



UNIVERSITÄT
LEIPZIG

Informationsvisualisierung

Sommersemester 2025

Dirk Zeckzer

Institut für Informatik



Teil IV

Wahrnehmung

Übersicht

4. Wahrnehmung

4.1 Semiotik

4.2 Optische Wahrnehmung

4.3 Helligkeit

4.4 Farbe

4.5 Visuelle Aufmerksamkeit

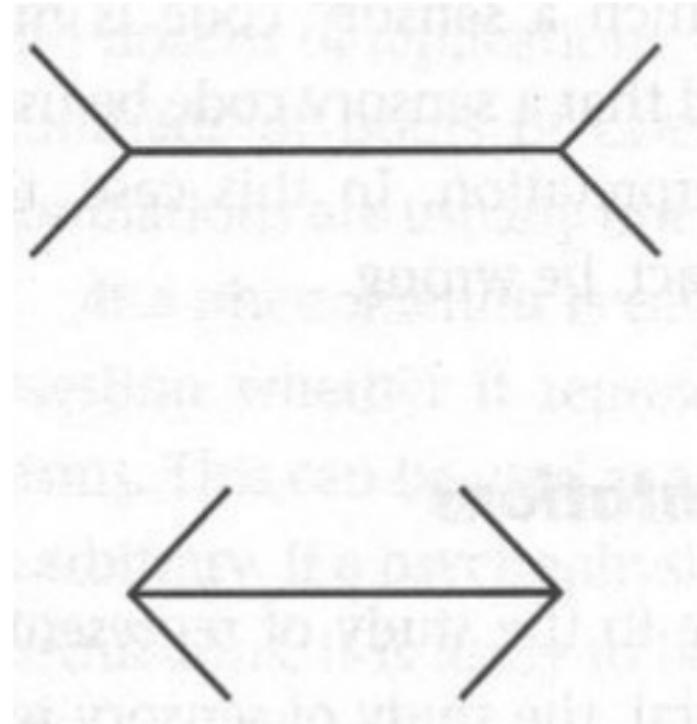
4.6 Muster

Semiotik

- ▶ Semiotik befasst sich mit der Untersuchung von Zeichen und wie diese Informationen vermitteln
- ▶ Klassisches Buch:
J. Bertin, *The Semiology of Graphics*
- ▶ Visualisierung als Sprache
 - ▶ Kommunikation von Inhalten über komplexe Zeichensysteme
- ▶ Zwei Arten graphischer Symbole, die unterschiedlich zu betrachten sind
 - ▶ Sensorische Symbole
 - ▶ Abstrakte Symbole

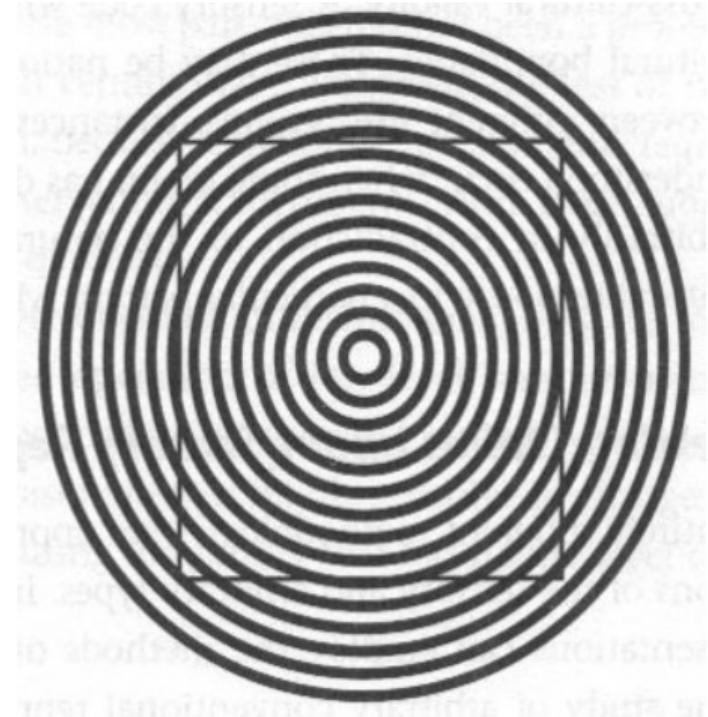
Semiotik

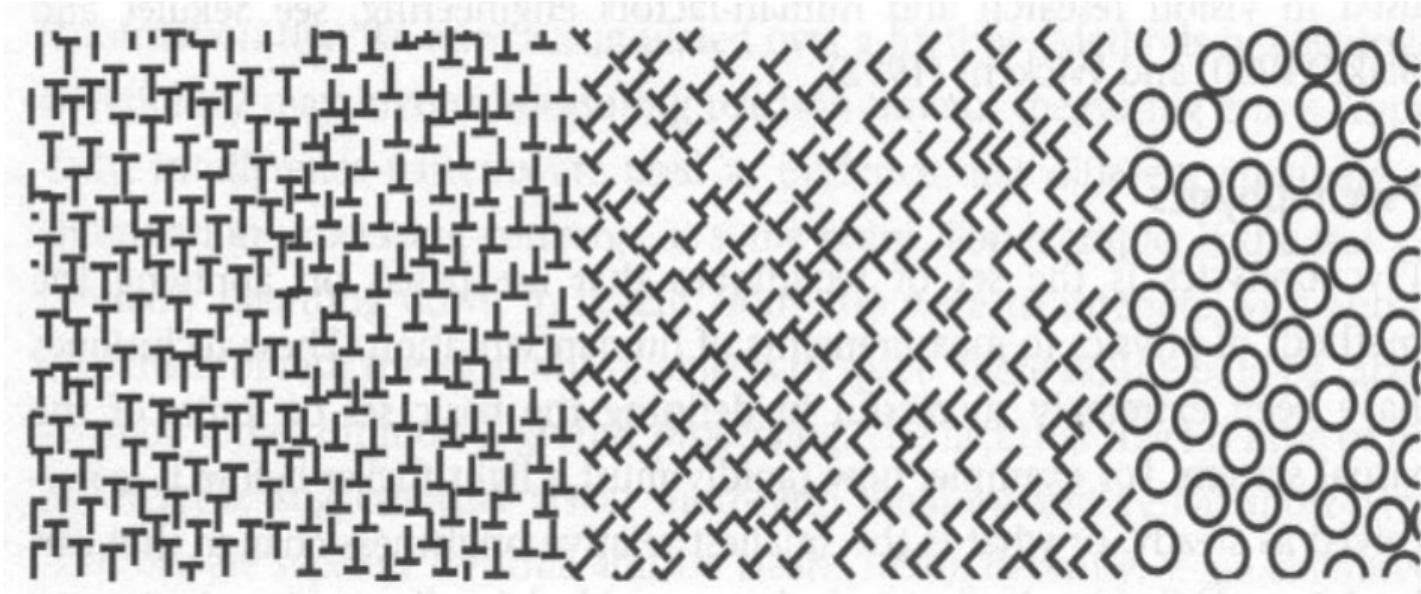
- ▶ Sensorische Symbole
 - ▶ basieren auf biologisch vorgegebenen Wahrnehmungsprozessen
 - ▶ sind ohne Übung zu verstehen
 - ▶ leisten selbst dem eigenen Verstand Widerstand
 - ▶ sind unmittelbar erkennbar
 - ▶ haben in allen Kulturen Gültigkeit



Semiotik

- ▶ Sensorische Symbole
 - ▶ basieren auf biologisch vorgegebenen Wahrnehmungsprozessen
 - ▶ sind ohne Übung zu verstehen
 - ▶ leisten selbst dem eigenen Verstand Widerstand
 - ▶ sind unmittelbar erkennbar
 - ▶ haben in allen Kulturen Gültigkeit

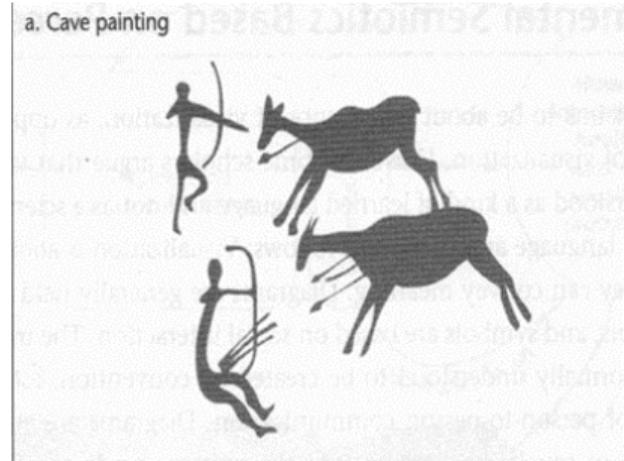




Semiotik

- ▶ Abstrakte Symbole
 - ▶ schwer zu erlernen
 - ▶ einfach zu vergessen
 - ▶ sofern sie nicht hinreichend tief gelernt sind, wie etwa Zahlen
 - ▶ kulturabhängig
 - ▶ weiß steht in Asien und Afrika für Tod
 - ▶ mächtige, flexible Werkzeuge
 - ▶ z. B. Mathematik
 - ▶ schnell entwickelbar
 - ▶ neue Symbole können sich in wenigen Jahrzehnten weltweit durchsetzen
 - ▶ Standards sind sehr wichtig

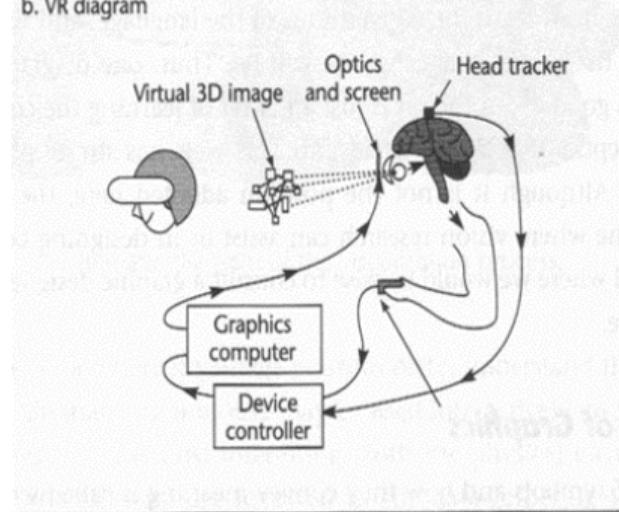
a. Cave painting



Semiotik

- ▶ Abstrakte Symbole
 - ▶ schwer zu erlernen
 - ▶ einfach zu vergessen
 - ▶ sofern sie nicht hinreichend tief gelernt sind, wie etwa Zahlen
 - ▶ kulturabhängig
 - ▶ weiß steht in Asien und Afrika für Tod
 - ▶ mächtige, flexible Werkzeuge
 - ▶ z. B. Mathematik
 - ▶ schnell entwickelbar
 - ▶ neue Symbole können sich in wenigen Jahrzehnten weltweit durchsetzen
 - ▶ Standards sind sehr wichtig

b. VR diagram



Semiotik

- ▶ Abstrakte Symbole
 - ▶ schwer zu erlernen
 - ▶ einfach zu vergessen
 - ▶ sofern sie nicht hinreichend tief gelernt sind, wie etwa Zahlen
 - ▶ kulturabhängig
 - ▶ weiß steht in Asien und Afrika für Tod
 - ▶ mächtige, flexible Werkzeuge
 - ▶ z. B. Mathematik
 - ▶ schnell entwickelbar
 - ▶ neue Symbole können sich in wenigen Jahrzehnten weltweit durchsetzen
 - ▶ Standards sind sehr wichtig

c. Equation

$$\chi \propto \int_1^{\infty} \overline{\omega} \int_{\lambda} \left| \frac{\prod \lambda}{\int \Psi} \right|$$

Semiotik

Zentrale Frage: Verwendet die Visualisierung beliebige abstrakte Symbole?

- ▶ Wenn ja
 - ▶ dann sind letztlich alle Visualisierungen gleichwertig
 - ▶ sofern die benutzten Bilder/Symbole hinreichend gut gelernt sind
- ▶ Wenn nein:
 - ▶ bleibt Frage nach einem Maß für die Ähnlichkeit von Symbol und Objekt

Zentrale Frage: Verwendet die Visualisierung beliebige abstrakte Symbole?

- ▶ Annahme in der Visualisierung
(implizit oder explizit)
 - ▶ Wahl der Symbole nicht beliebig
- ▶ Vermutete Gründe
 - ▶ Biologisch vorgegebene Wahrnehmungsstrukturen im Gehirn
 - ▶ Gesellschaftliche Konventionen
- ▶ Vermutung:
Bei Kantenextraktion bei einem Bild und bei einem Objekt in der realen Umgebung werden gleiche Mechanismen im Gehirn aktiviert
- ▶ Aber:
Bei abstrakten Bildern und Diagrammen große Unterschiede zwischen Bild und Objekt (gerade in der Visualisierung wichtig)

Semiotik

Zentrale Frage: Verwendet die Visualisierung beliebige abstrakte Symbole?

- ▶ Bemerkung:
Häufig werden abstrakte und
sensorische Symbole gleichzeitig
verwendet

Optische Wahrnehmung

- ▶ Ziel:
 - ▶ Wahrnehmung
 - ▶ visuelle Informationsverarbeitungbesser zu verstehen
- ▶ Es gibt mehrere Theorien und Modelle aus der
 - ▶ Physiologie
 - ▶ Kognitiven Psychologie

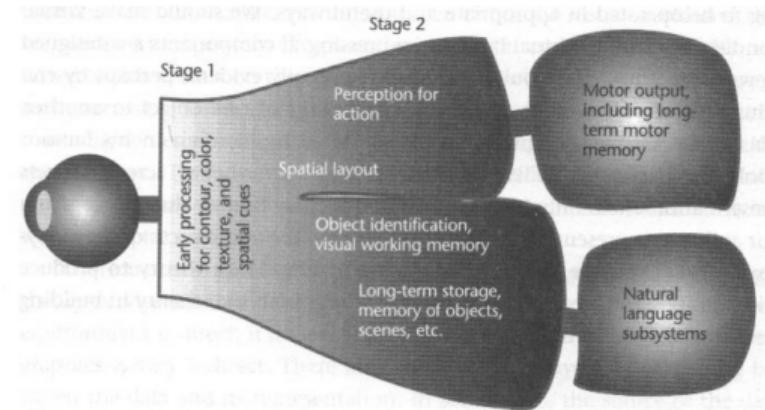
Optische Wahrnehmung: Prozess

Zweistufiger Wahrnehmungsprozess

1. Paralleler Prozess

- ▶ extrahiert elementare Eigenschaften der Szene
 - ▶ Farbe
 - ▶ Form
 - ▶ Textur
 - ▶ Räumliche Attribute

2. Sequentiell zielgerichtete Objektidentifikation; erfordert - ▶ visuelle Aufmerksamkeit - ▶ aktive Rolle



Optische Wahrnehmung: Prozess

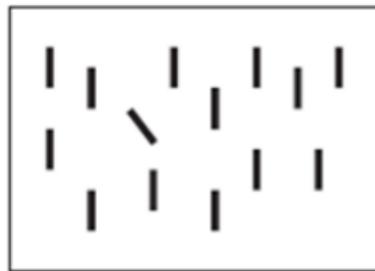
Stufe 1 - Low Level

- ▶ Unbewusster Vorgang
 - ▶ Schnell
 - ▶ Parallel (Felder von Neuronen)
 - ▶ Fokusunabhängig
 - ▶ Suche nach elementaren Merkmalen
 - ▶ Kanten
 - ▶ Orientierungen
 - ▶ Einheitliche Farbe
 - ▶ Textur
 - ▶ Bewegungsmuster
- ▶ Informationen werden transitorisch (vorübergehend) im **ikonischen Speicher** gehalten
- ▶ Verarbeitung
 - ▶ Bottom-up
 - ▶ Daten-gesteuertes Modell
 - ▶ Oft **prä-attentive** Verarbeitung genannt

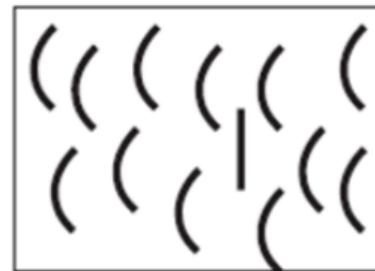
Optische Wahrnehmung: Prozess

Prä-attentive Wahrnehmung

Orientation



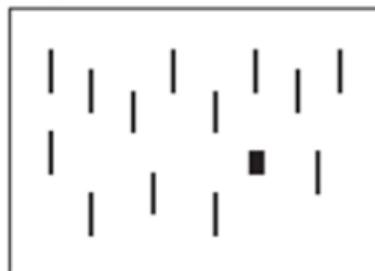
Curved/straight



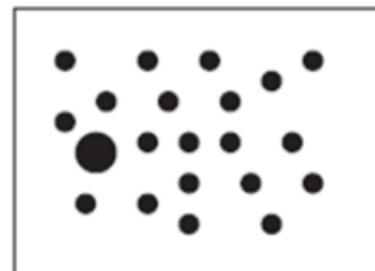
Shape



Shape



Size



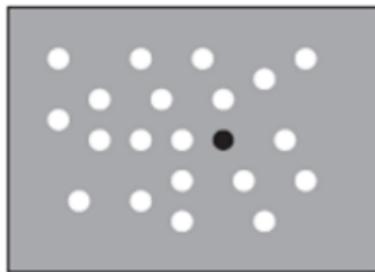
Number



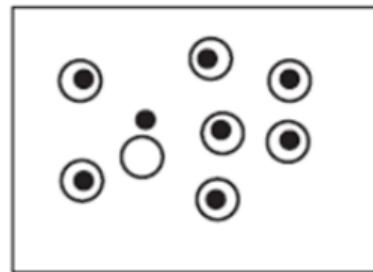
Optische Wahrnehmung: Prozess

Prä-attentive Wahrnehmung

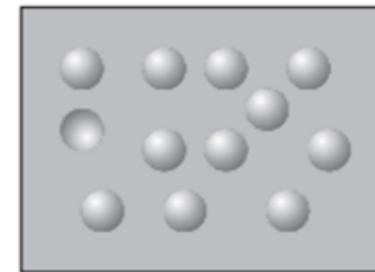
Gray/value



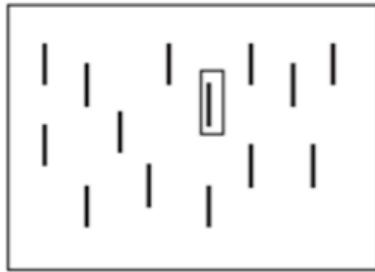
Enclosure



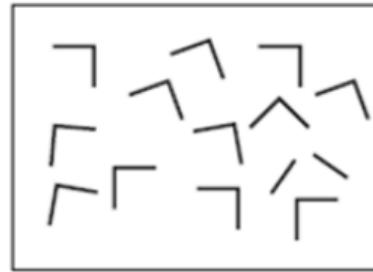
Convexity/concavity



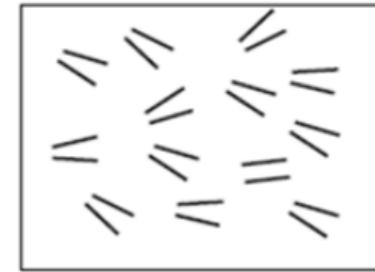
Addition



Juncture



Parallelism



Optische Wahrnehmung: Prozess

Prä-attentive Wahrnehmung

- ▶ Orientierung
- ▶ Gekrümmmt - Gerade
- ▶ Form
- ▶ Größe
- ▶ Anzahl (von Elementen einer Gruppe)
- ▶ Grauwert
- ▶ Umschlossenheit
- ▶ Konvex – Konkav
- ▶ Hinzufügung
- ▶ Farbe: Farbton, Intensität
- ▶ Bewegung: Flackern, Bewegungsrichtung

Keine prä-attentive Wahrnehmung

- ▶ Verbindung
- ▶ Parallelität

Optische Wahrnehmung: Prozess

Beispiele prä-attentiver Verarbeitung

Wie oft ist die Ziffer '3' vorhanden?

1281768756138976546984506985604982826762

9809858458224509856458945098450980943585

9091030209905959595772564675050678904567

8845789809821677654876364908560912949686

Optische Wahrnehmung: Prozess

Beispiele prä-attentiver Verarbeitung

Wie oft ist die Ziffer '3' vorhanden?

12817687561**3**8976546984506985604982826762

980985845822450985645894509845098094**3**585

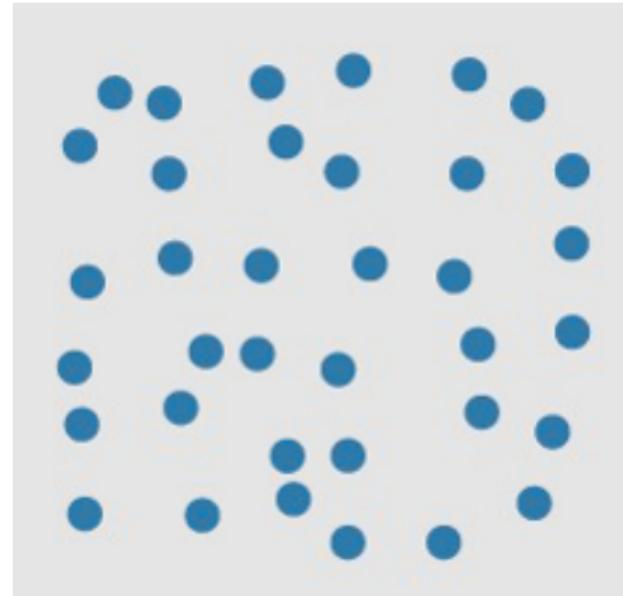
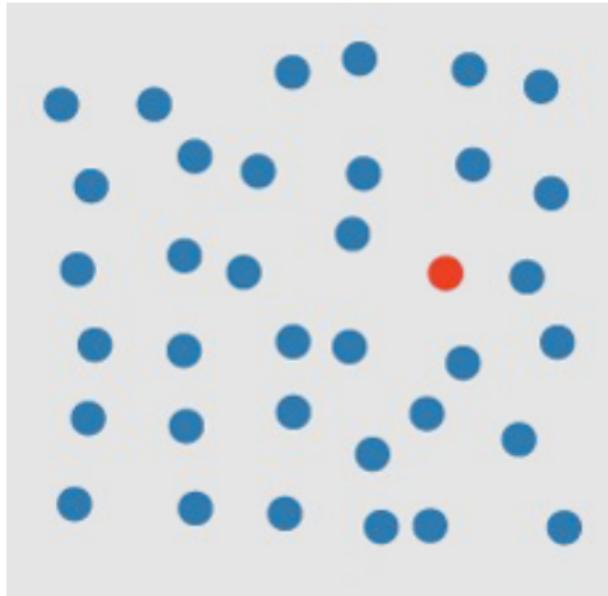
90910**3**02099059595772564675050678904567

8845789809821677654876**3**64908560912949686

Optische Wahrnehmung: Prozess

Beispiele prä-attentiver Verarbeitung

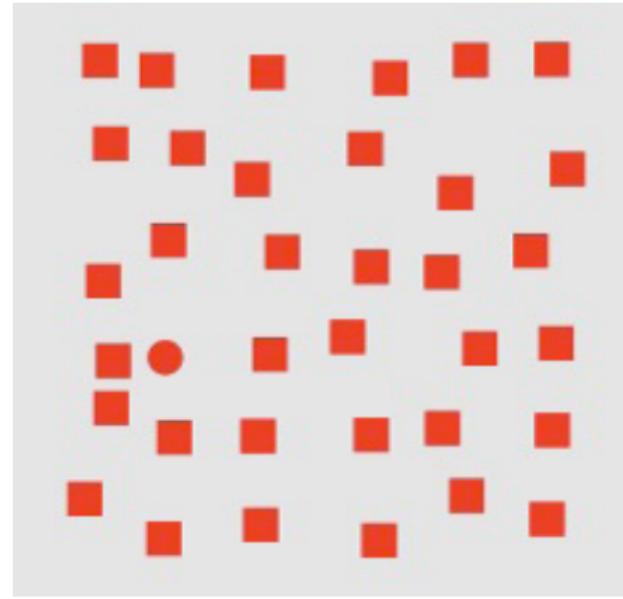
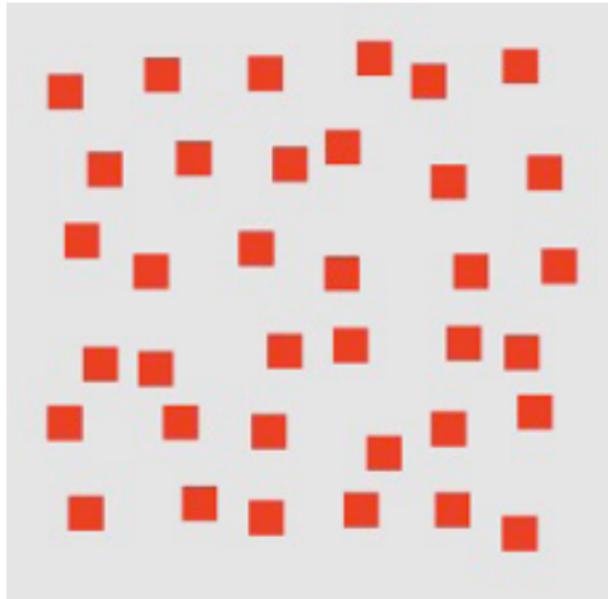
- Farbe: In welchem der beiden Bilder ist ein roter Kreis (links oder rechts)?



Optische Wahrnehmung: Prozess

Beispiele prä-attentiver Verarbeitung

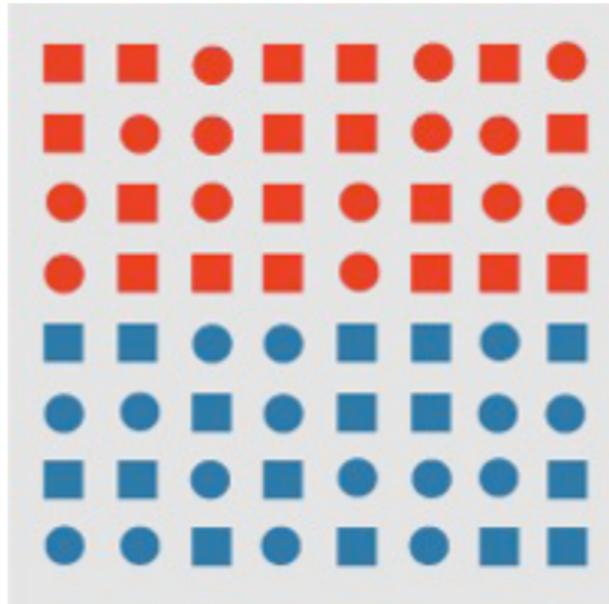
- Farbe: In welchem der beiden Bilder ist ein roter Kreis (links oder rechts)?



Optische Wahrnehmung: Prozess

Beispiele prä-attentiver Verarbeitung

- ▶ Segmentierung



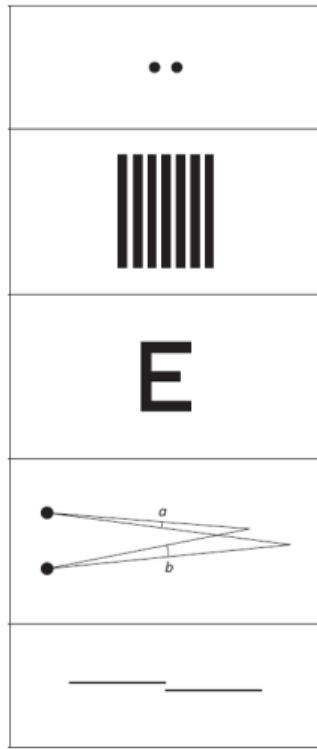
- ▶ Diese und weitere Beispiele sowie Selbsttest unter:
[http://www.csc.ncsu.edu/
faculty/healey/PP/index.html](http://www.csc.ncsu.edu/faculty/healey/PP/index.html)

Optische Wahrnehmung: Prozess

Stufe 2 – High Level

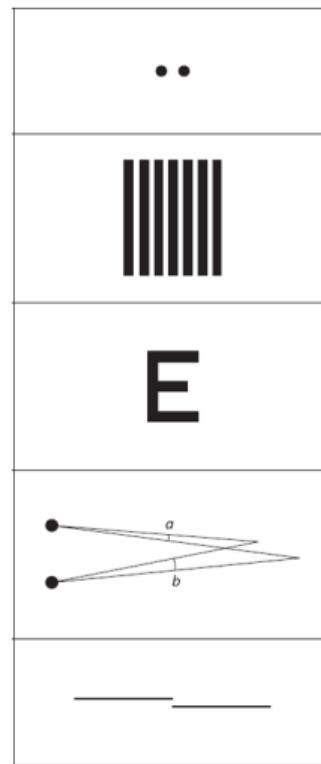
- ▶ Unterteilung in
 - ▶ Objekterkennung
(Kooperation mit Sprachzentrum)
 - ▶ Handlungsorientierte Wahrnehmung
(Verbindung zum motorischen Zentrum)
- ▶ Langsame, serielle Bearbeitung
- ▶ Nutzung von Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis
- ▶ Stärkere Betonung abstrakter Symbole
- ▶ Top-Down Ansatz

Optische Wahrnehmung: Auge – Sehschärfe



- ▶ Genauigkeit des menschlichen Sehens wurde in zahlreichen psychophysikalischen Tests untersucht

Optische Wahrnehmung: Auge – Sehschärfe



Schärfe	Winkel	Beschreibung
Punkt	1'	Zwei benachbarte Punkte werden separat wahrgenommen
Gitter	1 – 2'	Ein Balkenmuster wird als solches wahrgenommen und nicht als graue Fläche
Buchstaben	5'	Ein Buchstabe ist erkennbar
Stereo	10"	Wahrnehmung von Objekten in räumlicher Tiefe
Vernier	10"	Fähigkeit zu bestimmen, ob zwei Liniensegmente co-linear sind

Helligkeit

- ▶ Rezeptoren im Auge
 - ▶ reagieren auf Differenzen
 - ▶ messen nicht exakte numerische Helligkeitswerte

- ▶ Vorteile
 - ▶ Reflexionen auf Oberflächen können gut erkannt werden
 - ▶ Oberflächen werden als gleich empfunden, auch wenn sich die Leuchtkraft ändert

- ▶ Nachteile
 - ▶ Keine exakte Messung der absoluten Intensität des Lichtes
 - ▶ Modellierung schwierig

Helligkeit

- ▶ Rezeptoren im Auge
 - ▶ reagieren auf Differenzen
 - ▶ messen nicht exakte numerische Helligkeitswerte

- ▶ Visualisierung kann sehr gut Muster darstellen als
 - ▶ Differenzen zwischen Pixeln
 - ▶ Veränderungen über die Zeit
- ▶ Absolute numerische Werte können nur schlecht transportiert werden

Helligkeit

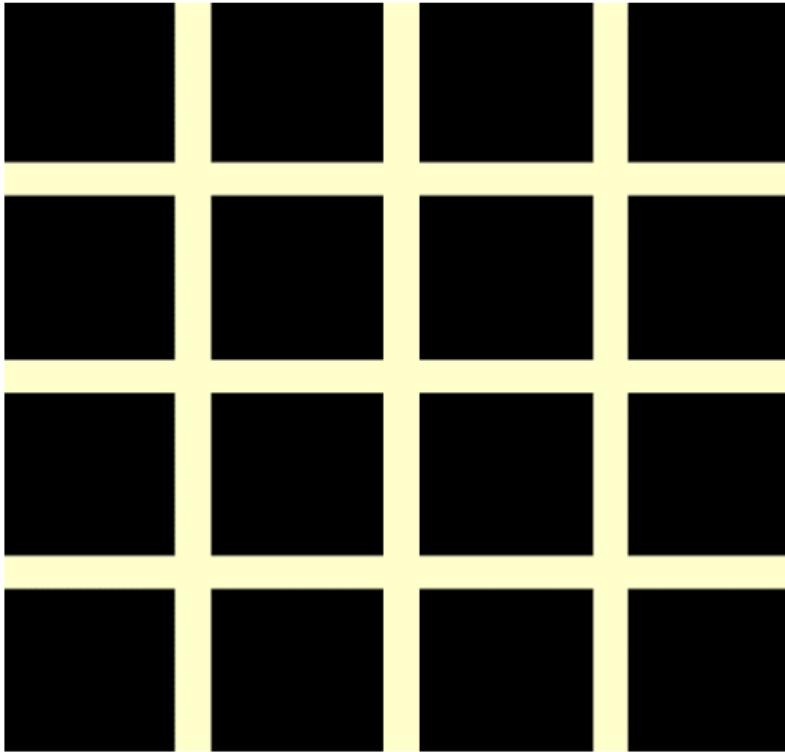


Abbildung: Hermann Gitter: Schwarze Punkte erscheinen an den Schnitten weißer Geraden

Helligkeit

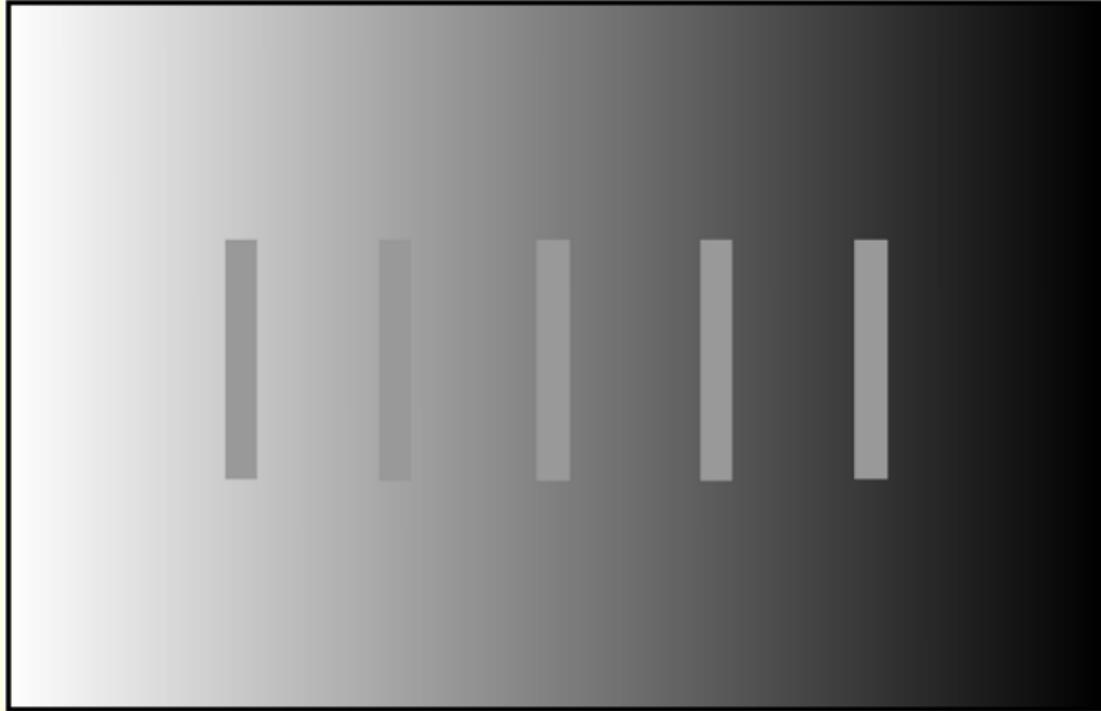


Abbildung: Kontrast Illusion: Abhängig von der Hintergrundfarbe wird ein und derselbe Grauton unterschiedlich wahrgenommen

Helligkeit

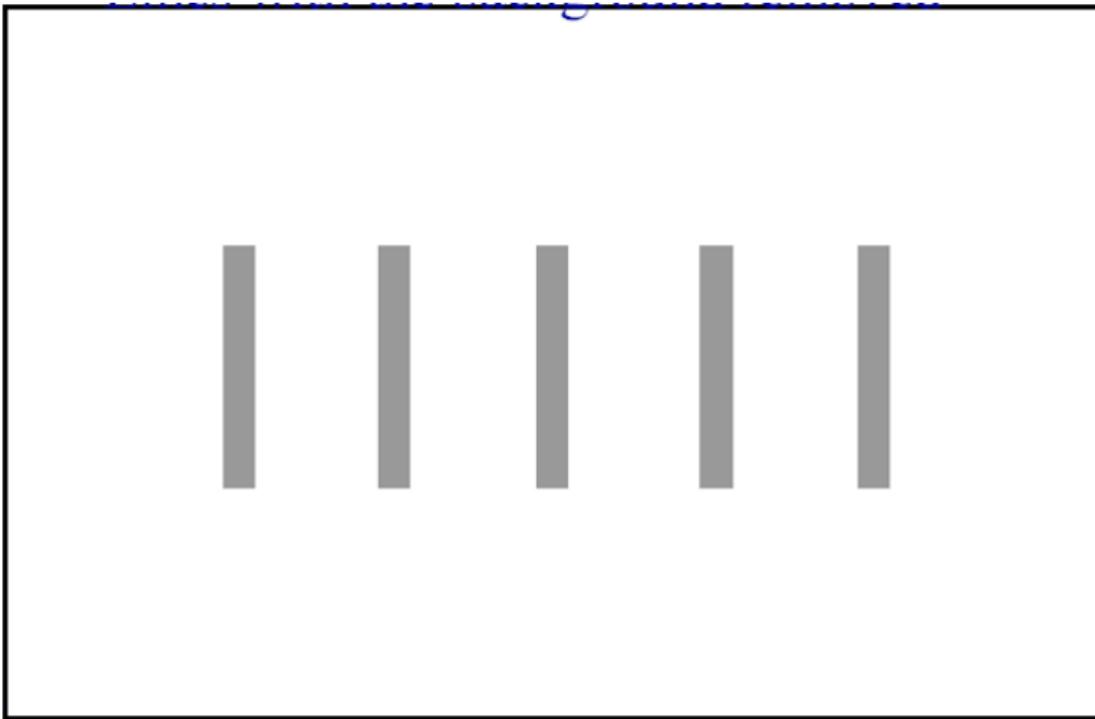


Abbildung: Kontrast Illusion: Abhängig von der Hintergrundfarbe wird ein und derselbe Grauton unterschiedlich wahrgenommen

Helligkeit

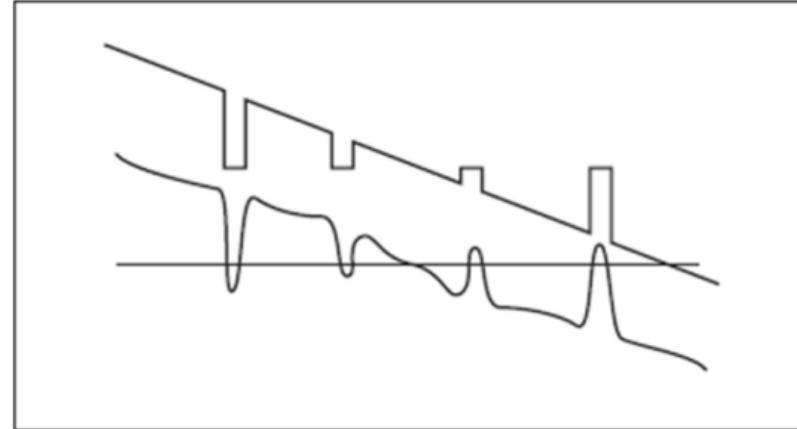
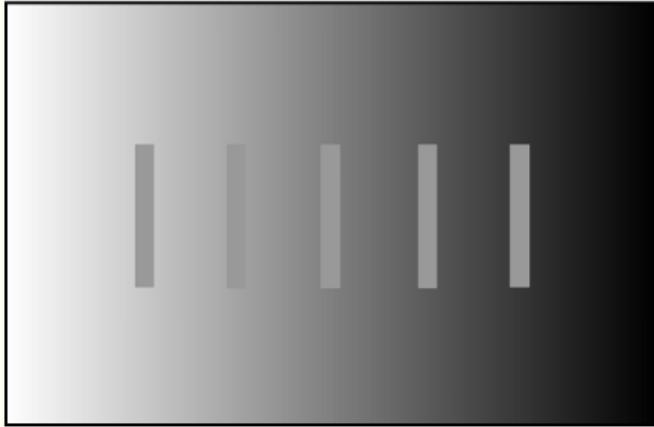


Abbildung: Optische Täuschung

Helligkeit

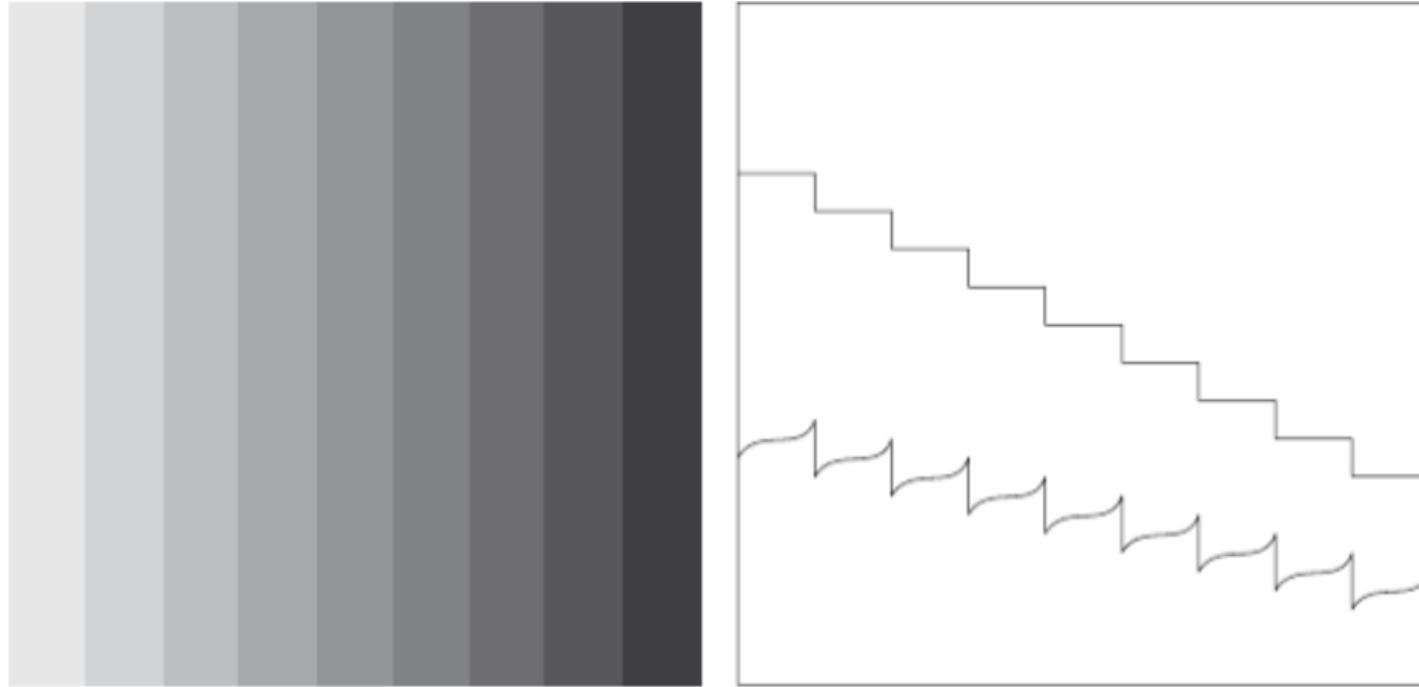


Abbildung: Mach'sche Streifen: Flächen mit unterschiedlicher, konstanter Graufärbung; nebeneinander abgebildet (Kontrast an den Grenzen wird verstärkt)

Helligkeit

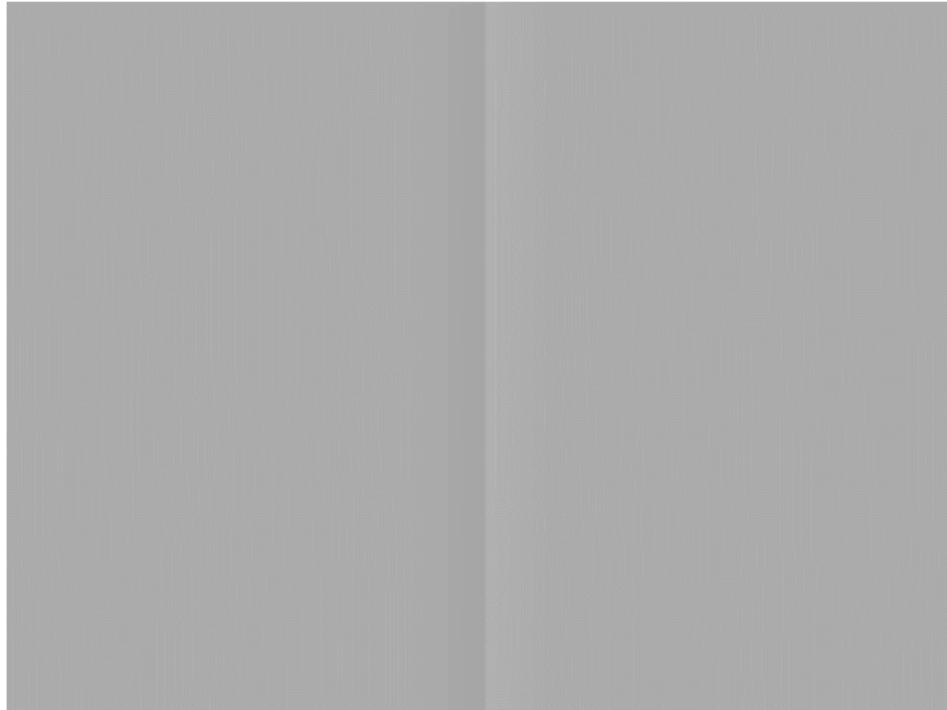


Abbildung: Cornsweet Illusion: Auf einer einfarbigen Fläche wird eine Kante eingezeichnet, die auf der einen Seite dunkel und auf der anderen hell ausläuft. Dadurch erscheinen die beiden Flächenstücke in unterschiedlichen Grautönen.

Helligkeit



Abbildung: Cornsweet Illusion: Auf einer einfarbigen Fläche wird eine Kante eingezeichnet, die auf der einen Seite dunkel und auf der anderen hell ausläuft. Dadurch erscheinen die beiden Flächenstücke in unterschiedlichen Grautönen.

Helligkeit

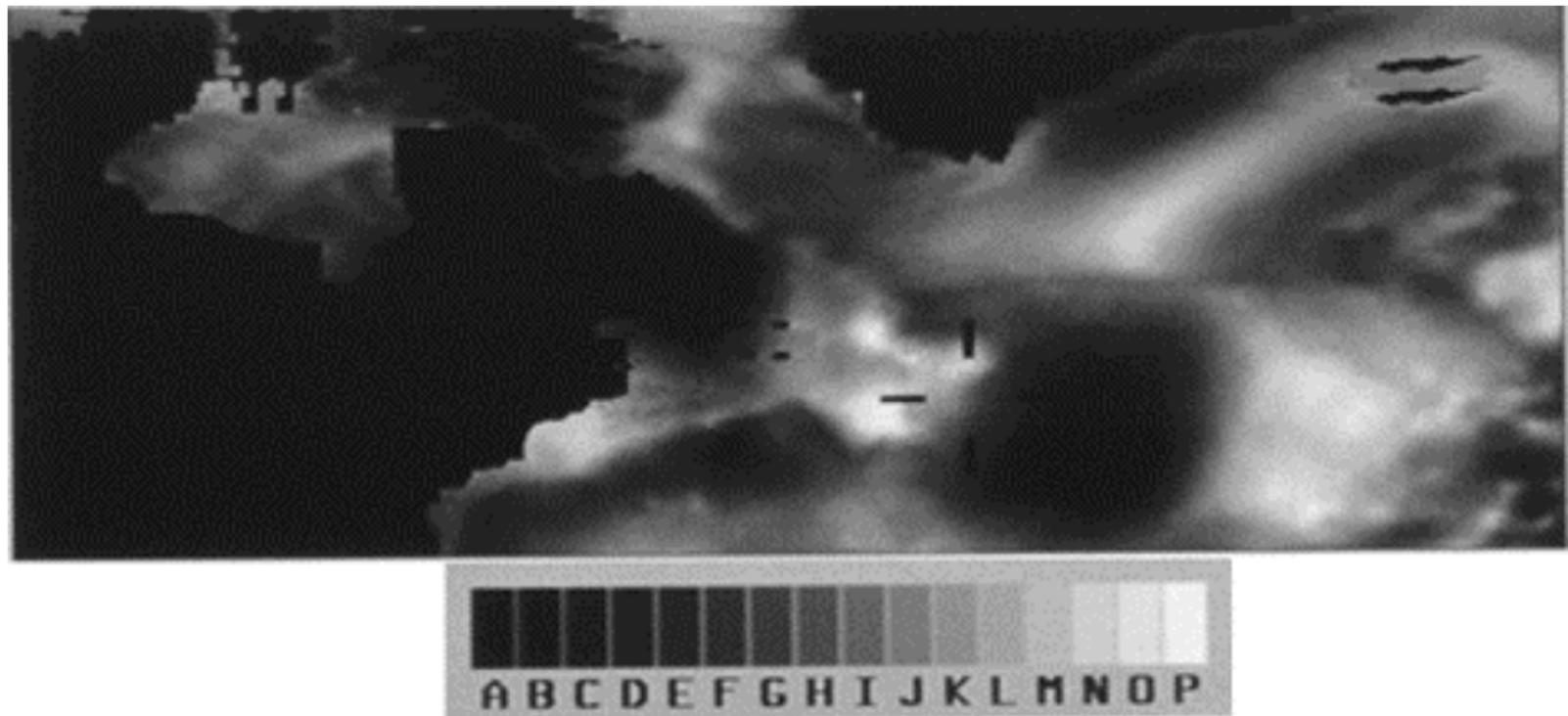
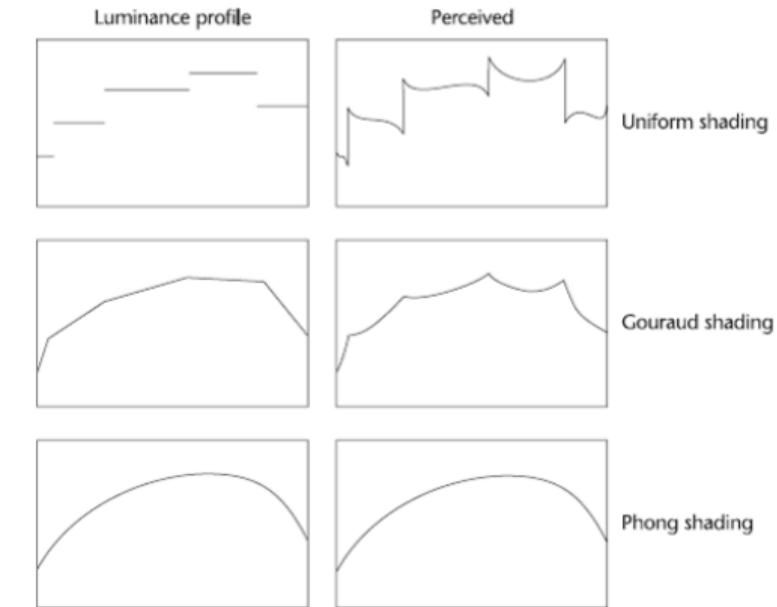
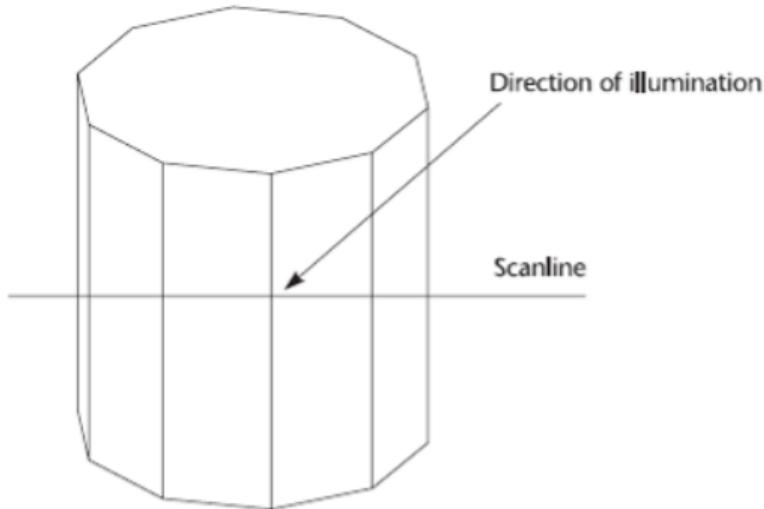


Abbildung: Kodierung von Werten in Grautönen → Ablesefehler von bis zu 20%

Helligkeit



- ▶ Artefakte
 - ▶ Uniform shading
 - ▶ Gouraud shading

- ▶ Keine Artefakte
 - ▶ Phong-Shading

Helligkeit

Subjektive Wahrnehmung der Intensität

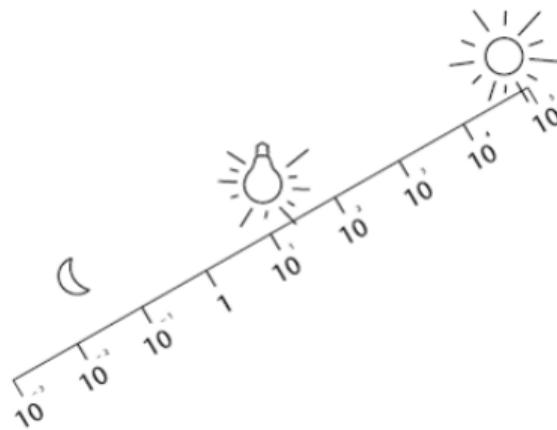


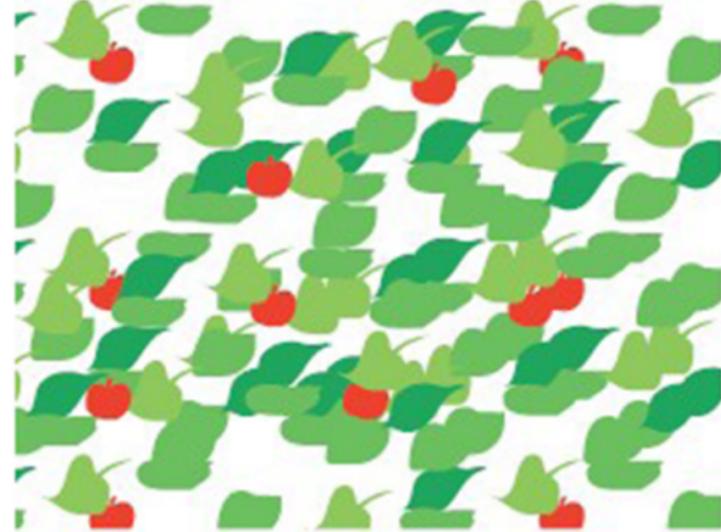
Abbildung:

$10^5 \text{ lx} = 100.000 \text{ lx}$ Heller Sonntag

$10^{-3} \text{ lx} = 0,001 \text{ lx}$ Sternklarer Nachthimmel
(Neumond)

- ▶ Physikalische Intensität des Lichtes in unserer Umgebung ist sehr variabel
- ▶ Wahrnehmung von Differenzen:
Wichtig für die Anpassung an unterschiedlichste Beleuchtungssituationen
- ▶ Wahrgenommene Intensität
 \neq
Physikalische Intensität

Farbe



Farbe

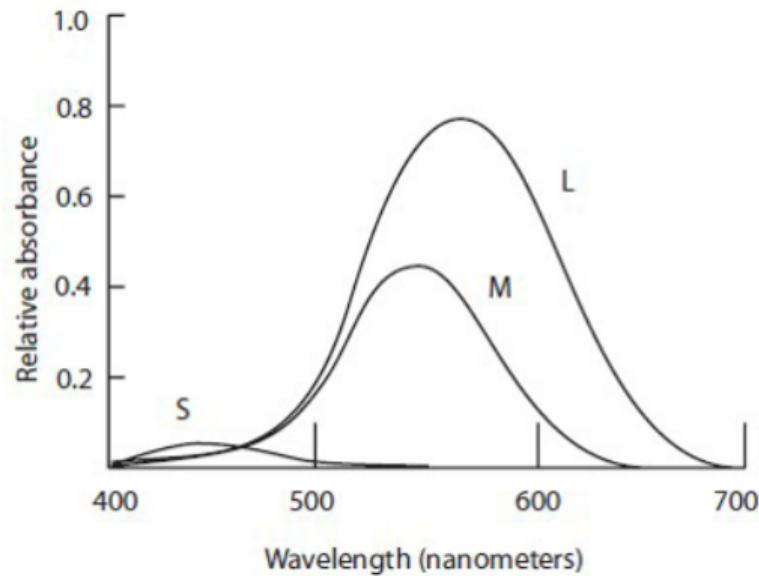
- ▶ Im täglichen Leben nur eingeschränkt relevant
- ▶ Farbenfehlsichtige bemerken das Defizit oft jahrelang selbst nicht
- ▶ Charakteristika von Objekten sind wesentlich wichtiger und können ohne Farbe wahrgenommen werden
 - ▶ Helligkeit
 - ▶ Form
 - ▶ Lage im Raum
 - ▶ Bewegungsrichtung
- ▶ Erleichtert bestimmte Aufgaben
 - ▶ Tarnungen durchschauen
 - ▶ Objekte zu identifizieren (Klassifizierung)
 - ▶ Objekteigenschaften zu bestimmen
 - ▶ Apfel: Reife
 - ▶ Fleisch: Frische
 - ▶ ...

Farbe: Dreifarbenlehre

- ▶ Der Mensch besitzt drei Typen von Zapfen
- ▶ Jeder Zapfen hat seine maximale Sensitivität bei einer anderen Wellenlänge

S	small	blau
M	medium	grün
L	long	rot

- ▶ Farbsystem aus drei Grundtönen ausreichend, um alle vom Menschen wahrnehmbaren Farben darzustellen
→ Dreifarbenlehre



Farbe: Dreifarbenlehre

Farbenfehlsichtigkeit

- ▶ 10% der Männer und 1% der Frauen weisen eine Farbschwäche auf
- ▶ Häufig (99%) fehlen die Zapfen für die Wahrnehmung von grün oder rot



Abbildung: normalsichtig



Abbildung: grün fehlt



Abbildung: rot fehlt

Farbe: Dreifarbenlehre

Farbenfehlsichtigkeit



Abbildung: normalsichtig



Abbildung: grün fehlt



Abbildung: blau fehlt

Farbe: Dreifarbenlehre

- ▶ (Licht-)Farbe C
- ▶ Grundfarben
 - ▶ R (rot)
 - ▶ G (grün)
 - ▶ B (blau)

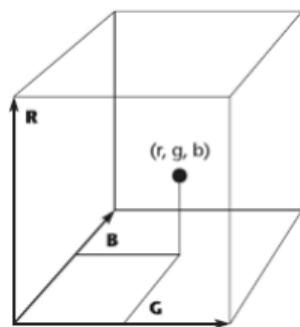
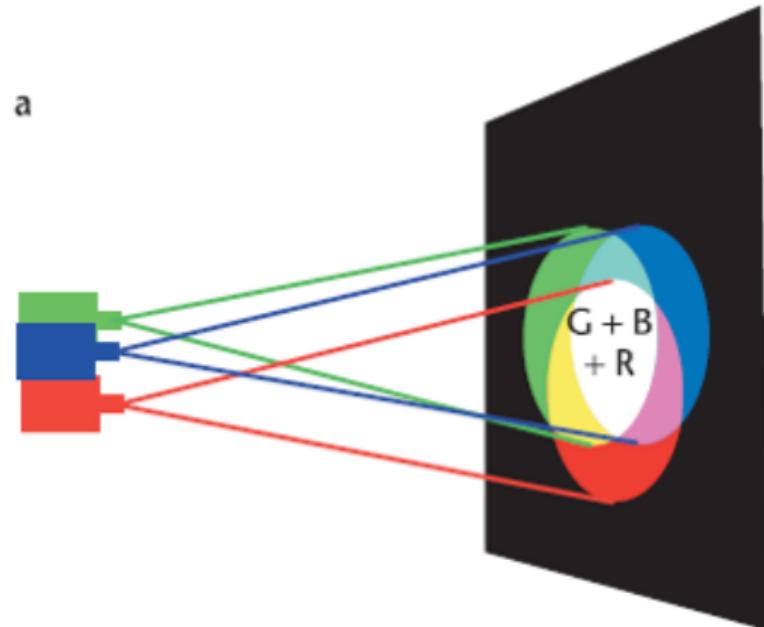
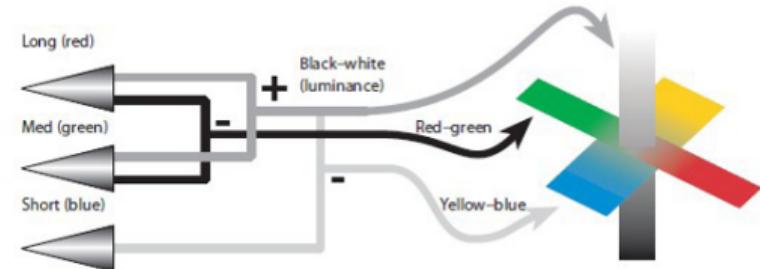


Abbildung: $C = r \cdot R + g \cdot G + b \cdot B, r, g, b \in [0, 1]$

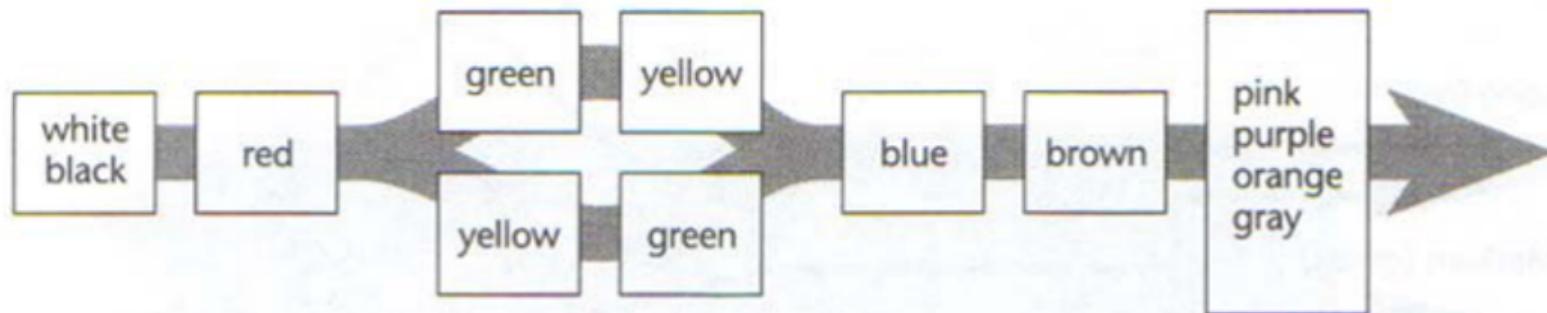


Farbe: Gegenfarbentheorie – Komplementärfarben

- ▶ Rot-Grün-Kanal:
Differenz zwischen Rot und Grün
- ▶ Blau-Gelb-Kanal:
Blau - (Rot + Grün)
- ▶ Helligkeitskanal:
Blau + Rot + Grün



Farbe: Benennung

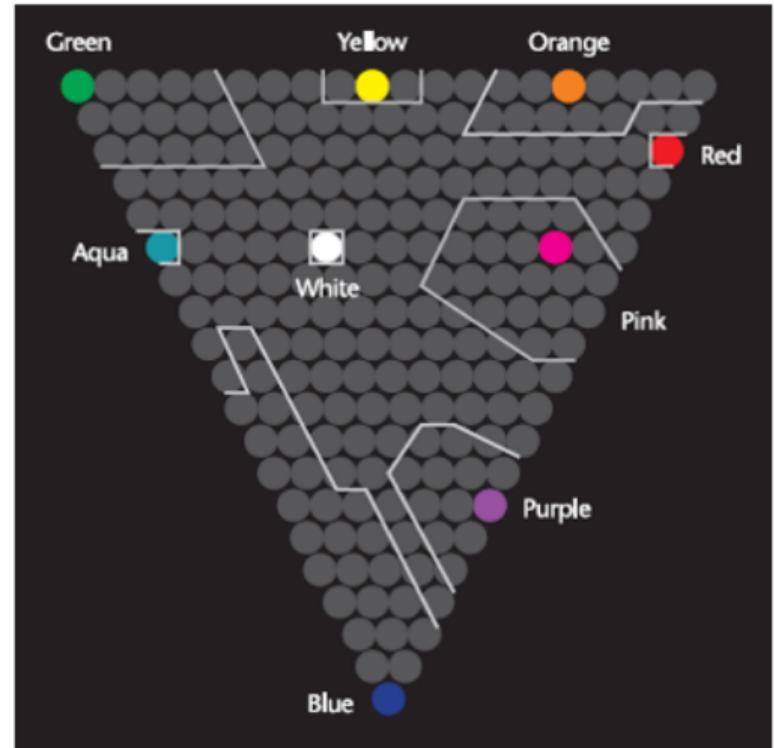


This is the order of appearance of color names in languages around the world, according to the research of Berlin and Kay (1969). The order is fixed, with the exception that sometimes yellow is present before green and sometimes the reverse is the case.

Abbildung: Studie an 100 Sprachen [Berlin and Kay, 1969], Farbwörter werden stets in folgender Reihenfolge erkannt: 1) schwarz/weiß, 2) rot, 3) gelb/grün, 4) blau, 5) braun, 6) rosa/violett/orange/grau

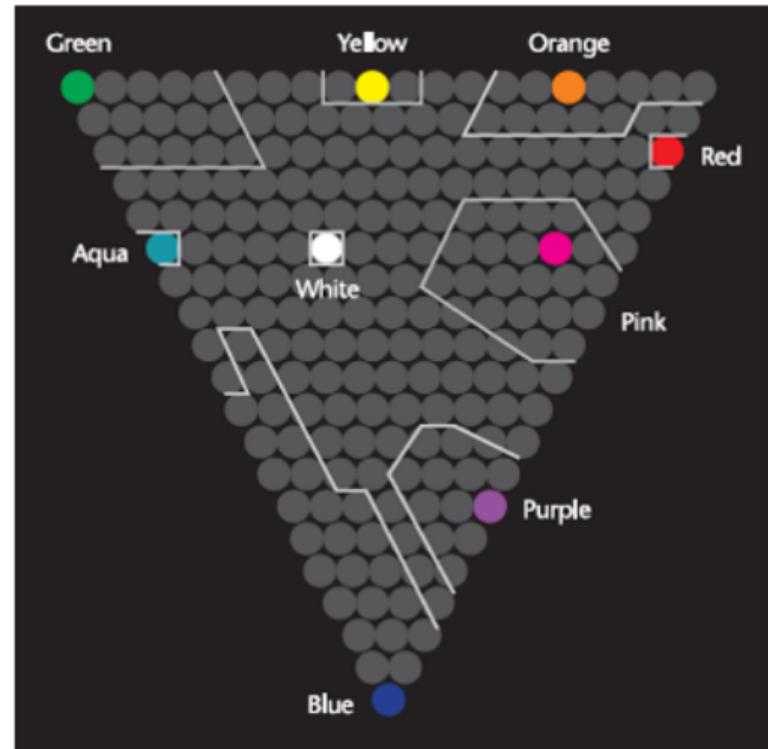
Farbe: Benennung

- ▶ Untersuchungen
(z.B. Post und Green (1986))
 - ▶ Nur acht Farben und weiß wurden von mindestens 75% der Teilnehmer gleich benannt
 - ▶ Diese werden leicht erinnert (Wichtig wenn Farben als Kategorien verwendet werden sollen)
 - ▶ Die Größe der Regionen mit gleichem Farbnamen hat wenig Aussagekraft, da dies stark vom Hintergrund abhängt



Farbe: Benennung

- ▶ Bemerkungen
 - ▶ Reines Gelb kann sehr exakt bestimmt werden ($\pm 2\text{nm}$)
 - ▶ Dunkles Gelb wird als Braun wahrgenommen
 - ▶ Bei Grün gibt es zwei Modellwerte
 - ▶ 2/3 Teilnehmer: 514 nm
 - ▶ 1/3 Teilnehmer: 525 nm
 - ▶ Das Rot am Monitor wird oft als Orange wahrgenommen (wahres Rot hat einen kleinen Blauanteil)



Farbe: Aberration

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Text Text Text Text Text Text Text Text Text

Farbe

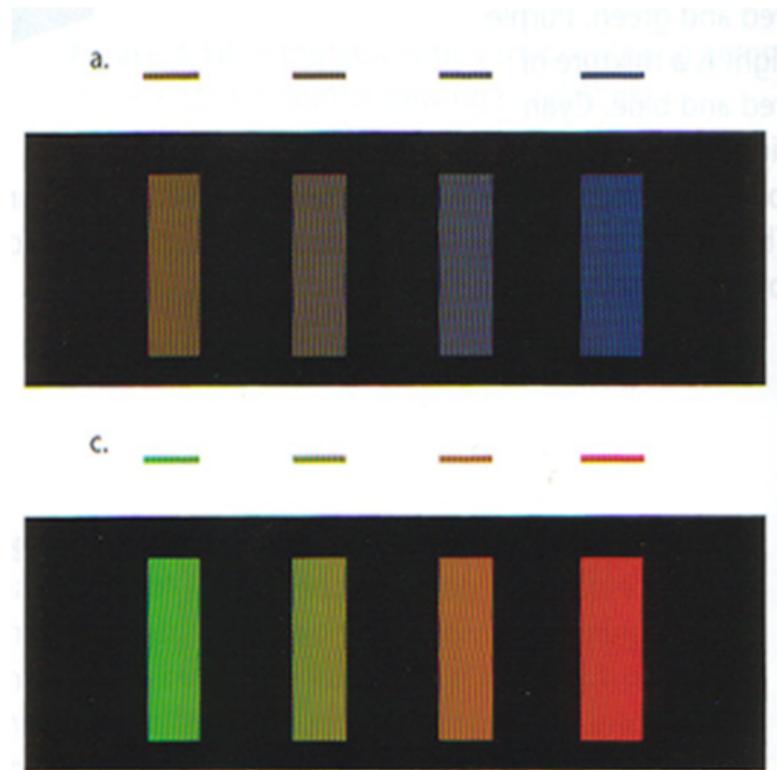
- ▶ Farben werden im Auge unterschiedlich gebrochen
- ▶ Um
 - ▶ Rot(≈ 480 nm) und
 - ▶ Blau (≈ 640 nm) gleich zu brechen, wird eine Korrektur von 1,5 Dioptrien benötigt
- ▶ Blauer Text erscheint auf schwarzem Grund neben weißem oder rotem Text unscharf
- ▶ 60% der Menschen erscheint rot näher
- ▶ 30% der Menschen erscheint blau näher
- ▶ 10% der Menschen sieht keinen Unterschied
- ▶ Tipp: Blauer Hintergrund lässt weiße Schrift in den Vordergrund rücken!

Verwende nie rote Schrift auf blauem Hintergrund

Verwende nie blaue Schrift auf rotem Hintergrund

Farbe

- ▶ Farbe auf großen Feldern
 - ▶ gut unterscheidbar
- ▶ Farbe auf kleinen Feldern
 - ▶ kaum Differenzierung
 - ▶ speziell beim Übergang Blau-Gelb



Farbe



Farbe

- ▶ Wahrnehmung von Farben
 - ▶ Abhängig von äußeren Faktoren
- ▶ Kontrastillusion
 - ▶ Wahrnehmung abhängig von
 - ▶ Hintergrund
 - ▶ Benachbarter Farbe
- ▶ Gleiche Wahrnehmung einer Farbe
 - ▶ Standard für die äußeren Faktoren
 - ▶ Anpassung der Farbe an die äußeren Faktoren

Farbe

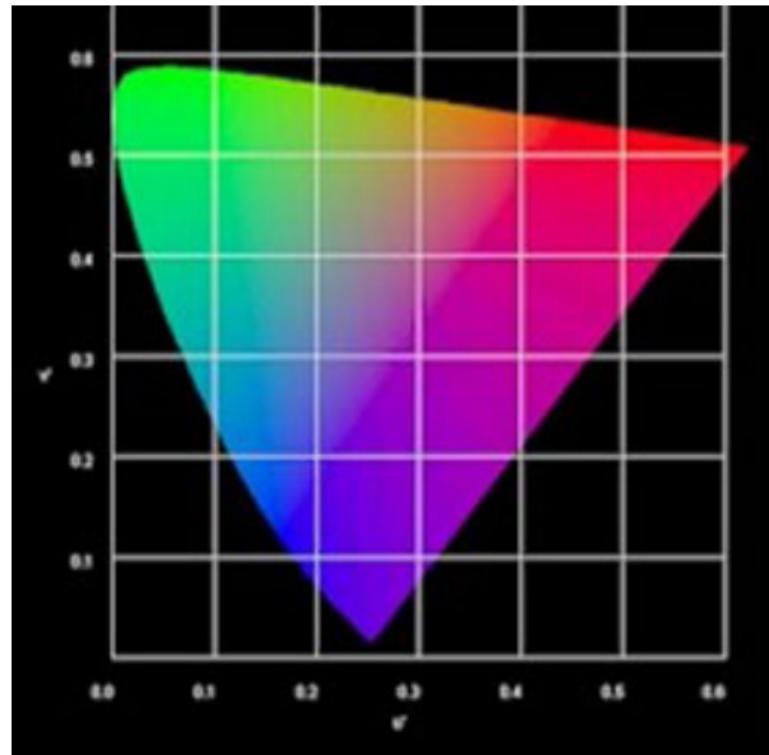
- ▶ Anpassung des Auges an verschiedene Beleuchtungsfarben
 1. Beleuchtung eines Raumes mit, z.B., blauem Licht
 2. Photorezeptoren passen sich an
 3. Photorezeptoren reagieren weniger sensitiv auf blaues Licht
 4. Farben werden bei weißem Licht anders wahrgenommen als zu Beginn
- ▶ Ähnliche Effekte kann man beim Tragen von farbigen Sonnenbrillen beobachten

Farbe

- ▶ Beschreibung von Farben mit Adjektiven spiegelt Sättigung und Helligkeit des Farbtons wieder
 - ▶ Intensiv
 - ▶ Leuchtend
 - ▶ Fahl
 - ▶ Matt

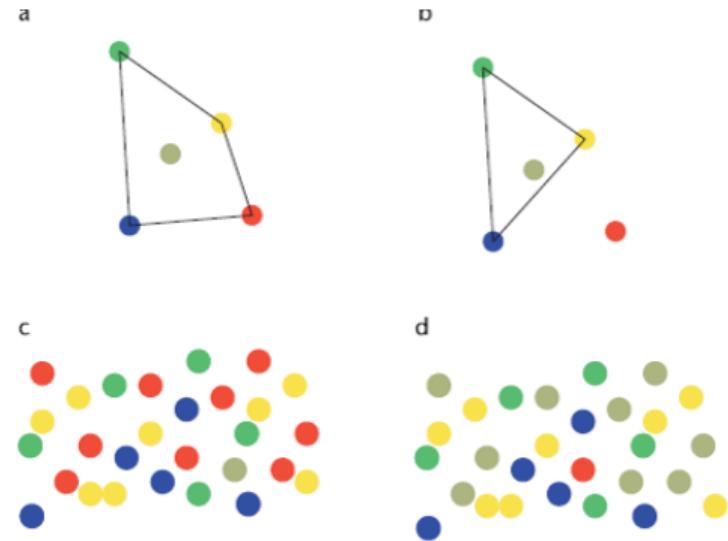
Farbe: Auswahl

- ▶ Farben sollen leicht voneinander zu unterscheiden sein
- ▶ Wenn es darum geht, ein Objekt einer bestimmten Farbe schnell zu finden, sollte diese außerhalb der konvexen Hülle der anderen Farben liegen



Farbe: Auswahl

- ▶ Farben sollen leicht voneinander zu unterscheiden sein
- ▶ Wenn es darum geht, ein Objekt einer bestimmten Farbe schnell zu finden, sollte diese außerhalb der konvexen Hülle der anderen Farben liegen



Farbe: Auswahl

Eindeutige Farbtöne

- ▶ Gegenfarben
 - ▶ Haben in den meisten Kulturen und Sprachen einen eigenen spezifischen Namen
 - ▶ Werden leicht erkannt
 - ▶ Sind zu bevorzugen, wenn nur wenige Farben benötigt werden
- ▶ Farben aus verschiedenen Farbfamilien zur Kodierung verwenden

Farbe: Auswahl

- ▶ Kontrast
 - ▶ Einheitliche Kontur verkleinert Wechselwirkungen
 - ▶ Schwarz
 - ▶ Weiß
- ▶ Farbig hinterlegter, schwarzer Text
 - ▶ helle Hintergrundfarbe
- ▶ Farbschwäche
 - ▶ Vermeidung von Farbkodierungen basierend auf rot-grün Kontrasten

Farbe: Auswahl

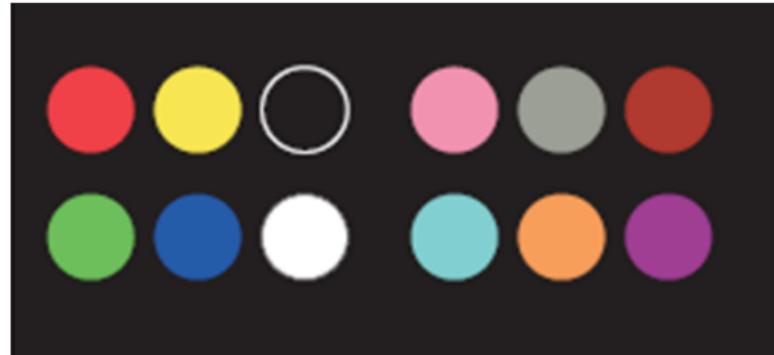
Größe der Farbfläche

- ▶ Objekte sollten ausreichend groß sein
 - ▶ Sonst können sie nicht unterschieden werden
- ▶ Kleine Farbflächen
 - ▶ stark gesättigte Farben
 - ▶ stark unterschiedliche Farben
- ▶ Große Farbflächen
 - ▶ Farben mit niedrigerer Sättigung
 - ▶ Farben mit geringem Abstand

Farbe: Auswahl

Farben für Kodierungen

- ▶ Anzahl: Nur 5 bis 10 Farben können schnell unterschieden werden
- ▶ Konventionen
 - ▶ Bedeutung von Farben in Anwendungsgebieten
- ▶ Empfohlene Farben für die Kodierung
 - ▶ Rot, Grün, Gelb, Blau, Schwarz, Weiß
 - ▶ Pink, Cyan, Grau, Orange, Braun, Lila



Farbe: Auswahl

- ▶ Nur wenige Farben verwenden
- ▶ Blau
 - ▶ große Flächen
 - ▶ nicht für dünne Linien
- ▶ Rot und Grün
 - ▶ im Fokus
- ▶ Schwarz, Weiß, Gelb
 - ▶ in der Peripherie
- ▶ Benachbarte Farben
 - ▶ Variation in Farbe und Helligkeit
- ▶ Große Flächen
 - ▶ Keine saturierten Farben verwenden
- ▶ Keine benachbarten Farben verwenden, die sich nur im Blau-Anteil unterscheiden

Farbe: Auswahl

- ▶ Farben eignen sich eher für
 - ▶ Kategorien
 - ▶ Suchaufgaben
- ▶ Farben eignen sich weniger für
 - ▶ Kontinuierliche oder geordnete Werte (Daten)
 - ▶ Form
 - ▶ Detail
 - ▶ Räumliche Anordnung

Farbe: Farbskalen

- ▶ Farbskalen: für kontinuierliche oder geordnete Werte
 - ▶ Ordnen jedem Wert eineindeutig eine Farbe zu
 - ▶ Auch Farbreihen (color maps) genannt
- ▶ Probleme
 - ▶ Farben können nur partiell angeordnet werden
 - ▶ Unterscheidung von Farbwerten geringer als von Helligkeitswerten

Farbskalen



► David Borland, Russel M. Taylor II
Rainbow Color Map (Still) Considered
Harmful
CG & A, March/April, 2007

- Probleme
 - Hue (“Farbe”)
 - Nicht geordnet (Wahrnehmung)
 - Artefakte: anscheinend Bereiche gleicher Farbe mit scharfen Übergängen
 - Unterschiedlich breite Farbbereiche

Farbe: Farbskalen

- ▶ In der Visualisierung wissenschaftlicher Daten
 - ▶ Abbildung der Werte auf den Farbton (hue)
 - ▶ Häufig Regenbogenfarbskala
 - ▶ Falschfarbendarstellung bei nicht-sichtbarer Strahlung (z.B. Infrarot-Aufnahmen)

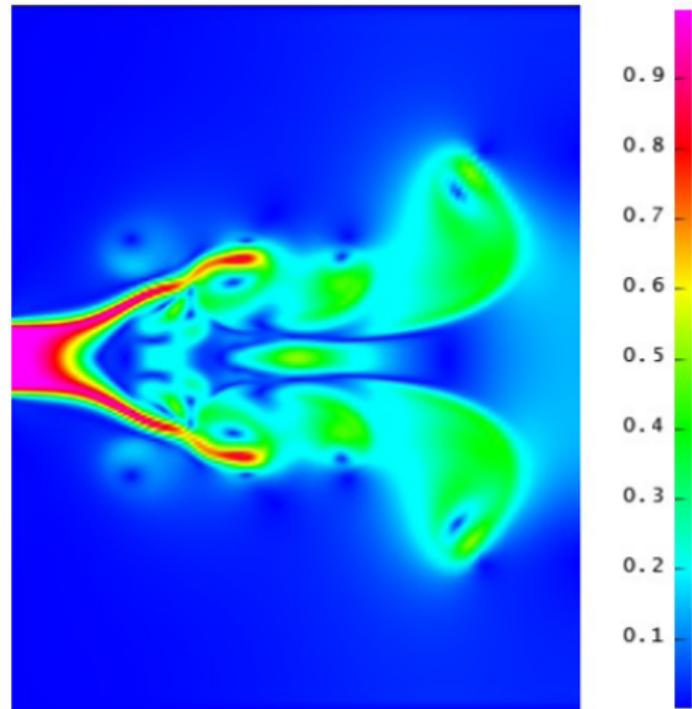


Abbildung: Regenbogen-Farbskala

Farbe: Farbskalen

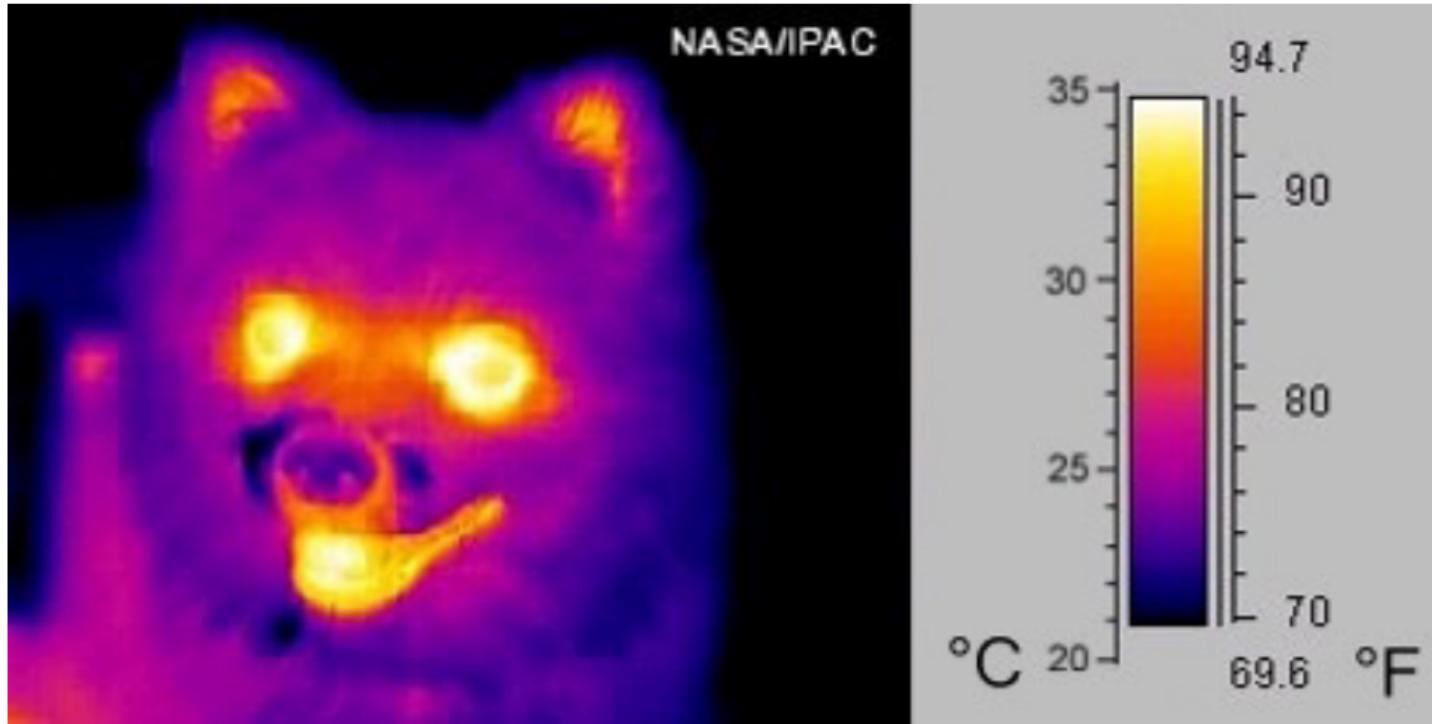
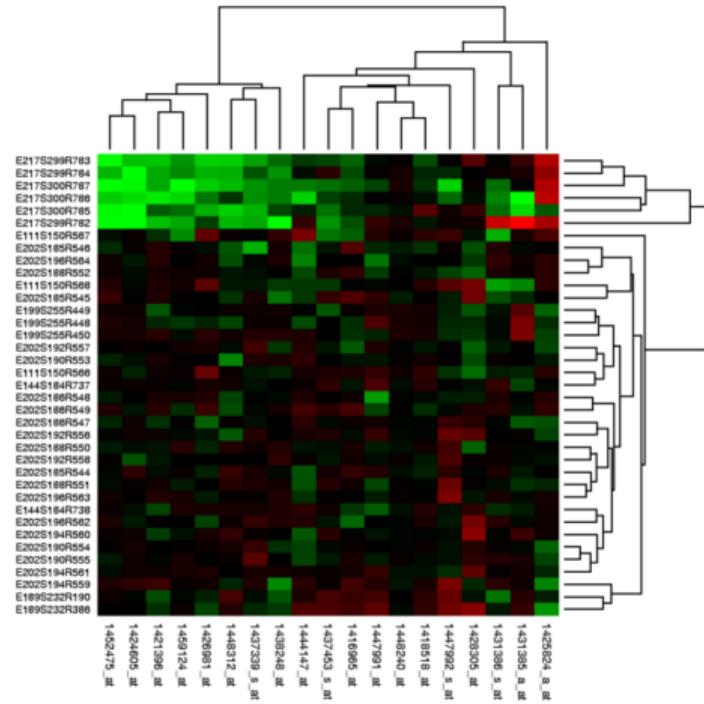


Abbildung: Falschfarbendarstellung

Farbe: Farbskalen

- ▶ Heatmap
 - ▶ Wertebereich: $[-1; 1]$
 - ▶ Je ein Farbton für positive und negative Werte
 - ▶ Kodierung der Größe der Werte:
Sättigung oder Helligkeit
 - ▶ Größte Sättigung oder Helligkeit
bei -1 und 1
 - ▶ Neutrale Farbe für 0
 - ▶ Schwarz
 - ▶ Weiß
 - ▶ <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1612199>



Farbskalen



Abbildung: oben: Luminanz
unten: Sättigung

Visuelle Aufmerksamkeit

- ▶ Auge arbeitet wie ein Informationssuchsystem
- ▶ Analogon: Suchscheinwerfer
 - ▶ Sichtfeld
 - ▶ Fokus der Fovea
- des Auges können als Lichtkegel interpretiert werden kann
- ▶ Fragen
 - ▶ Wie funktioniert Aufmerksamkeit?
 - ▶ Wie lässt sie sich für die Visualisierung nutzen?
 - ▶ Welche visuellen Anreize führen dazu, dass
 - ▶ "etwas ins Auge sticht"?
 - ▶ etwas unsere visuelle Aufmerksamkeit anspricht?

Visuelle Aufmerksamkeit

Augenbewegung

- ▶ Das Auge führt drei Arten von Bewegungen durch
- ▶ Bereiche werden in unser Sichtfeld gebracht
 - ▶ insbesondere ins Sichtfeld der Fovea (Gelber Fleck)

Visuelle Aufmerksamkeit

Augenbewegung

- ▶ Glatte Verfolgungsbewegung
 - ▶ gleichmäßig durch das Sichtfeld bewegendes Objekt verfolgen und fixieren
- ▶ Konvergente/Divergente Bewegung
 - ▶ sich näherndes Objekt durch konvergente Bewegung fixieren
 - ▶ sich entfernendes Objekt durch divergente Bewegung fixieren
 - ▶ Anpassung an andere Fokustiefe:
ca. 200ms

Visuelle Aufmerksamkeit

Augenbewegung: Sakkadische Bewegung

- ▶ Auge führt 2-5 ruckartige Bewegungen pro Sekunde durch
- ▶ Jede Bewegung
 - ▶ dauert 20 – 100ms
 - ▶ bis zu $900^{\circ}/s$ schnell
 - ▶ wird von 200 – 600ms langen Fixierungen unterbrochen
 - ▶ wird während der Fixierungen festgelegt und dann durchgeführt
 - ▶ Visuelle Informationsaufnahme kann als Folge mehrerer Schnappschüsse pro Sekunde aufgefasst werden
- ▶ Während der Bewegung
 - ▶ Änderungen sind nicht möglich
 - ▶ Die Wahrnehmung ist reduziert (sakkadische Suppression)

Visuelle Aufmerksamkeit

- ▶ Visuelle Aufmerksamkeit ist im fokussierten Sichtfeld der Fovea konzentriert
- ▶ Hilfreich bei vielen Visualisierungen

Visuelle Aufmerksamkeit

Symbolpuffer

- ▶ Visueller Puffer für Symbole im Kurzzeitgedächtnis umfasst 3-7 Elemente
- ▶ Elemente verblassen nach einiger Zeit; es dauert etwas, um sie zu laden
- ▶ Puffer beschränkt unsere Verarbeitungskapazität
- ▶ Elementauswahl hängt ab von
 - ▶ Unserer visuellen Aufmerksamkeit
 - ▶ Vorher ablaufenden Prozessen im visuellen Kortex
 - ▶ (Vorverarbeitung visueller Information)
- ▶ Prozesse im Puffer sind sehr wichtig für die Visualisierung, da sie parallel für das gesamte Sichtfeld ablaufen

Visuelle Aufmerksamkeit

- ▶ In Visualisierungen sollte das nutzbare Sichtfeld nicht mit Information überfrachtet werden
 - ▶ Kleine Buchstaben
 - ▶ etwa $1 - 4^\circ$ großer Sichtwinkel der Fovea
 - ▶ Große Buchstaben
 - ▶ bis zu 15° großer Sichtwinkel der Fovea

Muster

- ▶ Ziel von Visualisierung:
Nutzung menschlicher
Mustererkennungsfähigkeiten
- ▶ Zur Entdeckung bislang unbekannter
Muster in den Daten
- ▶ Von Mustern, die von der
Erwartung/Norm abweichen

Gestaltgesetze

- ▶ Gestaltschule der Psychologie
(Wertheimer, Koffka, Kohler)
[Koffka1935]
- ▶ “Das Ganze ist verschieden von der Summe seiner Teile”
- ▶ Prinzipien, nach denen wir
 - ▶ den 2D-Raum in Teile zerlegen
 - ▶ Objekte erkennen
 - ▶ Gruppen von Objekten bilden
 - ▶ Muster als ähnlich betrachten

Muster

Gestaltgesetze

- ▶ Typisches Problem
 - ▶ Figur-Hintergrund-Trennung
- ▶ Prinzip der Prägnanz
 - ▶ Mensch wählt bevorzugt als mentales Bild das einfachste mit den Informationen übereinstimmende aus



Gestaltgesetze

- ▶ Mustererkennung beim Menschen folgt grundlegenden Regeln (Gestaltprinzipien)
- ▶ Die acht wichtigsten sind
 1. Nähe
 2. Ähnlichkeit
 3. Symmetrie
 4. Verbundenheit
 5. Stetigkeit
 6. Konvexität und Abschluss
 7. Relative Größe
 8. Erlerntes Wissen

Muster

Gestaltgesetze: Nähe

- ▶ Räumlich nahe Objekte werden gruppiert und als Einheit aufgefasst
- ▶ Schon geringe Unterschiede sind wichtig

Muster

Gestaltgesetze: Nähe

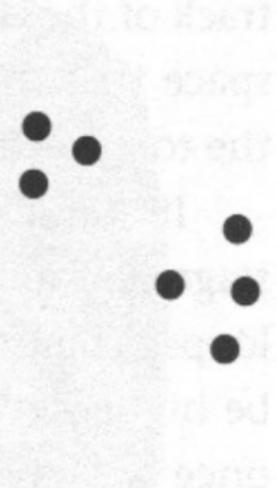
a.



b.

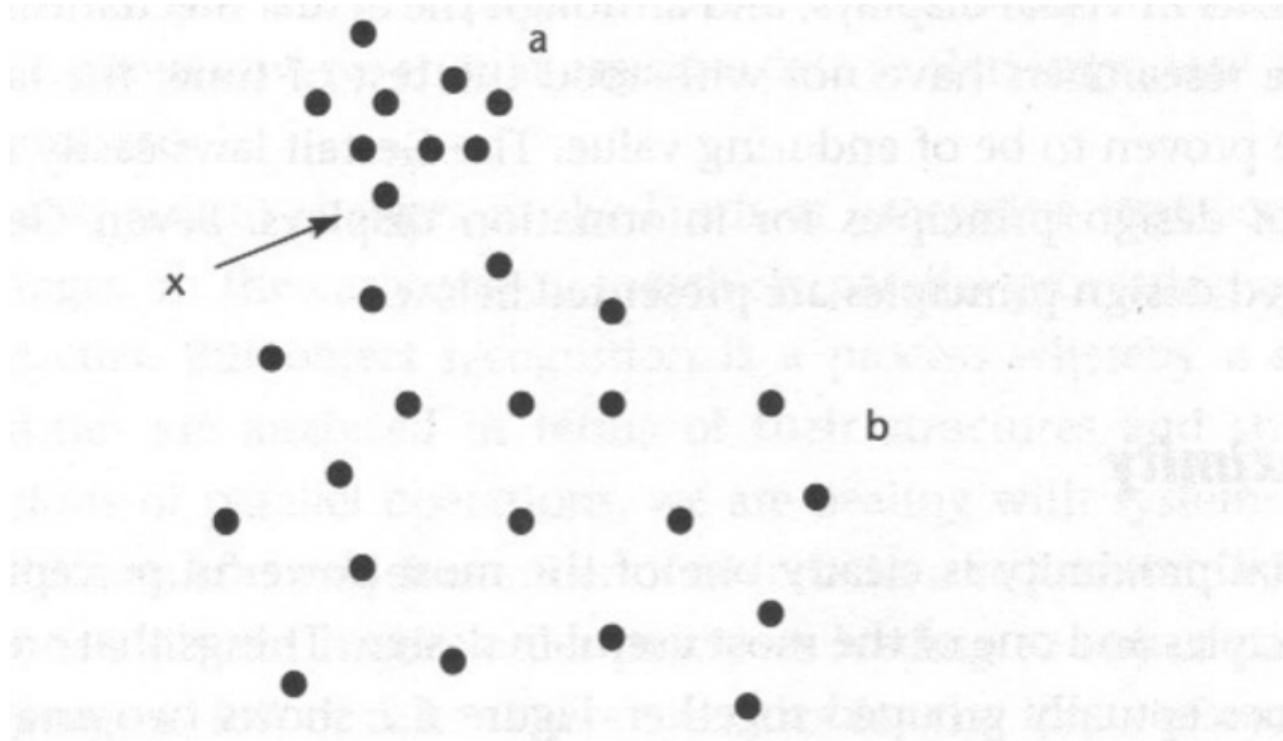


c.



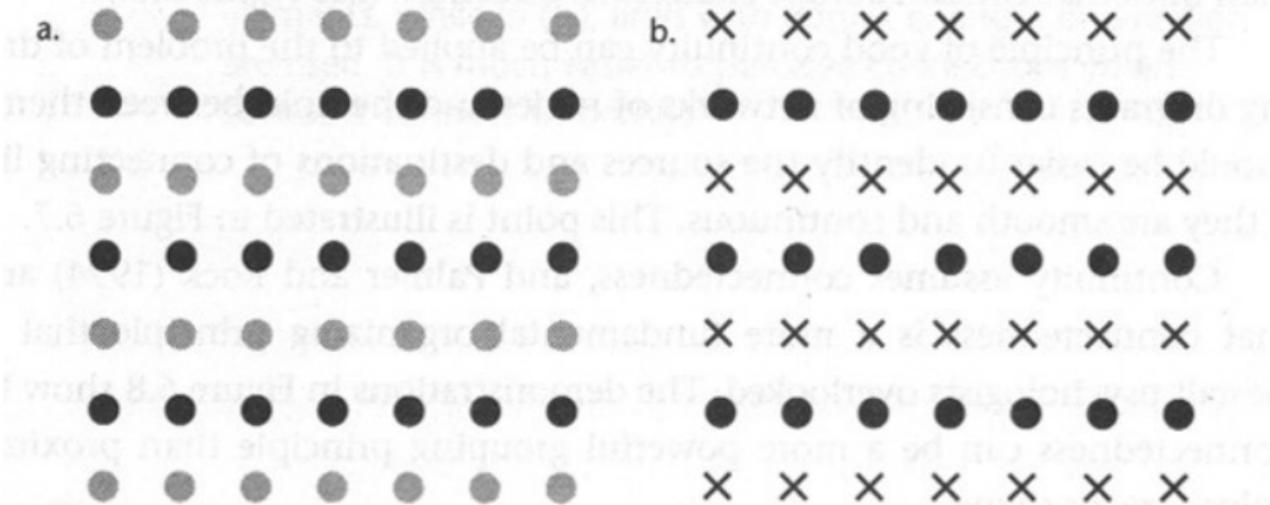
Muster

Gestaltgesetze: Nähe



Muster

Gestaltgesetze: Ähnlichkeit

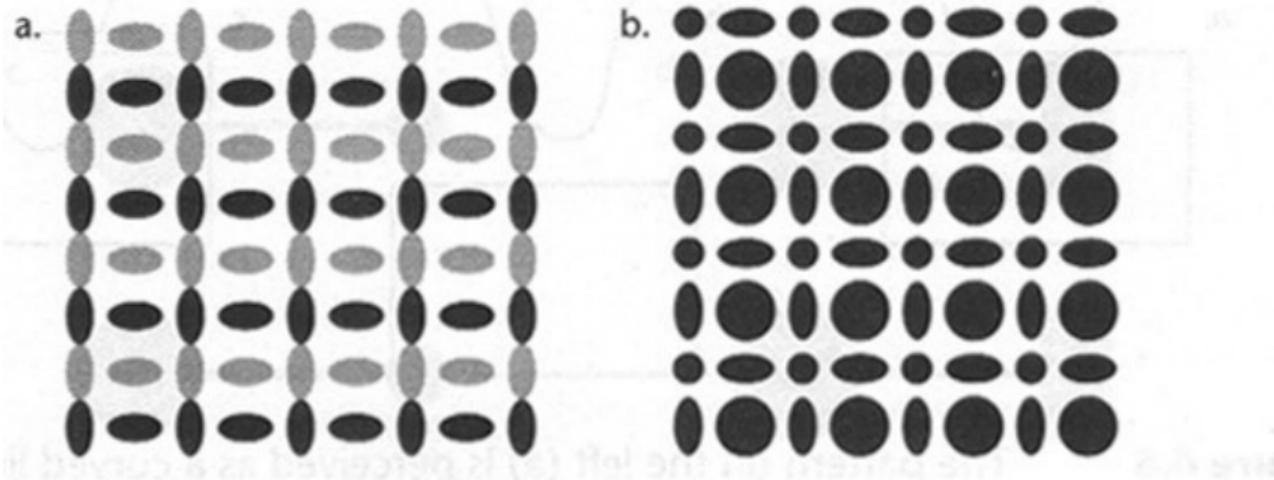


According to the Gestalt psychologists, similarity between the elements in alternate rows causes the row percept to dominate.

Abbildung: Gleiche oder ähnliche Objekte werden ebenfalls zusammen gruppiert

Muster

Gestaltgesetze: Ähnlichkeit

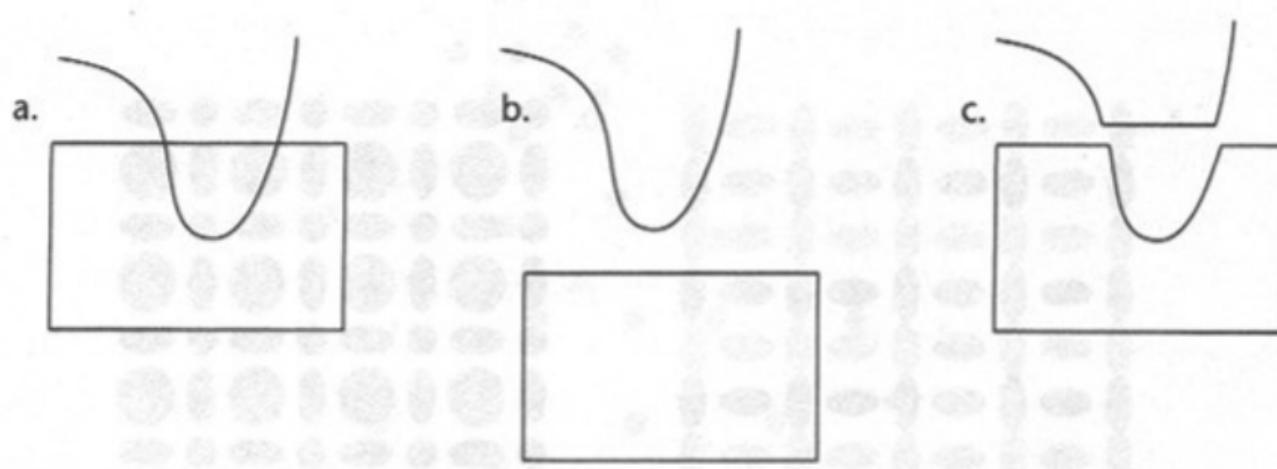


(a) Separable dimensions are used to delineate rows and columns. (b) Integral dimensions are used, and the result is that the overall pattern emerges more strongly.

Abbildung: Gleiche oder ähnliche Objekte werden ebenfalls zusammen gruppiert

Muster

Gestaltgesetze: Glattheit

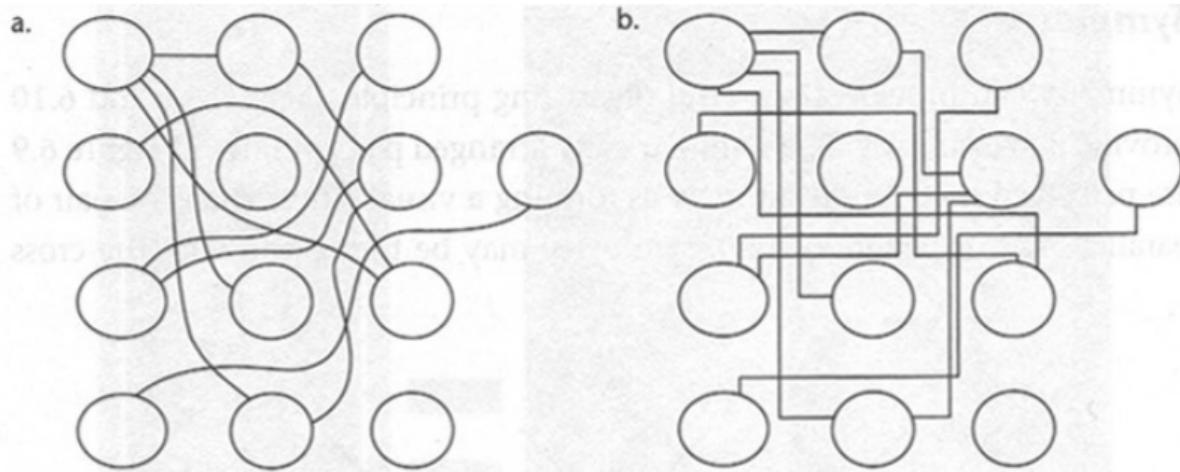


The pattern on the left (a) is perceived as a curved line overlapping a rectangle (b) rather than as the more angular components shown in (c).

Abbildung: Erzeugt eher Objekte aus glatt und stetig miteinander verbundenen graphischen Elementen

Muster

Gestaltgesetze: Glattheit



In (a), smooth continuous contours are used to connect the elements, while in (b), lines with abrupt changes in direction are used. It is much easier to perceive connections when contours connect smoothly.

Abbildung: Erzeugt eher Objekte aus glatt und stetig miteinander verbundenen graphischen Elementen

Muster

Gestaltgesetze: Glattheit

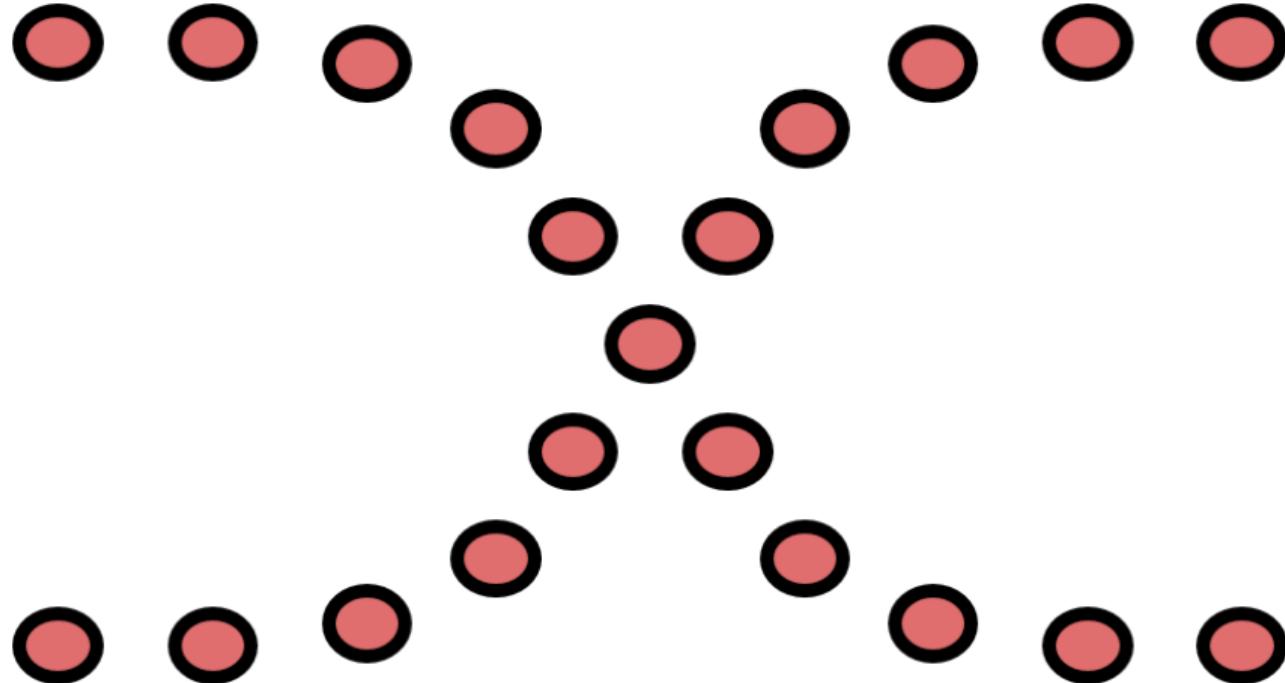
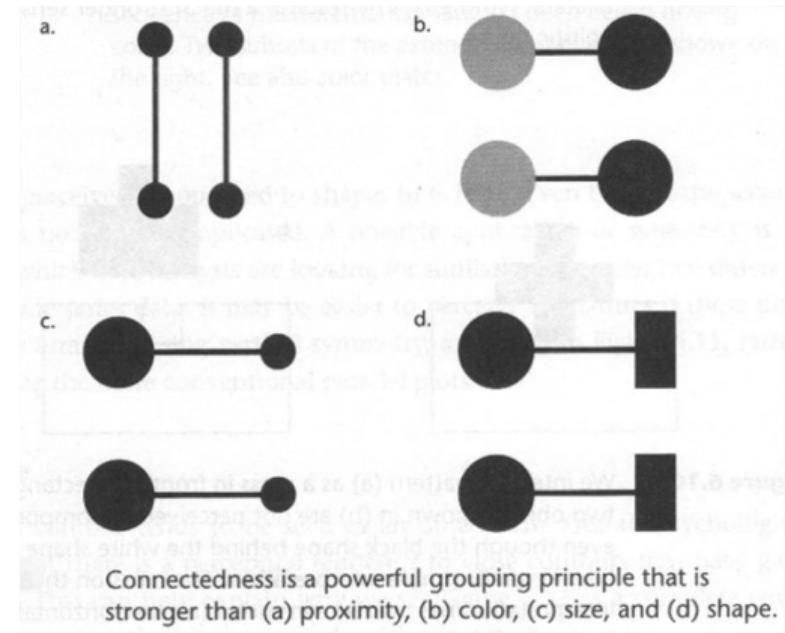


Abbildung: Erzeugt eher Objekte aus glatt und stetig miteinander verbundenen graphischen Elementen

Muster

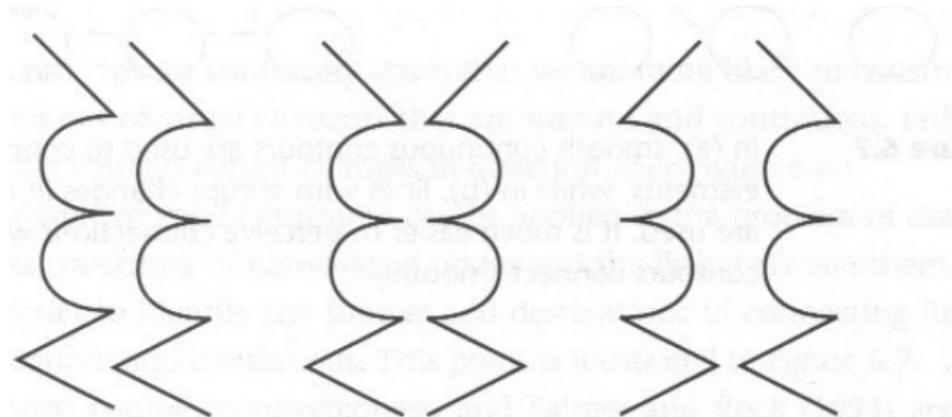
Gestaltgesetze: Verbundenheit

- ▶ Manche Forscher [Palmer, Rock, 1994] sehen Verbundenheit als das wesentliche Element an
- ▶ Bindung durch Verbundenheit bzw. Stetigkeit ist stärker als
 - ▶ Nähe
 - ▶ Ähnlichkeit



Muster

Gestaltgesetze: Symmetrie

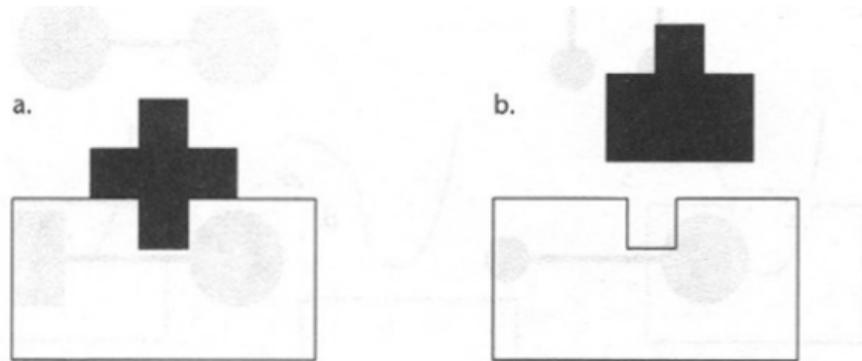


The pattern on the left consists of two identical parallel contours. In each of the other two patterns, one of the contours has been reflected about a vertical axis, producing bilateral symmetry. The result is a much stronger sense of a holistic figure.

Abbildung: Symmetrie begünstigt die Zusammenfassung zu einem Objekt und erlaubt Entdeckungen von Abweichungen

Muster

Gestaltgesetze: Symmetrie

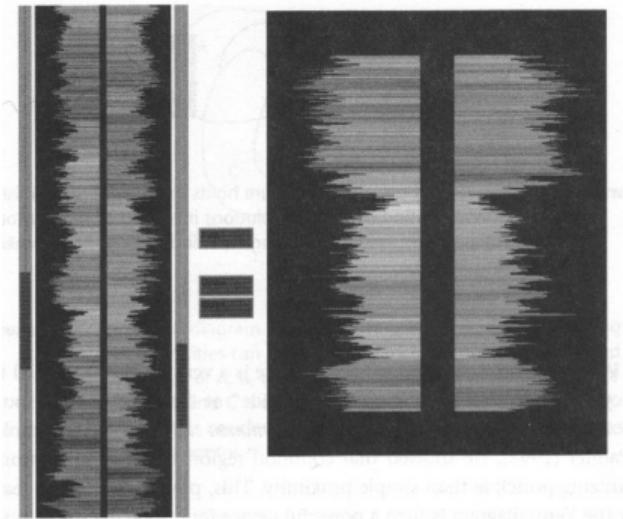


We interpret pattern (a) as a cross in front of a rectangle. The two objects shown in (b) are not perceived as components even though the black shape behind the white shape would be an equally simple interpretation. The cross on the rectangle interpretation has greater symmetry (about horizontal axes) for both of the components.

Abbildung: Symmetrie begünstigt die Zusammenfassung zu einem Objekt und erlaubt Entdeckungen von Abweichungen

Muster

Gestaltgesetze: Symmetrie

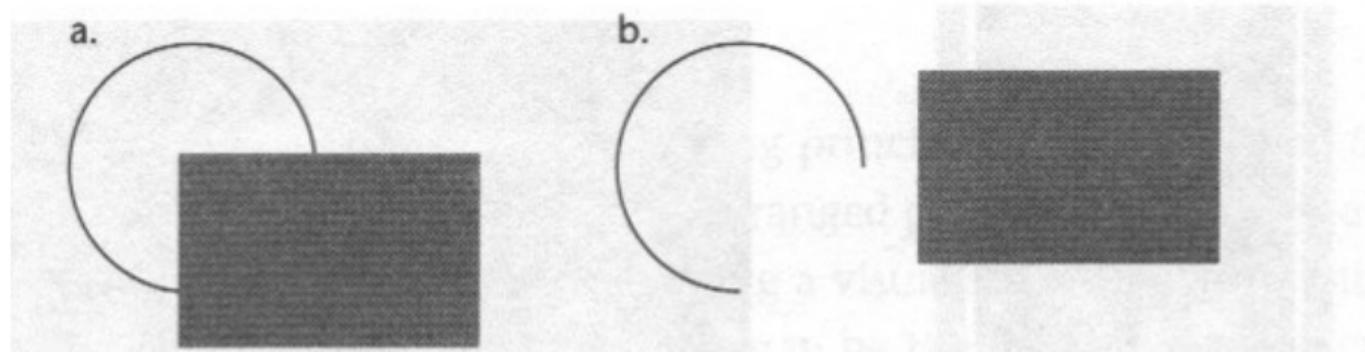


An application designed to allow users to recognize similar patterns in different time-series plots. The data represents a sequence of measurements made on deep ocean drilling cores. Two subsets of the extended sequences are shown on the right. See also color plates.

Abbildung: Symmetrie begünstigt die Zusammenfassung zu einem Objekt und erlaubt Entdeckungen von Abweichungen

Muster

Gestaltgesetze: Abschluss und Konvexität



The Gestalt principle of closure holds that neural mechanisms operate to find perceptual solutions involving closed contours. Hence in (a), we see a rectangle behind a circle, not a broken ring as in (b).

Abbildung: Geschlossene Konturen werden häufig als Objekte wahrgenommen: Prinzip des Abschlusses

Muster

Gestaltgesetze: Abschluss und Konvexität

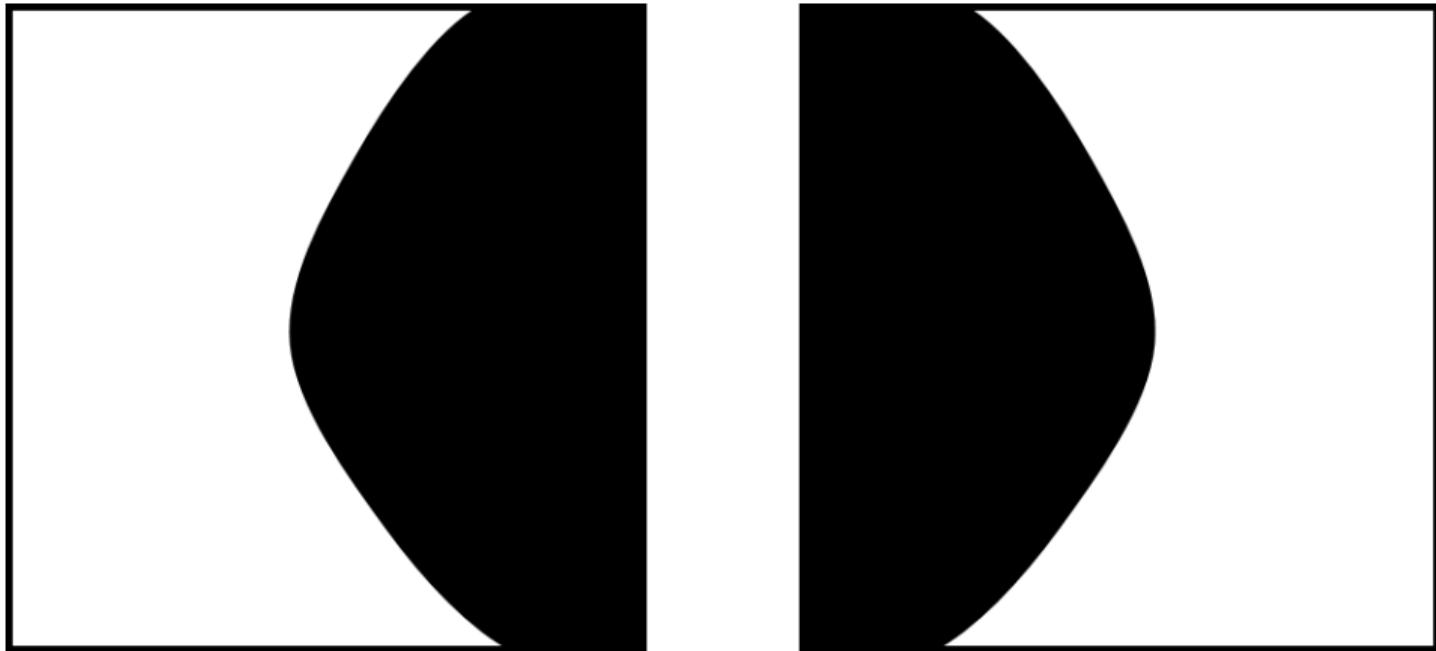


Abbildung: Geschlossene Konturen werden häufig als Objekte wahrgenommen: Prinzip der Konvexität

Muster

Gestaltgesetze: Abschluss und Konvexität

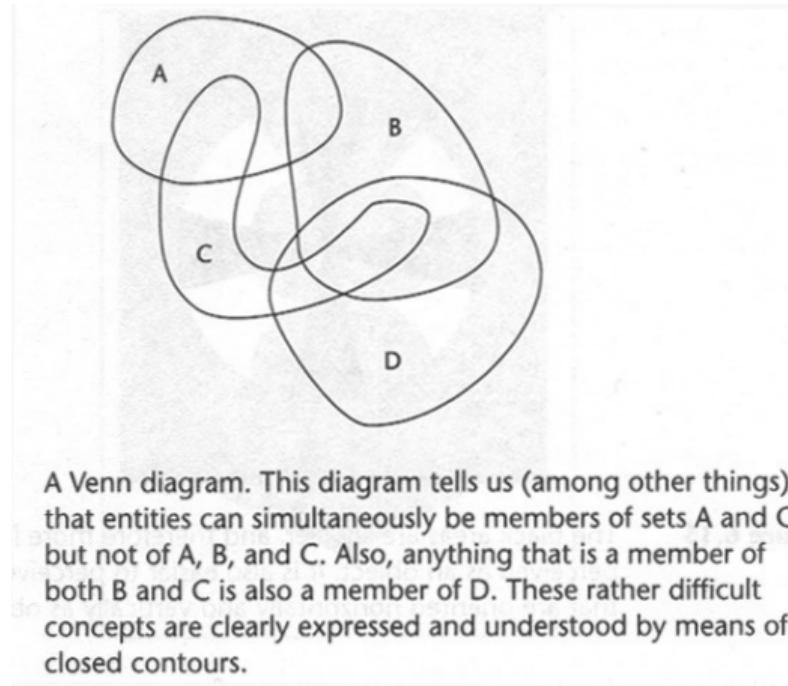
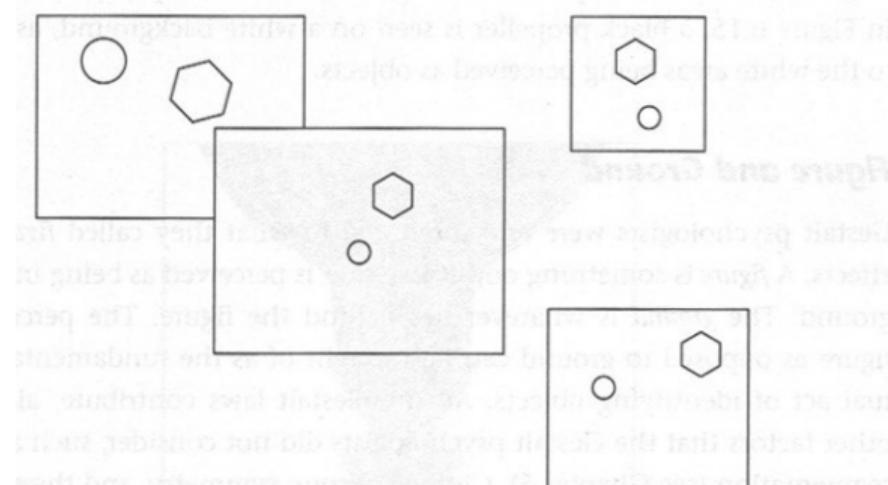


Abbildung: Geschlossene Konturen werden häufig als Objekte wahrgenommen

Muster

Gestaltgesetze: Abschluss und Konvexität

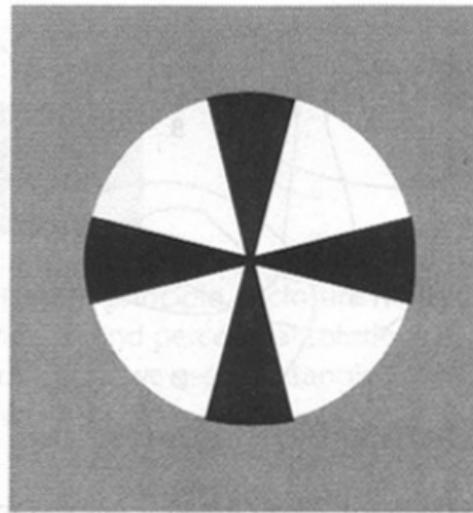


Closed rectangular contours strongly segment the visual field. They also provide reference frames. Both the positions and the sizes of enclosed objects are, to some extent, interpreted with respect to the surrounding frame.

Abbildung: Geschlossene Konturen werden häufig als Objekte wahrgenommen

Muster

Gestaltgesetze: Relative Größe

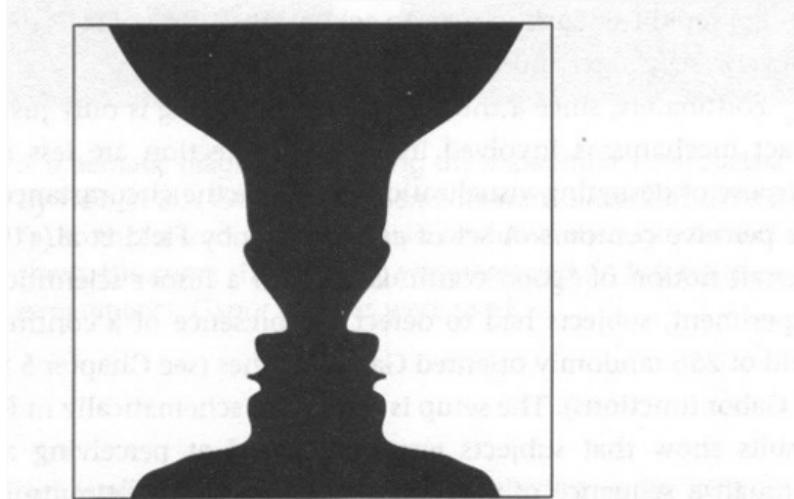


The black areas are smaller, and therefore more likely to be perceived as an object. It is also easier to perceive patterns that are oriented horizontally and vertically as objects.

Abbildung: Kleinere Bereiche in Segmentierung werden als Objekte erfasst

Muster

Gestaltgesetze: Figur und Hintergrund

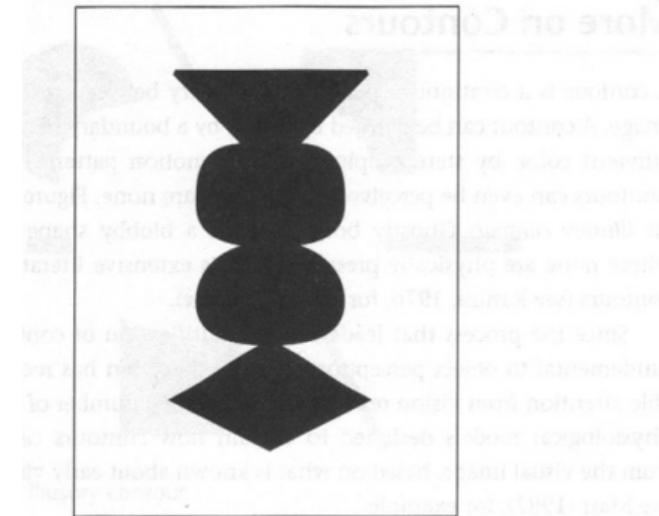


Rubin's Vase. The cues for figure and ground are roughly equally balanced, resulting in a bistable percept of either two faces or a vase.

Abbildung: Gestaltgesetze und Textursegmentierung führen zur Definition von Objekt und Hintergrund. Es kann Unstimmigkeiten geben.

Muster

Gestaltgesetze: Figur und Hintergrund



Symmetry, surrounding white space, and a closed contour all contribute to the strong sense that this shape is figure, rather than ground.

Abbildung: Gestaltgesetze und Textursegmentierung führen zur Definition von Objekt und Hintergrund. Es kann Unstimmigkeiten geben.

Muster

Gestaltgesetze

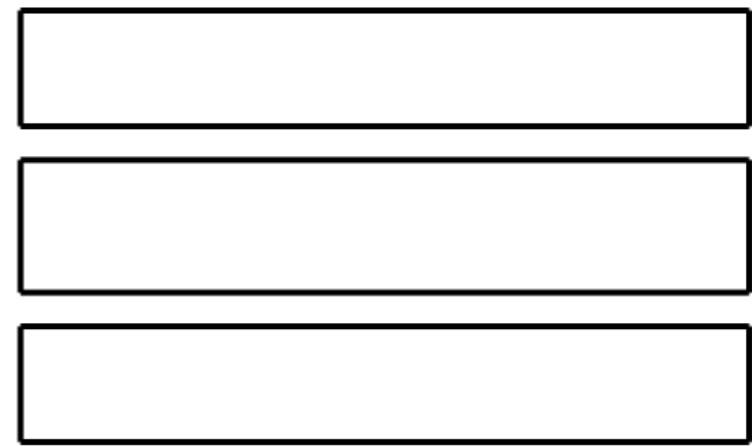
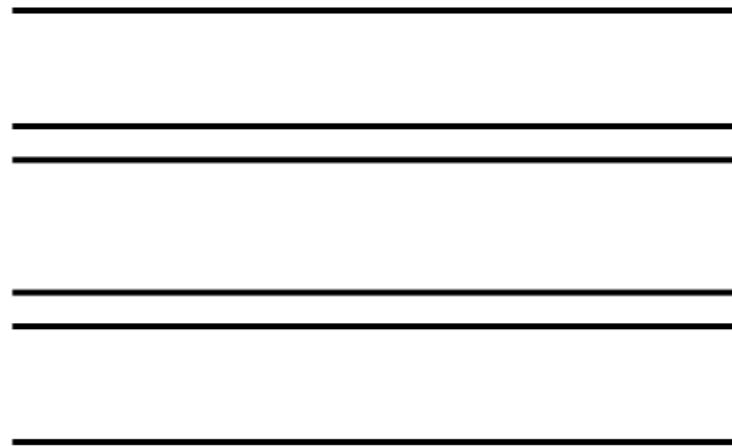


Abbildung: Nähe vs Geschlossenheit

Gestaltgesetze

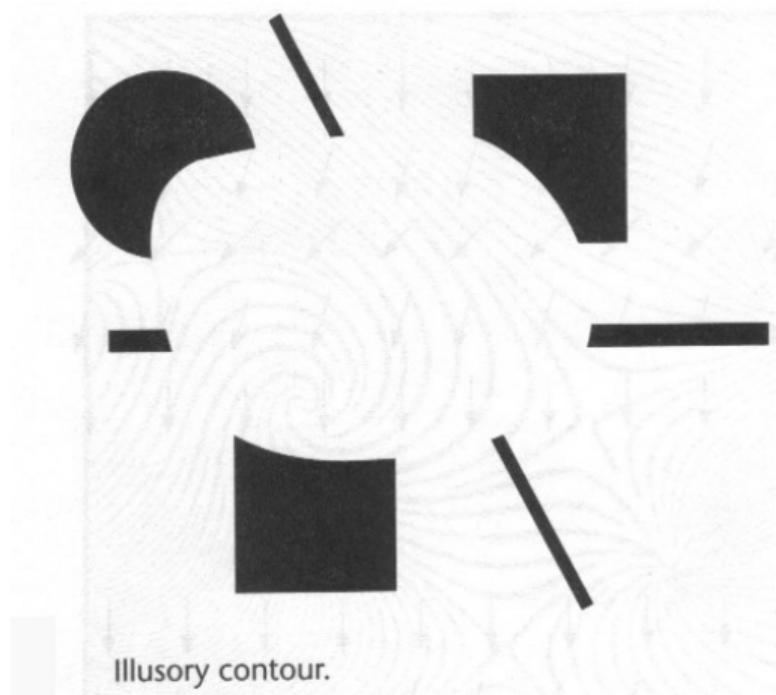
T A E C A T

Abbildung: Ausnutzung erlernten Wissens

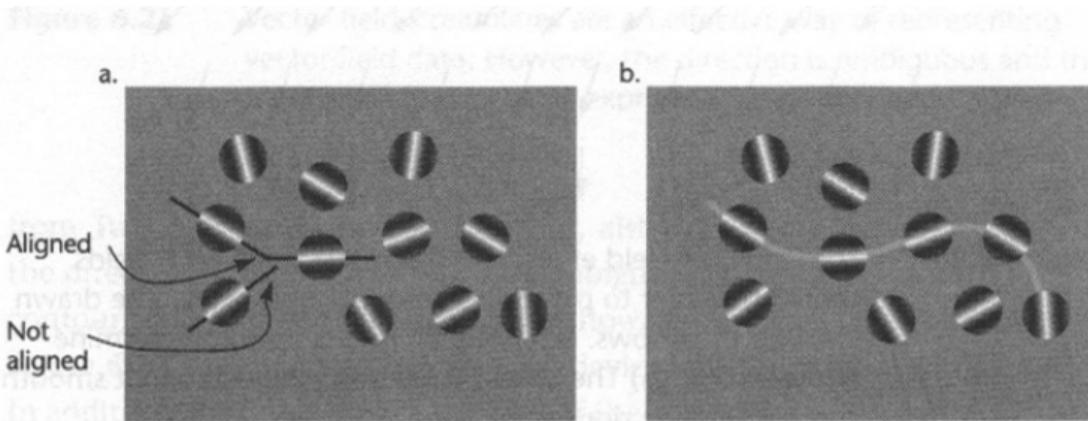
Muster

Gestaltgesetze: Konturen

- ▶ Starke Tendenz Konturen zu erkennen, selbst wenn keine vorhanden sind
- ▶ Allerdings fehlt hier noch ein vollständiges Verständnis
- ▶ Bevorzugt werden
 - ▶ Elementare Formen
 - ▶ Bekannte Objektkonturen



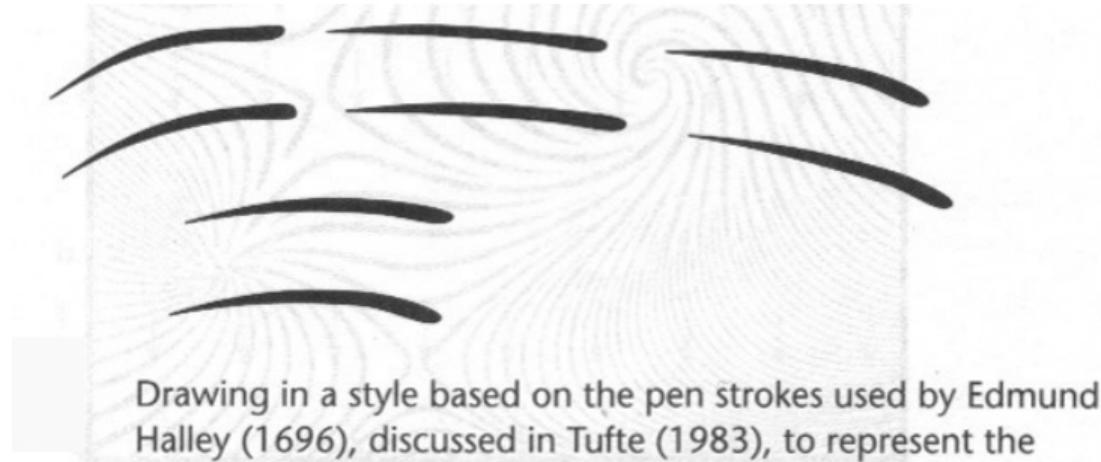
Gestaltgesetze: Konturen



A schematic diagram illustrating the experiments conducted by Field et al. (1993). If the elements were aligned as shown in (a) so that a smooth curve could be drawn through some of them, the curve shown in (b) was perceived. In the actual experiments, Gabor patches were used.

Abbildung: Bei Gabortexturen können ähnliche Richtungen zur Wahrnehmung von Konturen beitragen

Gestaltgesetze: Konturen



Drawing in a style based on the pen strokes used by Edmund Halley (1696), discussed in Tufte (1983), to represent the trade winds of the North Atlantic. Halley described the wind direction as being given by “the sharp end of each little stroak pointing out that part of the Horizon, from whence the wind continually comes.”

Abbildung: Ausnutzung in der Strömungsvisualisierung

Muster

Gestaltgesetze: Konturen

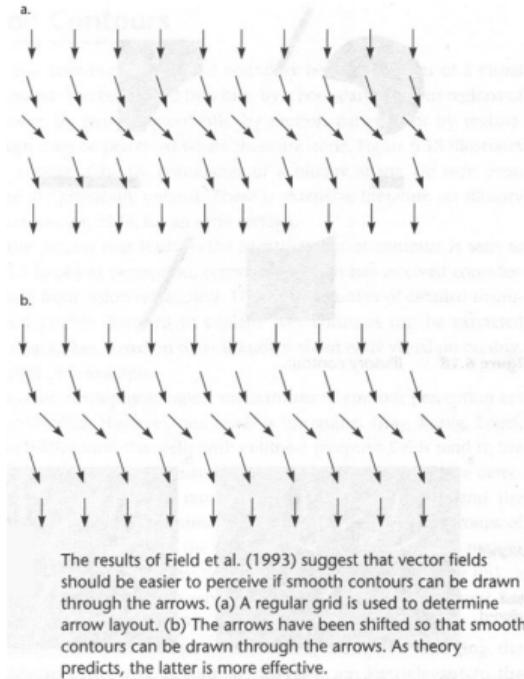
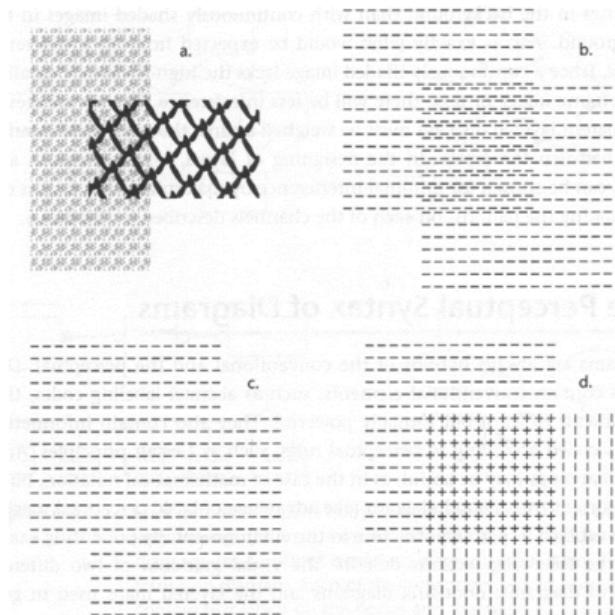


Abbildung: Ausnutzung in der Strömungsvisualisierung

Muster

Gestaltgesetze: Transparenz

- ▶ Interferenz zwischen transparenten Ebenen, wenn diese Ebenen nicht korrekt getrennt werden
- ▶ Keine Interferenz
 - ▶ Starke Kontinuität innerhalb der Ebenen
 - ▶ Unterschiedliche Werte der graphischen Variablen von Ebene zu Ebene



Watanabe and Cavanagh (1996) called the texture equivalent of transparency "laciness." This figure is based on their work. (See text for an explanation.)

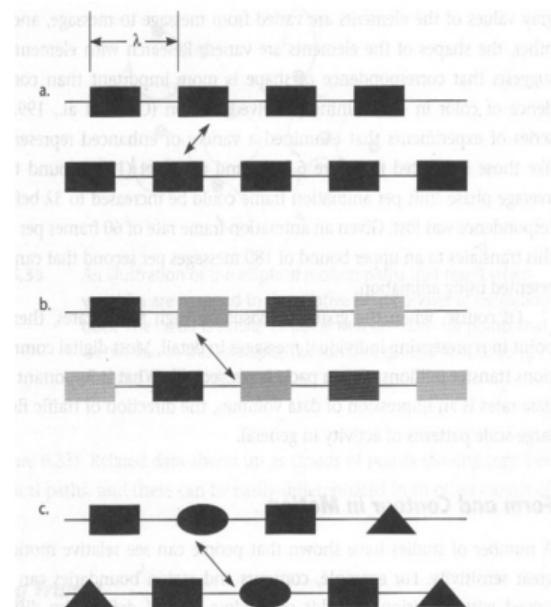
Gestaltgesetze: Diagramme

- ▶ Diagramme
 - ▶ enthalten Elemente, die orientiert sind an
 - ▶ Wahrnehmung
 - ▶ Konventionen
 - ▶ arbeiten mit
 - ▶ geschlossenen Konturen für Objekterkennung bei Knoten
 - ▶ Kontinuität als starkem Verbindungsindikator
- ▶ Graphenartige Diagramme
 - ▶ Bestehen aus Knoten und Verbindungen (Kanten)
 - ▶ Erfüllen dieses Kriterium
 - ▶ Sind weit verbreitet
 - ▶ Beispiele
 - ▶ Entity-Relationship-Modelle
 - ▶ Organisationsdiagramme
 - ▶ Softwareentwurf
- ▶ Aber: Linien können mehrdeutig sein

Muster

Gestaltgesetze: Bewegung

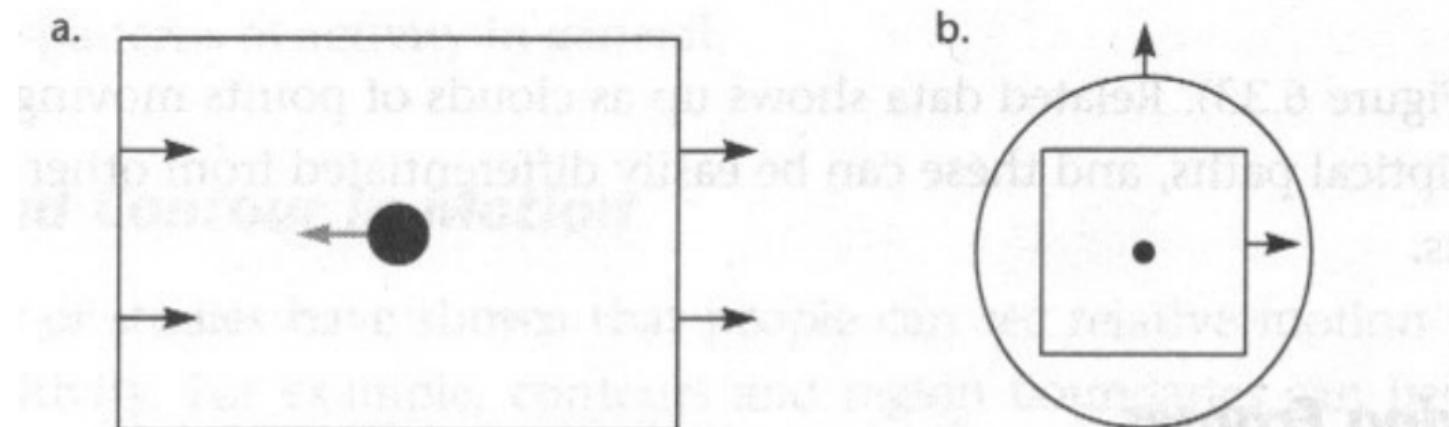
- ▶ Gleiche Objekte werden von Bild zu Bild nach dem Prinzip des kleinsten Abstandes identifiziert
- ▶ Erkennung von relativen Bewegungen von Objekten



If motion is represented using a regular sequence of identical and equally spaced elements, there is a strict limit on the throughput that can be perceived. This limit can be extended by varying the sizes and shapes of the graphical elements.

Muster

Gestaltgesetze: Bewegung



When a stationary dot is placed within a moving frame in a dark room, it is the dot that is perceived to move in the absence of other cues.

Abbildung: Bei Ermittlung von Bewegung haben Rahmen sehr großen Einfluss, da sie als Referenz dienen

Gestaltgesetze: Kausalität

- ▶ Bei Bewegungen orientiert sich das Gehirn an Kausalitätsbeziehungen
- ▶ Objekt 1 trifft auf Objekt 2, Objekt 2 setzt sich in Bewegung
 - ▶ nach weniger als $70ms$: Anstoßen
 - ▶ bis zu $160ms$ Verzögerung: verzögertes Anstoßen
- ▶ Objekt 2 schneller als Objekt 1
 - ▶ Antrieb von Objekt 2, ausgelöst von Objekt 1

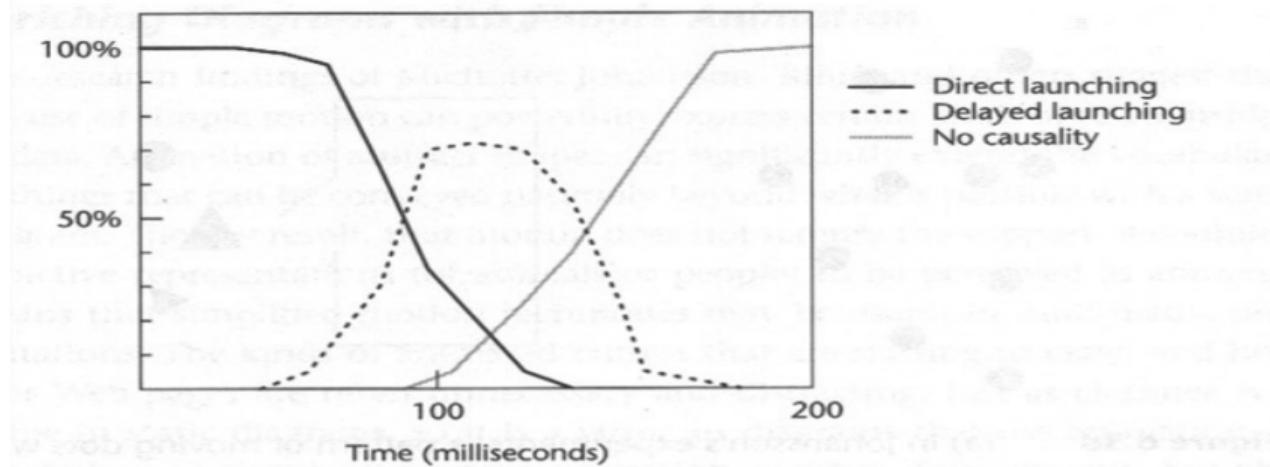
Muster

Gestaltgesetze: Kausalität



Michotte studied the perception of causal relationships between two patches of light that moved always along the same line but with a variety of velocity patterns.

Gestaltgesetze: Kausalität



From Michotte (1963). When one object comes into contact with another, and the second moves off, the first motion may be seen to cause the second if the right temporal relationships exist. The graph shows how different kinds of phenomena are perceived depending on the delay between the arrival of one object and the departure of the other.

Literatur

C. Ware.

Information Visualization – Perception for Design.

3. Auflage, Elsevier, Amsterdam, NL, 2012.

C. Ware.

Visual Thinking: For Design.

Morgan Kaufman, San Francisco, 2008.

J. Bertin.

Semiology of Graphics.

Esri Pr, 2011.

Literatur

C. Chabris and D. Simons.

The Invisible Gorilla and other ways our intuition deceives us.

Harper Collins Publ. UK, 2011.

<http://www.theinvisiblegorilla.com/>

Literatur

Margaret Livingstone.

What Art Can Tell Us About the Brain.

<https://www.youtube.com/watch?v=338GgSbZUYU>

Mark Livingston.

Perceptual Issues for Visualization and Evaluation.

In IEEE Visualization Tutorials (2007).

D. Bartz, D. Cunningham, J. Fischer, C. Wallraven.

The Role of Perception for Computer Graphics..

In Eurographics, State-of-the-Art-Reports, pp. 65-86, 2008.

Literatur

E. Goldstein.

Sensation and Perception.

Cengage Learning Service, 2006.

G. Gescheider

Psychophysics – The Fundamentals.

3rd Edition, Lawrence Erlbaum Assoc., 1997.