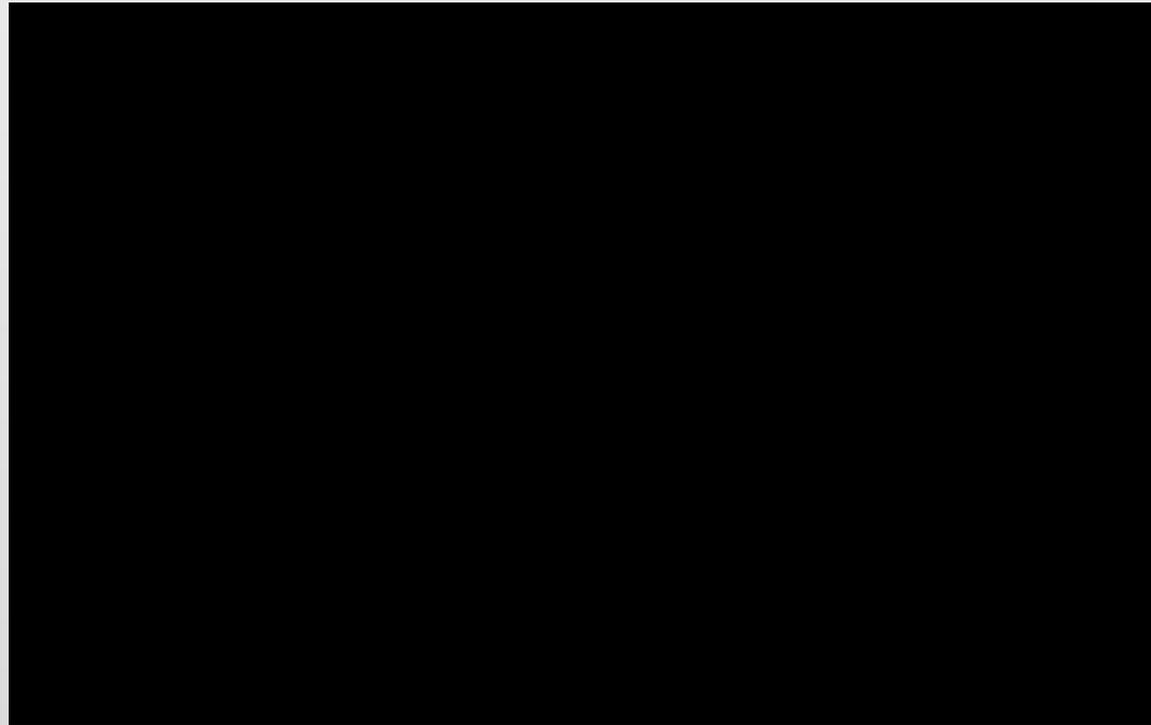
Position<sub>1</sub> zu t<sub>1</sub>

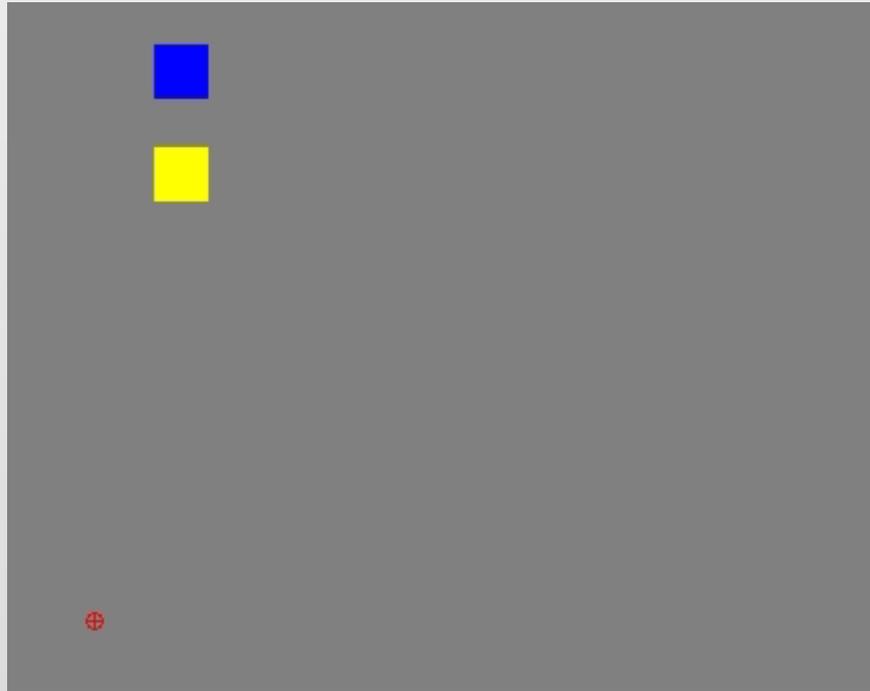
Position<sub>2</sub> zu t<sub>2</sub>



**form follows function**

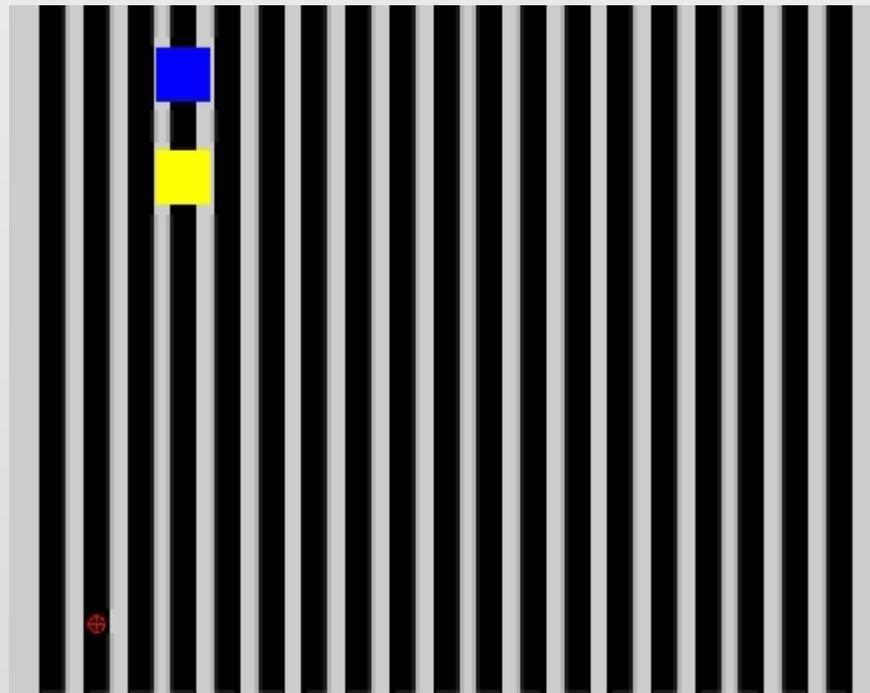
**form follows motion**





# Geschwindigkeitswahrnehmung ist abhängig vom Kontrast

Autofahren im Nebel



foot step illusion

# 7. Aufmerksamkeit

ein Beispiel für *Change Blindness*



Bild 1

xxxxx

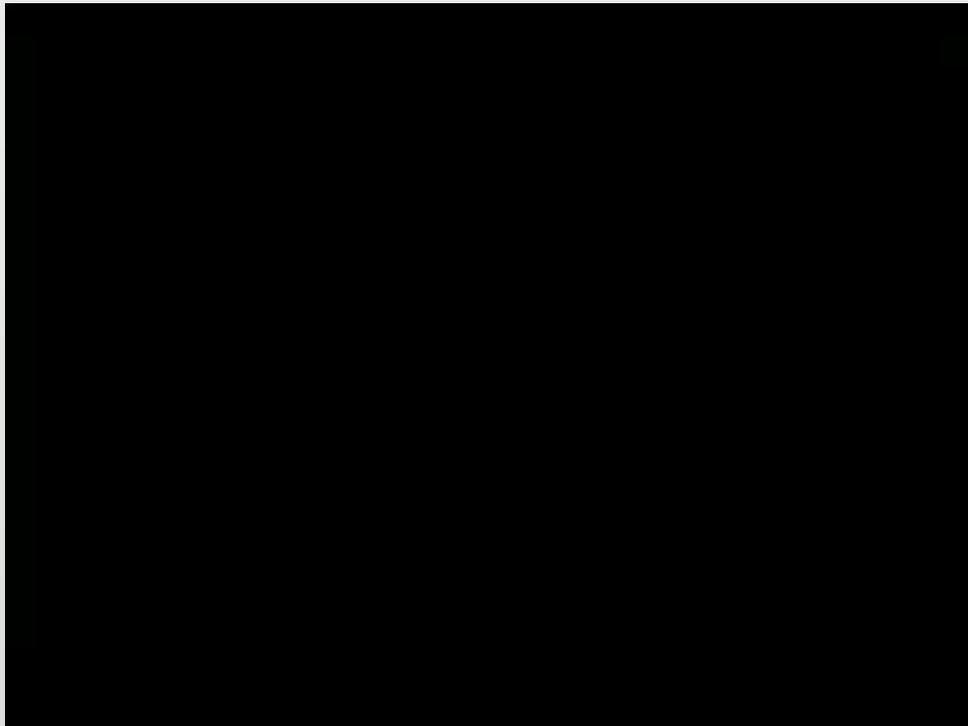
Bild 2



## Change Blindness im Alltag



The Door Study (Simons & Levin 1998)



Schülerlabor  
Neurowissenschaften

Werner Reichardt Centrum  
für Integrative Neurowissenschaften und  
Hertie-Institut für klinische Hirnforschung



Hertie-Institut  
für klinische Hirnforschung

## **Erklärung dieser Phänomene der Aufmerksamkeit:**

Aufmerksamkeit hilft uns, wichtige Information von unwichtiger Information zu trennen

Wir ertrinken nicht in der Datenflut von unseren Sinnesorganen

Symbol eines Taschenlampenkegels

Ausrichtung der Aufmerksamkeit entweder willkürlich (top-down) oder reflexiv (bottom-up)

# Faszination Wunder Gehirn

Wir beginnen

dank komplizierter physikalischen Messverfahren  
intensiven Untersuchungen von Patienten  
individuelle Genetik (Molekularbiologie)  
tierexperimenteller Ansätze

einfache Vorgänge im Gehirn zu verstehen (Verarbeitung  
eines Reizes für Wahrnehmung oder Handlung).

Aber wie letztendlich Gedanken entstehen (z.B. „wie funktioniert  
eigentlich mein Gehirn“) ist immer noch ein großes Geheimnis

