

3 – 38

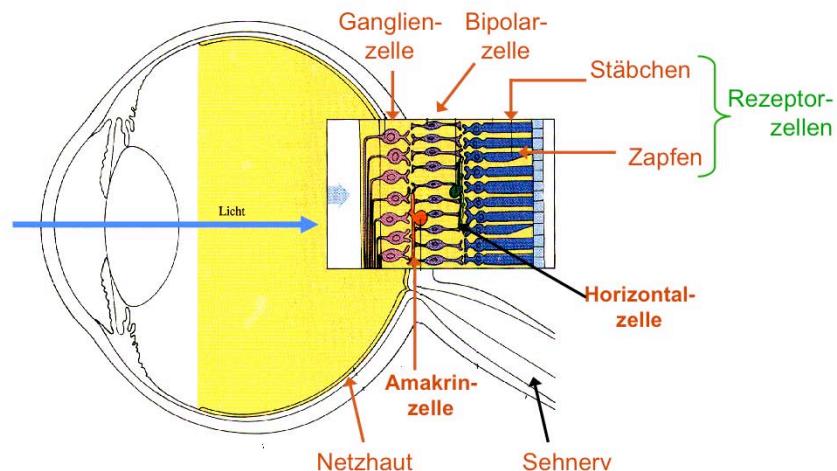
- Die untere Abbildung kombiniert Aspekte von Figure 3-1 und Figure 3-2 aus  
Bruce, Vicki ; Green, Patrick R. & Georgeson, Mark A. (1996). *Visual Perception - Physiology, Psychology and Ecology*. 3rd edition. Hove, UK: Psychology Press. p. 44f.
- Die neuronalen Prozesse der Kanten- & Liniendetektion werden im im nächsten Abschnitt des Kap. 3 angesprochen.

## Visuelle Wahrnehmung

- Visuelle Wahrnehmung als Paradigma der Wahrnehmungsforschung
- Funktionale Komponenten der visuellen Wahrnehmung
  - Das Auge / Die Augen
  - Lokale & globale Verarbeitung
    - Kantendetektion
    - Farbwahrnehmung
  - Von Linien über Regionen zur 3D-Wahrnehmung und Objekterkennung
    - Tiefenwahrnehmung
    - Gestaltprinzipien
    - Objekterkennung & 3D-Modelle

- Der folgende Abschnitt dient insbesondere dazu, am Beispiel der frühen visuellen Perzeption wichtige Grundprinzipien der Informationsverarbeitung durch neuronale Systeme zu erläutern.

## Das Auge

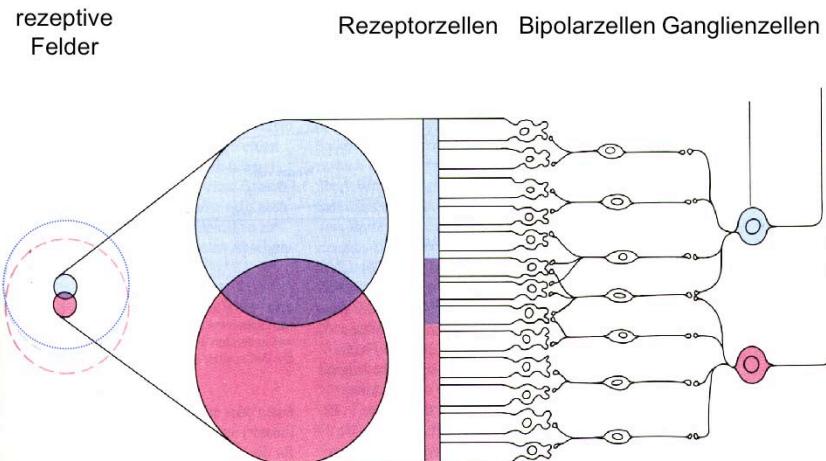


Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 40

- Literatur zum Auge:  
Hubel, David H. (1989). *Auge und Gehirn*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft - Verlagsgesellschaft. [Kapitel 3: p. 43–65]
- Abbildung aus:  
Hubel, David H. (1989). p. 46
- Die Retina (genauer: folgende Folie) empfängt Licht (d.h. Wellen einer gewissen Frequenz) und leitet hieraus resultierende Information in andere Teile des Gehirns weiter.
  - Die Retina ist eine dünne, mehrlagige Schicht spezifischer Zellen (vergrössert dargestellt im Ausschnitt)
  - Von den retinalen Zellen wird die Information über den Sehnerv aus dem Auge heraus geführt.
- Beachten Sie, dass das Licht andere Zellschichten durchläuft, bevor es auf die Rezeptorzellen, die Stäbchen und Zapfen fällt.

## Überlappung rezeptiver Felder



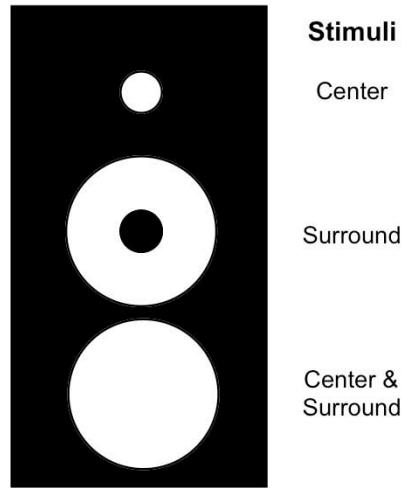
Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 41

- Abbildung aus:  
Hubel, David H. (1989). *Auge und Gehirn*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft - Verlagsgesellschaft. (p. 53)
- Hier ist die Idee des *rezeptiven Feldes* bzw. des Zentrums eines rezeptiven Feldes dargestellt.
- Eine wichtige Eigenschaft der Retina bzw. der Verschaltung der retinalen Zellen ist, dass eine hohes Mass an Überlappung der rezeptiven Felder besteht. (Keine scharfen Grenzen, kein „Mosaik-Eigenschaft“)
  - Eine Rezeptorzelle gibt Information an mehrere Ganglionzellen weiter. Hierdurch kann die Information eines Rezeptors auf unterschiedliche Weise weiter verarbeitet werden.
- Die hier vorgestellte Verschaltungsarchitektur folgt dem Prinzip der *Mehrfachverwendung sensorischer Daten*. Dieses Prinzip ist auch in der maschinellen Bildverarbeitung (Computer Vision) grundlegend.

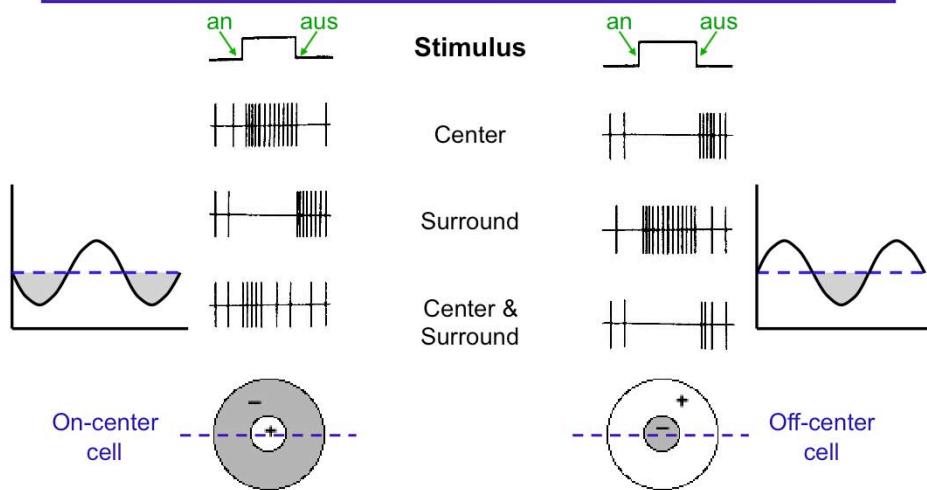
## Rezeptive Felder von Ganglienzellen: On-center cells – Off-center cells

- **Rezeptives Feld =**  
Bereich der Rezeptoren, die über ein oder mehrere Synapsen zu einem Neuron führen.
- Zwei Typen von Ganglienzellen in Bezug auf ihre rezeptiven Felder:
  - On-center cells
  - Off-center cells



- Abbildung nach:  
Hubel, David H. (1989). *Auge und Gehirn*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft - Verlagsgesellschaft. (p. 50)
  - In der menschlichen Retina existieren Ganglienzellen mit unterschiedlichem Verhalten. [Verhaltensunterschiede resultieren aus unterschiedlichen Vernetzungsstrukturen; inhibitorische vs. exitatorische Verbindungen.]
  - Besonders wichtig sind die beiden Typen der „on-center“ und „off-center“ Zellen.
  - Zur Untersuchung der Eigenschaften von Ganglienzellen werden deren rezeptive Felder stimuliert, und zwar unter den folgenden Variationen (vgl. Abbildung):
    - Das Zentrum (*center*) des rezeptiven Feldes wird beleuchtet, das Umfeld des Zentrums (*surround*) wird nicht beleuchtet. (*center-Bedingung*)
    - Das Zentrum des rezeptiven Feldes wird nicht beleuchtet, das Umfeld des Zentrums wird beleuchtet. (*surround-Bedingung*)
    - Zentrum und Umgebung des Zentrums des rezeptiven Feldes werden beleuchtet. (*center & surround-Bedingung*)
- Siehe die folgende Folie.

## On-center cells – Off-center cells

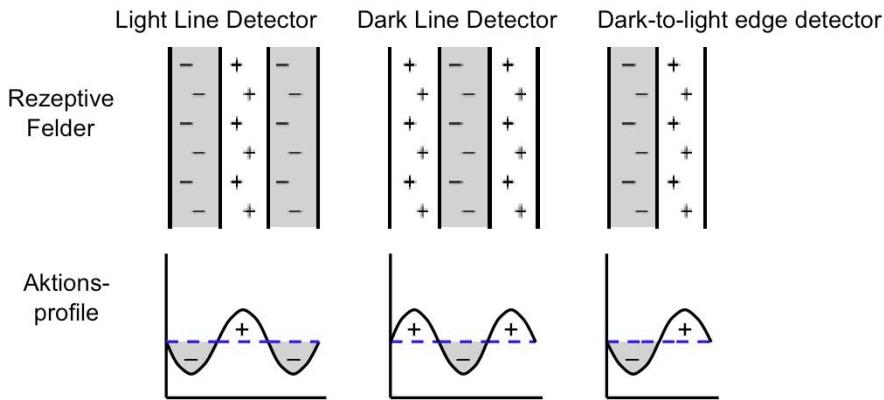


Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 43

- Abbildung nach:  
Churchland, Patricia & Sejnowski, Terrence J. (1992). *The Computational Brain*. Cambridge, MA: MIT Press. p. 54.  
bzw. Palmer 1999, p. 148
- Die Abbildung zeigt (in den beiden Spalten) das Verhalten zweier Zelltypen:
  - Zeile 1 (Stimulus): Hier ist die zeitliche Kennlinie der Beleuchtungsvarianten dargestellt.
  - Zeile 2 (*center*): Der eine Zelltyp zeigt Aktivität (feuert) wenn das Zentrum beleuchtet wird, der andere ist inaktiv.
  - Zeile 3 (*surround*): Der eine Zelltyp zeigt keine Aktivität in der surround-Bedingung, der andere ist aktiv.
  - Zeile 4 (*center & surround*): Auch in dieser Bedingung unterschiedliches Verhalten der beiden Zelltypen.
- Die Verhaltensmuster der beiden Zelltypen rechtfertigen die Bezeichnungen on-center bzw. off-center Zellen.
- Dargestellt sind in der Abbildung die Zeitmuster (*pattern*) der Aktivierungen der Zellen. Diese Aktivitäten werden häufig als *feuern der Neuronen* bezeichnet; die einzelnen Impulse heißen *spikes*.

## Linien- und Kantendetektoren im visuellen Cortex

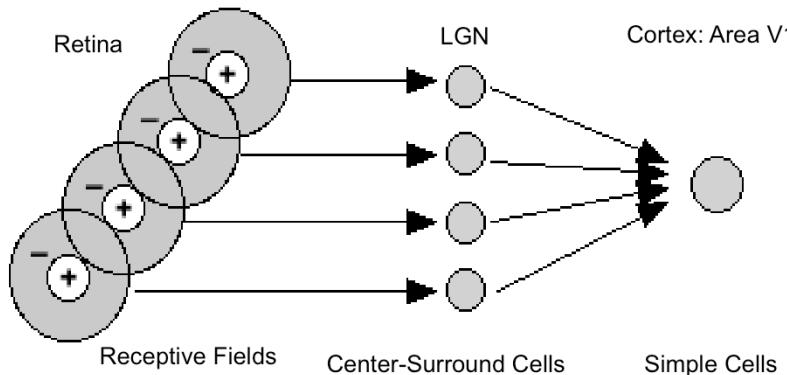


- Spezifische Zellen in der Area V1, die auf Linien bzw. Kanten reagieren.
- „Visuelle Atome“ für die weitere visuelle Perzeption

- Abbildung nach:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 152.
- Das in den Folien 3-41 & 3-42 dargestellte Konzept des ‚rezeptiven Feldes‘ von Ganglienzellen kann auch auf Zellen des CGL und des visuellen Cortex angewendet werden: Das rezeptive Feld einer derartigen Zelle ist die Menge der sie – indirekt – anregenden Rezeptorzellen.
- Von besonderer Bedeutung sind hierbei u.a. solche Zellen, die auf Linien bzw. Kanten „reagieren“. (Vgl. Hu89 p.79 ff.)
- Die Abbildung zeigt (analog zu on-center und off-center Zellen) die Reaktionsprofile von sogenannten Linien- und Kantendetektoren.
  - Linie ≈ beleuchtete lineare Region zwischen nicht-beleuchteten Regionen, bzw. nicht-beleuchtete lineare Region zwischen beleuchteten Regionen
  - Kante ≈ lineares Aneinandergrenzen von beleuchteter und nicht-beleuchteten Regionen
- Die Erkennung von Linien und Kanten ist die Grundlage für alle weiteren Perzeptionsschritte (**auch in der maschinellen Bildverarbeitung**).

**ACHTUNG.** Wenn hier von Regionen gesprochen wurde, ist dies unsere Interpretation als Beobachter des Systemverhaltens. Das neuronale System muss erst Linien und Kanten „erkennen“, bevor es Regionen „errechnet“.

## Neuronale Verschaltung von ‚Einfachen Zellen‘ der Area V1



- Kanten- und Liniendetektion basiert auf der Verschaltung von LGN-Zellen, deren rezeptive Felder aligniert sind.

- Abbildung nach:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 152.
- Die Abbildung veranschaulicht, wie eine Liniendetektion durchgeführt werden kann.
  - Beteiligt sind Center-Surround Zellen des CGL (=LGN).
  - Wenn die Zentren der rezeptiven Felder linear angeordnet sind, so ist die gleichzeitige Aktivierung der LGN-Zellen, ein Indiz dafür, dass eine Linie vorliegt. Kanten- und Eckendetektoren sind aufgrund ihrer Verschaltung richtungssensitiv (Richtung der Zentren der beteiligten rezeptiven Felder).
  - Aufgrund der hohen Verschaltungsdichte / des hohen Überlappungsgrades der rezeptiven Felder können Rezeptoren Information an eine grosse Zahl von Zellen im LGN weitergeben.
- Diese Zellen werden als **einfache Zellen** bezeichnet. (Einfach im Vergleich zu anderen Verschaltungen innerhalb des visuellen Cortex).
- Für die Entdeckung der hier erläuterten Leistungen des visuellen Systems haben David Hubel & Torsten Wiesel 1981 den Nobelpreis für Medizin erhalten.

## Computationelle Modelle der Kantenerkennung

- Kantenerkennung in der natürlichen Perzeption
  - Vorbereitung durch Ganglienzenlen und Zellen im LGN, die Kontrastinformation verrechnen. (Center-Surround-Zellen)
  - Eigentliche Kanten- und Linienerkennung in V1 („Einfache Zellen“)
  - Zusätzlich in V1 Zellen für die Erkennung von sich bewegenden Linien.
- Computationelle Modelle
  - mathematische Methoden zur Berechnung von Kontrastinformation und zur Kantenerkennung. Realisierbar
    - durch Differenzen- und Differentialgleichungen
    - durch neuronale Netze

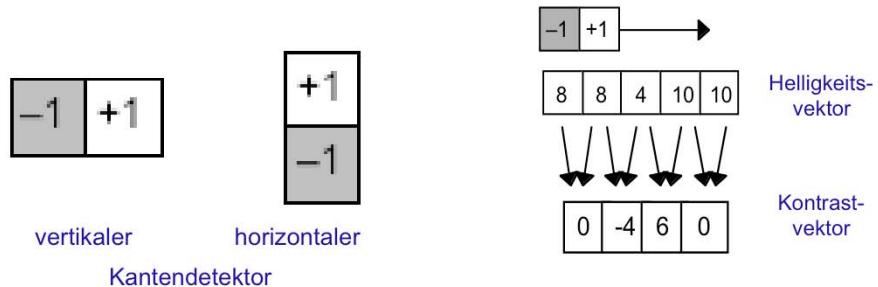
Kantenerkennung in der natürlichen Perzeption: In den Folien 3-43 bis 3-45 wurden die wichtigsten neuronalen Phasen der Kantenerkennung erläutert.

Im folgenden werden Computationelle Modelle für derartige Berechnungen / perzeptive Leistungen vorgestellt.

Die hier angesprochenen, sehr basalen Modelle/Verfahren erläutern die grundlegenden Prinzipien der algorithmischen / maschinellen Bildverarbeitung. Für effiziente und insbesondere leistungsfähige Bildanalyse werden bedeutend komplexere Berechnungsverfahren eingesetzt, die jedoch auf den hier vorgestellten Basisprinzipien aufbauen.

## Kantendetektion mit lokalen Operatoren (1)

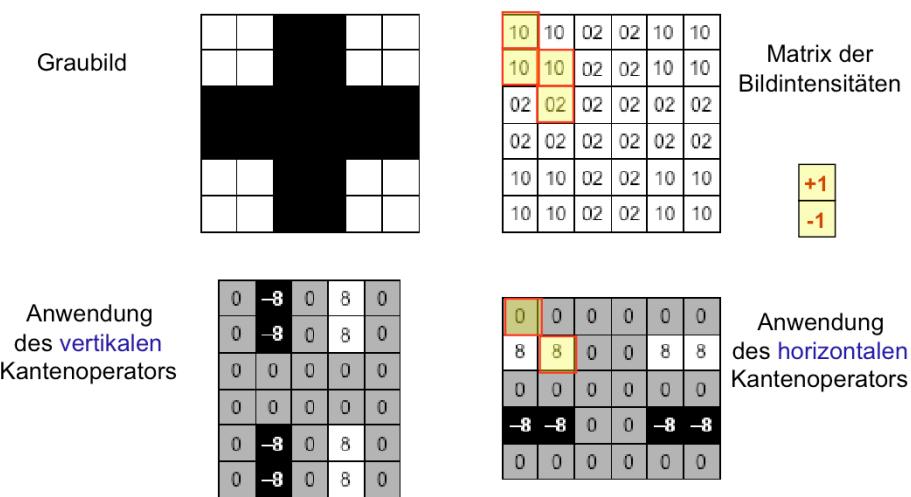
- „Kantenoperatoren“: Lokalisierung von Kontrastkonstellationen
  - Anwendung von lokalen Operatoren auf Pixel-Konstellationen (Matrizen)
  - Kantenoperatoren werden auf jedes Paar von Pixeln angewandt, das die für den Operator spezifische Gestalt hat.
  - Anwendung der Kantenoperatoren ist eine Faltung.



Die Prinzipien der Kantendetektion, die zu Beginn dieser Vorlesung (Folien „Kantendetektion“ und folgende) vorgestellt werden, können durch lokale Operatoren (Differenzenberechnungen) in Matrizen modelliert werden.

- Bilder werden als Pixel-Konstellationen angesehen, die als ganzzahlige Matrizen repräsentiert werden. Helle Felder werden hier durch grössere Zahlen als dunkle Felder dargestellt (z.B. 0=schwarz, 10 = weiss). Die Zeile 8,8,4,10,10 ist ein horizontaler Schnitt durch eine Pixel-Matrix.
- Lokale Operatoren sind Berechnungsvorschriften, die aus den Werten gewisser benachbarter Matrix-Felder einen Ergebniswert berechnen, der z.B. als Kontrastvektor interpretierbar ist.
  - Der vertikale Kantendetektor  $[-1, +1]$  führt zur Berechnung des skalaren Produkts von  $[-1, +1]$  und jeweils zwei horizontal benachbarten Feldern der Pixel-Matrix.
  - Ein Berechnungsschritt, d.h. die Anwendung des lokalen Operators auf das gesamte Bild, kann als sequentielle Bearbeitung aller Konstellationen von jeweils zwei horizontal benachbarten Feldern angesehen werden (rechte Abb.)
  - Da eine Zeile der Länge 5 vier Paare horizontal benachbarter Felder enthält, ist das Resultat ein Vektor der Länge 4.
- Kantenoperatoren sind die diskrete (hier ganzzahlige) Entsprechung, zu kontinuierlichen Operatoren, die in der Analysis als „Faltungen“ bezeichnet werden.

## Kantendetektion mit lokalen Operatoren (2)

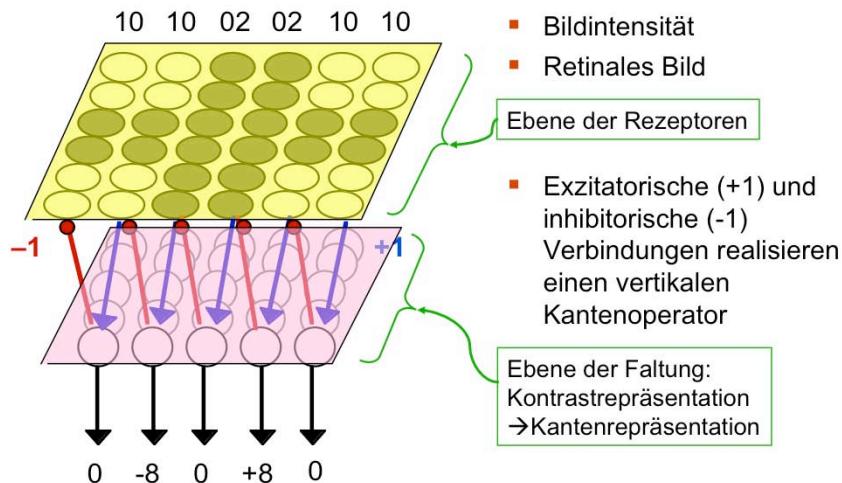


Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 48

- Abb. oben links zeigt ein  $6 \times 6$  Graubild. Die beiden Grauwerte werden numerisch durch 10 = weiss bzw. 02 = schwarz repräsentiert.
- Die Anwendung des vertikalen Kantenoperators (KO) besteht darin, für alle Paare horizontal benachbarter Zellen ein Resultat zu berechnen (Gesamtresultat Abb. Unten links); entsprechend wird der horizontale Kantenoperator auf alle Paare vertikal benachbarter Zellen angewendet (Resultat Abb. Unten rechts).
  - Das Resultat zeigt Helligkeitswechsel (Kontrast)
  - Der vertikale Kantenoperator berechnet vier vertikale Bereiche von Helligkeitswechsel, der horizontale KO. entsprechend vier horizontale Bereiche. (Deswegen die Charakterisierung als vertikaler bzw. horizontaler KO)
  - Der Übergang von Hell auf Dunkel und der Übergang von Dunkel zu Hell werden unterschiedlich repräsentiert ( $-8$  vs.  $+8$ ). Übergang betrifft die Sichtweise des „Schiebens“ eines Kantenoperators über die Pixel-Matrix.  
Vertikale K.O. können in zwei Varianten,  $[-1, +1]$  und  $[+1, -1]$ , auftreten, die sich unterscheiden sich nur unwesentlich (Nachrechnen!; Beachte: Ziel ist es, Kanten zu finden.)
  - Vgl. hierzu auch:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 173f.

## Kantendetektion mit einem Neuronalen Netzwerk



Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 49

- Das hier abgebildete neuronale Netzwerk realisiert einen vertikalen Kantenoperator in einer parallelverarbeitenden Architektur.
  - Ebene 1 repräsentiert die Bildintensität
  - Ebene 2 das Resultat der Faltungsoperation.
- Abbildung nach:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 174.

## Second-order Edge Operators

- Operatoren zweiter Stufe berücksichtigen Nachbarschaften zu mehreren Zellen.
- Hierdurch können Differenzen von Differenzen berücksichtigt werden.
- Summe aller Zellen eines Kantendetektors ist NULL.

|    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|
| 10 | 10 | 02 | 02 | 10 | 10 |
| 10 | 10 | 02 | 02 | 10 | 10 |
| 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 |
| 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 |
| 10 | 10 | 02 | 02 | 10 | 10 |
| 10 | 10 | 02 | 02 | 10 | 10 |

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | +2 | -1 |
|----|----|----|

vertikal

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | +8 | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

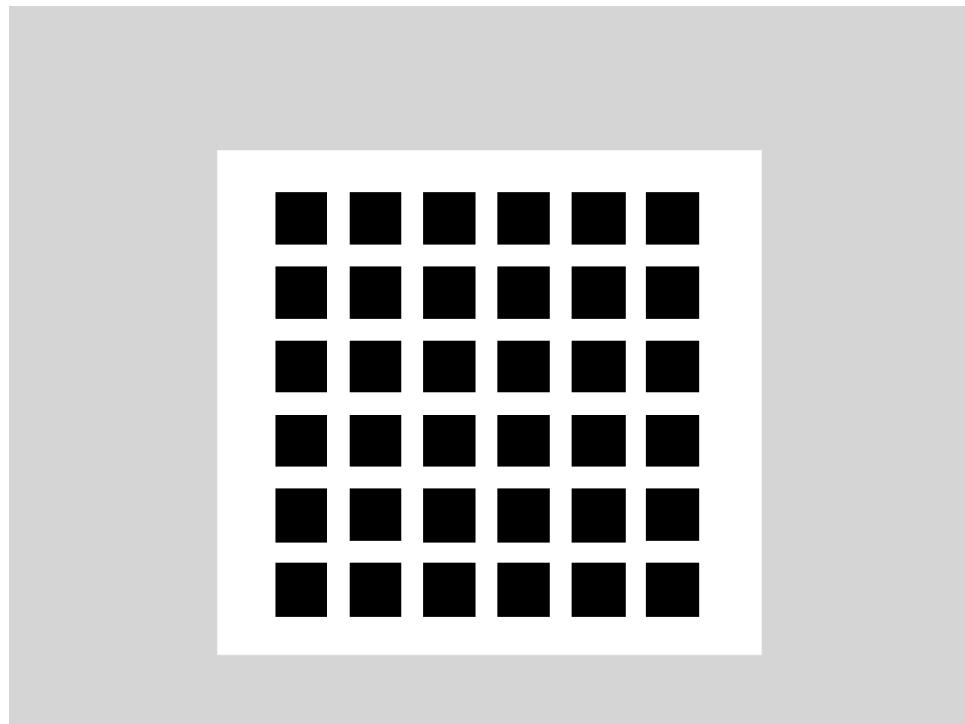
omnidirektional

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 40  | -16 | -16 | 40  |
| -16 | -8  | -8  | -16 |
| -16 | -8  | -8  | -16 |
| 40  | -16 | -16 | 40  |

Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

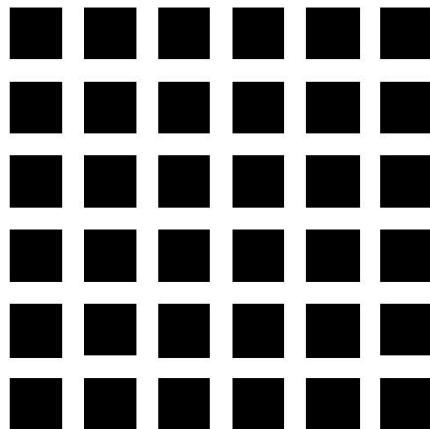
3 – 50

- Im Gegensatz zu den Operatoren der ersten Stufe, berücksichtigen Operatoren der zweiten Stufe grössere Konstellationen:
  - Während bei Operatoren der ersten Stufe keine der beiden Zellen, auf die der Operator angewendet wird, ausgezeichnet ist, ist bei Operatoren der zweiten Stufe eine Zelle fokussiert.
    - Alle anderen Zellen, die berücksichtigt werden, sind benachbarte Zellen.
    - Die Summe eines Operators ist NULL. Die fokussierte Zelle wird mit den anderen Zellen verglichen; sie erhält grösseres Gewicht (vgl. den omnidirektionalen Kantendetektor).
  - Operatoren der zweiten Stufe berechnen Differenzen von Differenzen (daher die Bezeichnung: „zweite Stufe“).
- Die rechte Seite zeigt die Anwendung des omnidirektionalen Kantendetektors auf das schon verwendete Graubild (Kreuz). Das Resultat (Kontrastanalyse) zeigt für das Innere des Kreuzungsbereichs einen geringeren Kontrast als zwischen den weissen Quadranten und den trennenden Kreuzungsteilen. Diese Kontrastberechnung ist am Entstehen der Herrmann-Gitter-Illusion beteiligt (nächste Folie) [Vertauschung von Hell und Dunkel berücksichtigen!]



- Obwohl die weissen Bereiche in der Abbildung alle die gleiche objektive Helligkeit aufweisen, gibt es die Bereiche im Zentrum zwischen vier Quadranten, die als dunkler (grauer) als die anderen nicht-schwarzen Bereiche wahrgenommen werden.
- Diese Illusion kann als ein Resultat der Verfahren der Kantendetektion erklärt werden.
- Siehe hierzu: Kantendetektion (Folie 3-50)

## Kontur- und Kontrastillusionen (1)



### ▪ Herrmann-Gitter Illusion:

- Welche Prozesse produzieren den Eindruck von „grauen Flecken“ im Kreuzungsbereich?
- Warum gelingt keine Unterdrückung dieses Eindrucks?

- Obwohl die weissen Bereiche in der Abbildung alle die gleiche objektive Helligkeit aufweisen, gibt es die Bereiche im Zentrum zwischen vier Quadranten, die als dunkler (grauer) als die anderen nicht-schwarzen Bereiche wahrgenommen werden.
- Diese Illusion kann als ein Resultat der Verfahren der Kantendetektion erklärt werden. Mit anderen Worten: die Illusion ist ein („unbedeutender“) Nebeneffekt eines für verschiedene Aufgaben optimierten Systems.
- *Illusionen zu simulieren* kann nützlich sein, weil hierbei Einsichten in die Architektur eines evolutionär erprobten Systems (hier des menschlichen Systems der visuellen Wahrnehmung) gewonnen werden können.

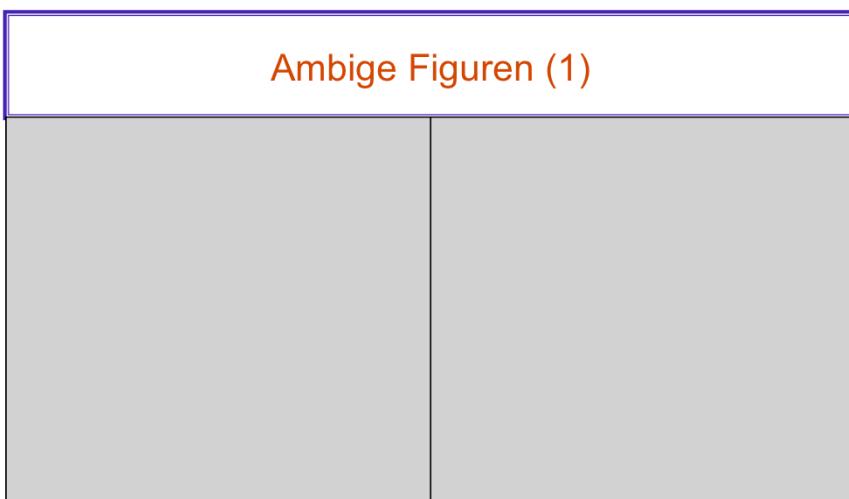
## Methodische Zwischenbemerkung

Zur Erinnerung

- Wahrnehmungsforschung / Kognitionsforschung findet statt im Zusammenspiel von
  - Empirie, insbesondere experimenteller Forschung, und
  - formaler, mathematischer Theoriebildung / Modellierung
- Problemfälle – wie **visuelle Illusionen** und ähnliches – sind
  - „Prüfsteine“, an denen Konzeptionen beurteilt werden können
  - Illusionen: Defizit oder Nebenprodukt?

- Allgemeine Bemerkung zu visuellen Illusionen, ambigen Figuren etc. (Darstellungen bekannter / wichtiger Illusionen in den folgenden Folien):
  - Die Untersuchung von Verarbeitungsproblemen und Fehlverarbeitung gibt Aufschluss über die Verarbeitung (und die Repräsentationen) im Standardfall. (Illusionen sind meist Leistungen der menschlichen Kognition und Wahrnehmung, die wir nicht beeinflussen können. D.h. insbesondere, dass eventuell Wahrnehmungseffekte bei der Betrachtung von Visualisierungen entstehen, die die Designer/Entwickler der Visualisierung nicht beabsichtigt haben.)
  - Wissenschaftliche Theorien (Modelle) der Kognition sollen nicht nur kognitive Leistung "reproduzieren", sondern *erklären* wie derartige Leistungen erbracht werden. Das beinhaltet auch, zu erklären, wie und warum Verarbeitungsprobleme entstehen und gegebenenfalls Verarbeitungsfehler stattfinden.

## Ambige Figuren (1)



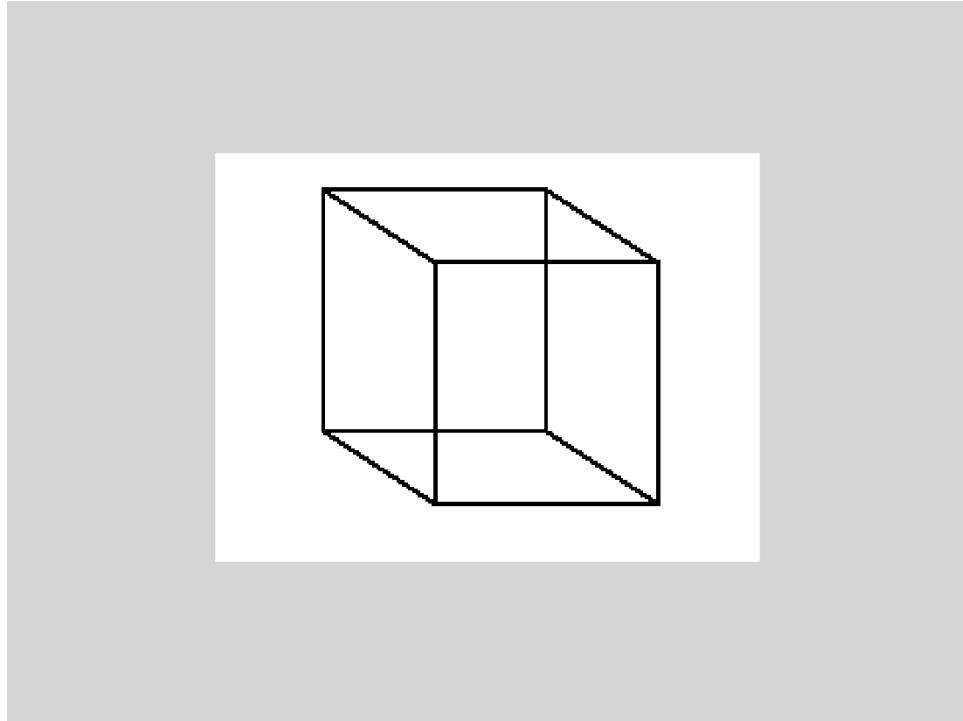
- Dynamische Version der folgenden Folie.
- Die hier aufgeführten Figuren besitzen jeweils zumindest zwei Interpretationen (siehe nächste Folie)

## Ambige Figuren (1)



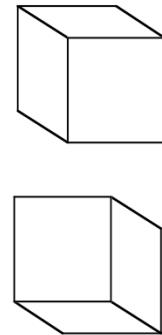
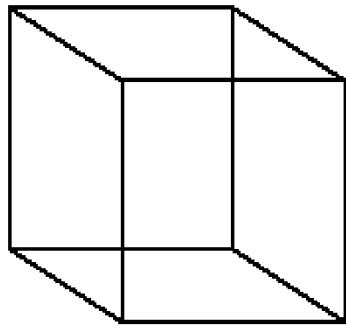
- Was veranlasst die Betrachter, diese Figuren als mehrdeutig zu empfinden?
- Warum kippt die Interpretation?

- Die hier aufgeführten Figuren besitzen jeweils zumindest zwei Interpretationen:
  - Links: Junge Frau mit Hut schräg von hinten – Alte Frau im Profil mit Kopftuch
  - Rechts: Ratte – Kahlköpfiger Mann mit Brille
- Betrachter, die diese Abbildungen zu interpretieren versuchen, „erkennen plötzlich“ die zweite Interpretationsmöglichkeit. Hinweise auf das was abgebildet ist, kann dabei die Erkennungszeit erheblich reduzieren.



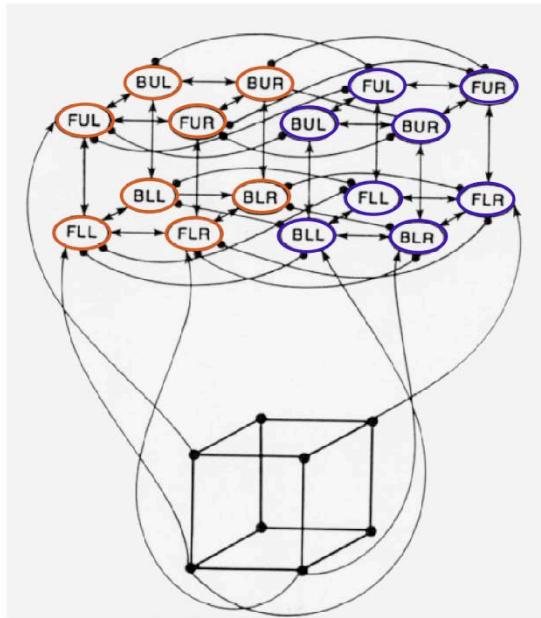
- Bei der Betrachtung des Necker-Würfels erfolgt die Uminterpretation, d.h. der Wechsel zwischen den beiden – auf der rechten Seite der Folie dargestellten – Sichtweisen (Perspektive: von unten vs. von oben) automatisch, d.h. unabhängig von der bewussten Kontrolle durch den Betrachter.  
Die Frequenz des Wechsels zwischen den beiden Ansichten / Interpretationen ist ca. 4 – 5 Sekunden.

## Ambige Figuren (2): Der Necker Würfel



- Was verursacht das regelmässige Umkippen in der Interpretation des Würfels?

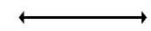
- Bei der Betrachtung des Necker-Würfels erfolgt die Uminterpretation, d.h. der Wechsel zwischen den beiden – auf der rechten Seite der Folie dargestellten – Sichtweisen (Perspektive: von unten vs. von oben) automatisch, d.h. unabhängig von der bewussten Kontrolle durch den Betrachter.  
Die Frequenz des Wechsels zwischen den beiden Ansichten / Interpretationen ist ca. 4 – 5 Sekunden.



### Connectionist network model

FLL ≈ front lower-left  
 BUR ≈ back upper-right  
 Stabile Zustände entsprechen Interpretationen

excitatory connections

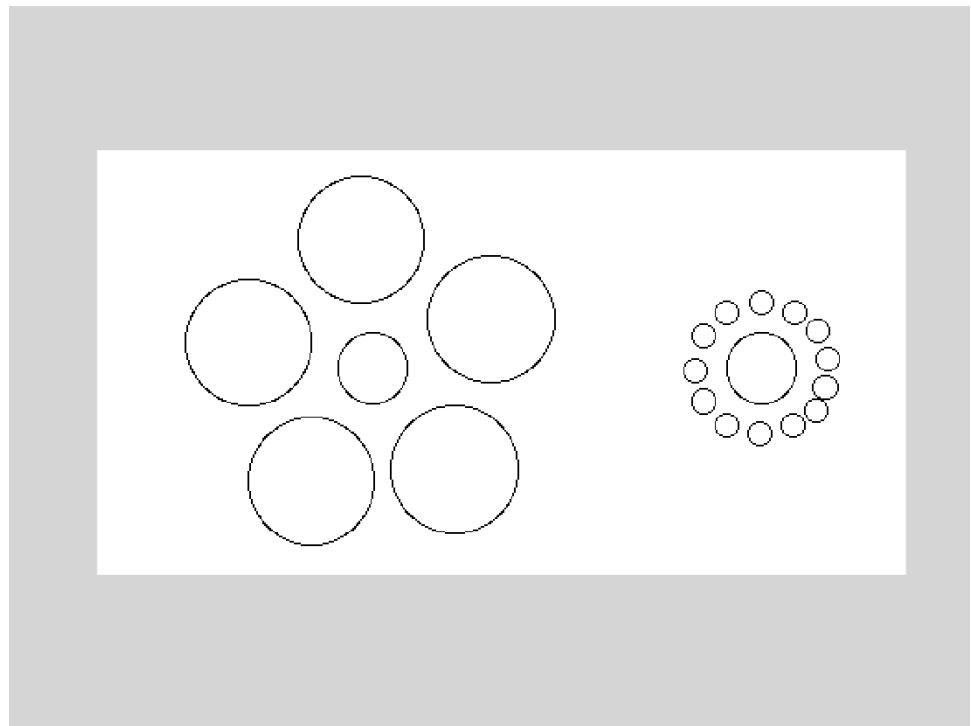


inhibitory connection

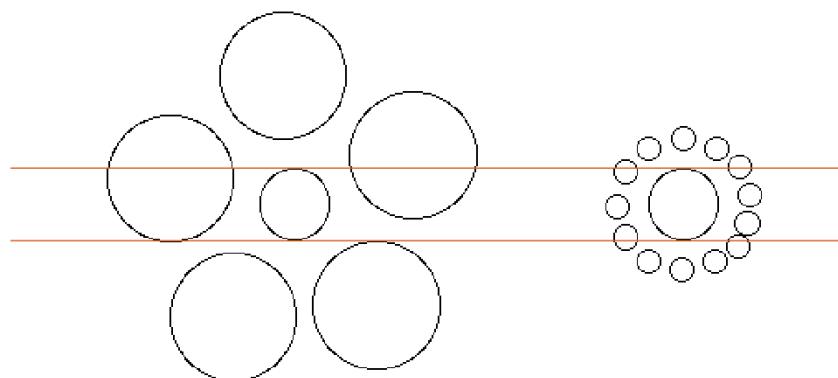


- Die beiden Systeme stabiler Zustände konfigurieren wechselseitig
- Interpretationswechsel

Rumelhart, D.; Smolensky, P.; McClelland, J. & Hinton, G. (1986). Schemata and sequential thought processes in PDP models. In J. McClelland, D. Rumelhart & PDP Research Group (eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the microstructure of cognition, vol 2.* (pp. 5–67). Cambridge, MA: MIT-Press.

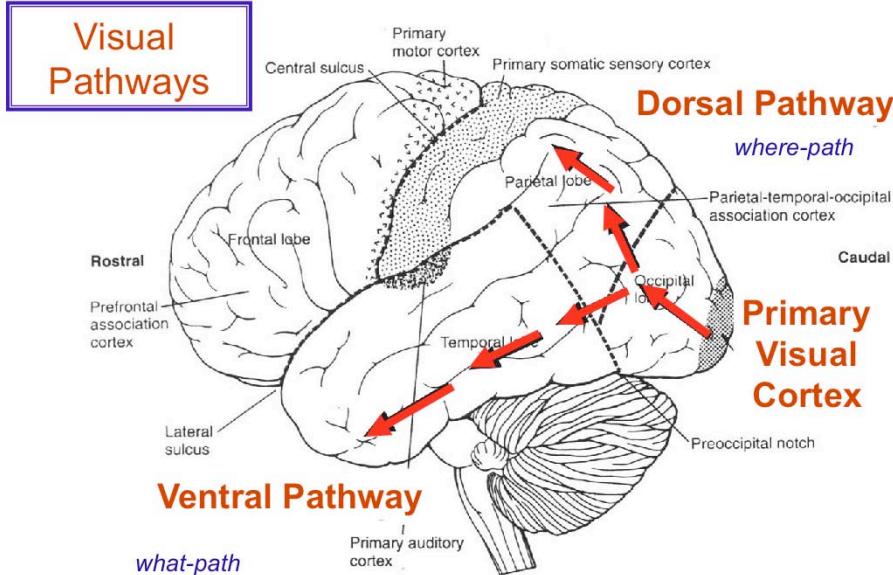


## Ebbinghaus Illusion

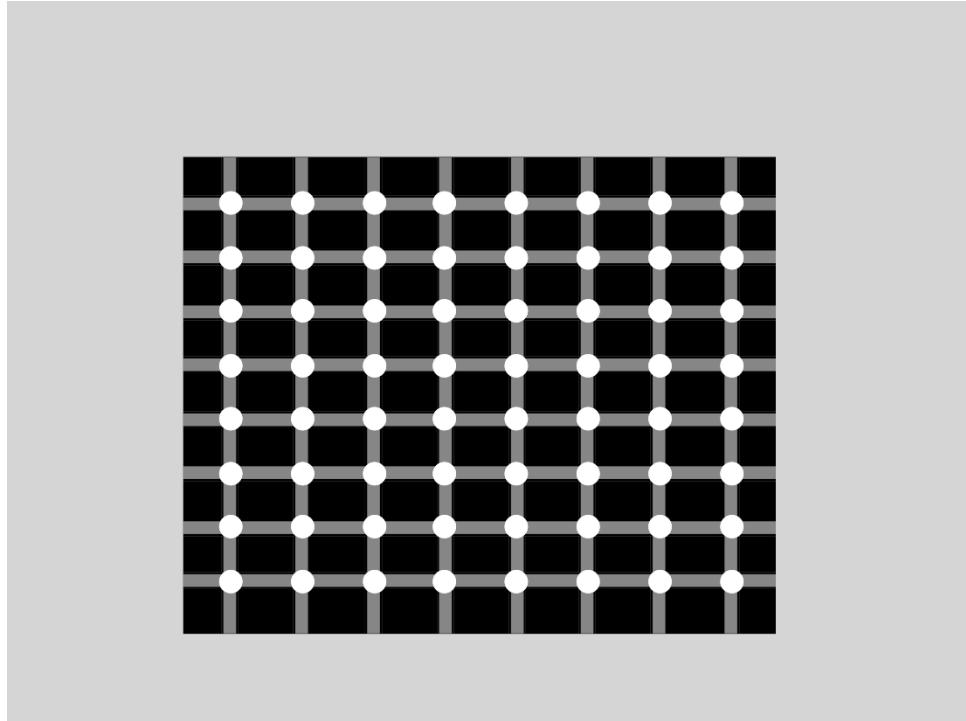


- Welche Prozesse verursachen die Fehleinschätzung im Hinblick auf die Grösse des jeweils inneren Kreises?

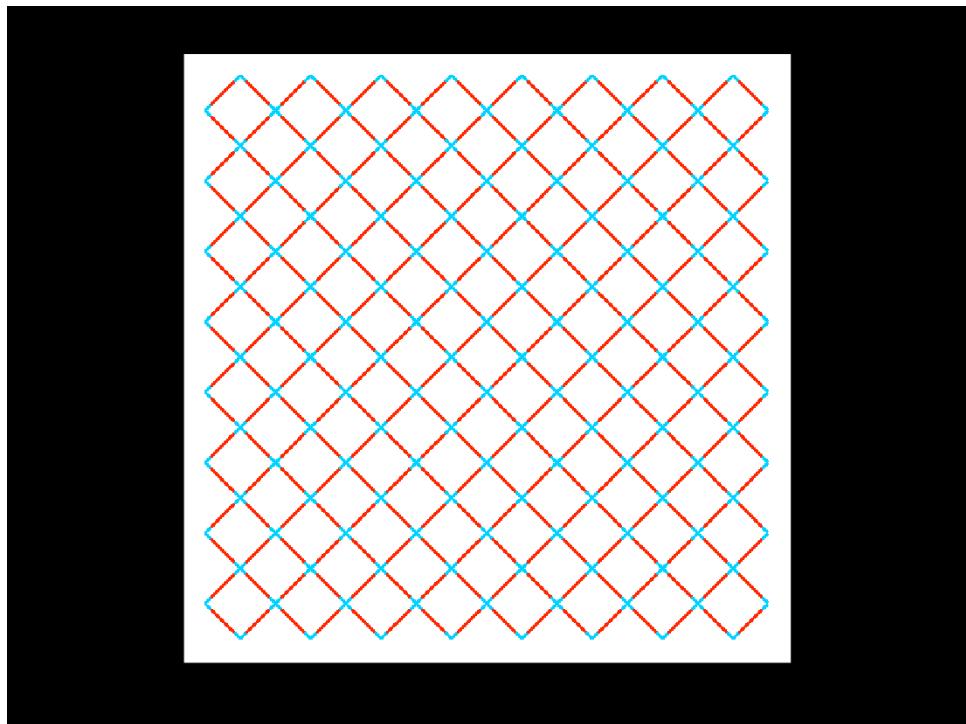
- Die beiden jeweils inneren Kreise sind gleich gross! Trotzdem wird der innere Kreis in der rechten Figur als der grössere angesehen.  
Alternative Stimuli: Der innere Kreis der linken Figur wird so vergrössert, dass er genauso gross erscheint, wie der innere Kreis in der rechten Figur
- Goodale (siehe auch G&H, 98) hat die Aufgabe variiert: Als Stimuli wurden dünne Scheiben verwendet, und die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin – (je nach Instruktion) – „die grössere / die kleinere der inneren Scheiben“ zu greifen.
  - Die „Greifmotorik“ der Hand wurde über eine spezifische Messeinrichtung gemessen.
  - Resultat: Die Entscheidung welche Scheibe gegriffen wurde, erfolgte entsprechend der üblichen Wahrnehmungstäuschung. Die Greifmotorik wurde jedoch von dieser Täuschung nicht beeinflusst. („Greifvorbereitung“ war abhängig von der realen Grösse, nicht von der wahrgenommenen Grösse).
- Interpretation: Die Ebbinghaus-Täuschung erfolgt auf dem ventralen Verarbeitungspfad. (vgl. Folie 3-61 „Visual Pathways“)
- Literatur:  
Goodale, Melvyn A.(1995). The cortical organization of perception and visuomotor control. In Kosslyn, Stephen M. & Osherson, Daniel N. (eds). *An invitation to cognitive science. Visual cognition*. Vol. 2. (pp. 167–213) Cambridge, MA: Bradford, MIT-Press.  
Goodale, Melvyn A. & Humphrey, G. Keith (1998). The objects of actions and perception. *Cognition*, 67. 181–207.



- Bearbeitung einer Abbildung aus:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 26. [abgek.: P99]
- Anschliessend an die Verarbeitung im visuellen Kortex spaltet sich die visuelle Perzeption/Kognition in zwei Pfade auf, die aufgrund ihrer Lage als *dorsaler Pfad* und als *ventraler Pfad* bezeichnet werden.
  - Der dorsale Pfad führt in den Bereich des somato-sensorischen Kortex, in dem auch die taktilen / haptischen Wahrnehmungen verarbeitet werden.
  - Der ventrale Pfad führt in den Temporallappen, in dem auch Teile der „begrifflichen Verarbeitung“ durchgeführt werden.
- Aufbauend auf Arbeiten von Ungerleider & Mishkin (1982) werden die beiden Pfade häufig als where-path und what-path bezeichnet. Der dorsale where-path ist dieser Konzeption nach für die Lokalisierung von Objekten, der ventrale what-path für die Identifizierung von Objekten zuständig. (Vgl. P99, p.38f)
- Eine alternative Interpretation der beiden Verarbeitungspfade findet sich bei Goodale.  
Goodale, Melvyn A. (1995). The cortical organization of perception and visuomotor control. In Kosslyn, Stephen M. & Osherson, Daniel N. (eds). *An invitation to cognitive science. Visual cognition*. Vol. 2. (pp. 167–213) Cambridge, MA: Bradford, MIT-Press.



- Diese Folie ist STATISCH, die dynamische Erscheinung ist eine „Illusion“.



## Farbillusionen

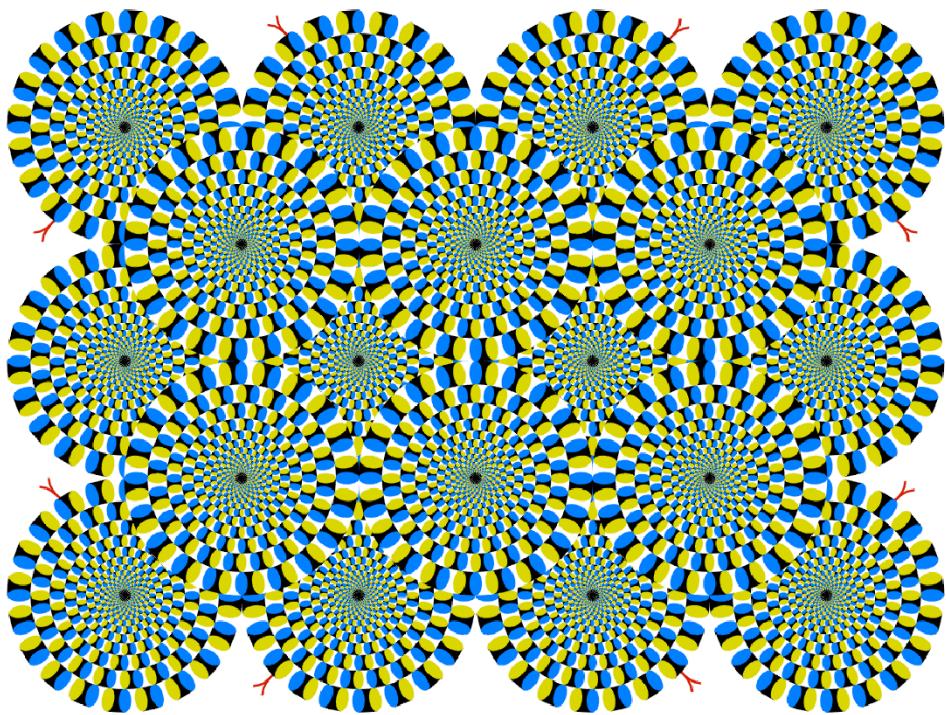
Pincusion grid illusion of neon color spreading

- Illusory light-blue lines appear to run vertically or horizontally over the homogeneously white background.  
This phenomenon is closely related to "Spinnwebfäden" or "colored street."

Copyright Akiyoshi Kitaoka 2001

<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/neonpin-e.html>

Kitaoka, A. (2001). Illusion designology (7): Illusory light perception that cannot be explained by the Fourier analysis. *Nikkei Science*, 31(8), 66-68 (in Japanese).



- **Bewegungsillusionen:** Peripheral drift illusion

### Rotating snakes

Copyright A.Kitaoka 2004

Kitaoka, A. and Ashida, H. (2003) Phenomenal characteristics of the peripheral drift illusion. VISION, 15, 261-262.

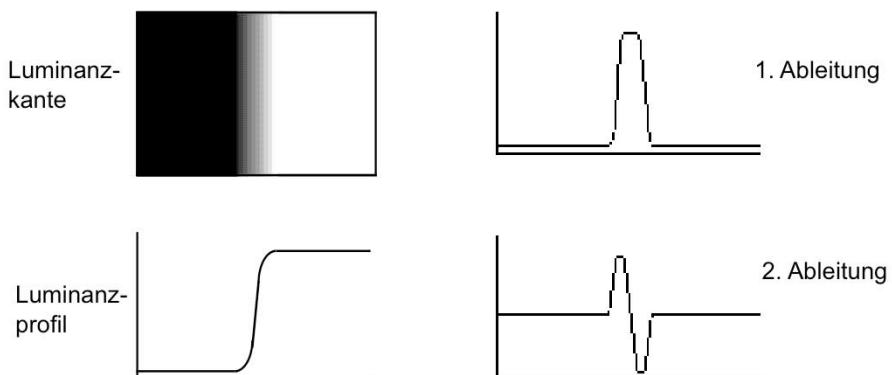
<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/neonpin-e.html>

## Chevreul Streifen



- Alle Streifen besitzen konstante / homogene Einfärbung.
- Bei Chevreul Streifen entsteht der Eindruck, dass die Farbintensität am Übergang zu einer helleren Fläche dunkler ist, und an einem Übergang zu einer dunklen Fläche heller ist.
- Chevreul, ein französischer Chemiker untersuchte diesen Effekt, nachdem er Beschwerden über die Farbqualität von Textilfarben, die in der Gobelinvweberei verwendet wurden, nachzugehen hatte (1824). Er konnte zeigen, dass in einigen Fällen nicht die Qualität der Farben sondern die Beschaffenheit des Designs (Streifen) für den Eindruck von Farbveränderung verantwortlich waren. Die Veröffentlichung dieser Untersuchungen im Jahr 1839 war eine der ersten Publikationen zu visuellen Illusionen.
- Entsprechende Fehlwahrnehmungen können leicht beim Design von Bildschirmseiten auftreten.

## Luminanzkanten & Luminanzprofile



- Berechnung des Nulldurchgangs der 2. Ableitung (zero crossing) ist das differential-analytische Analogon zur Anwendung von Kantenoperatoren.

- Die Abbildung Links-Oben zeigt eine *Luminanzkante*, bei der ein kontinuierlicher Übergang zwischen dunkel und hell stattfindet.
- Das *Luminanzprofil* Abbildung Links-Unten zeigt den Übergang als stetige Funktion des Helligkeitswertes.
- Entsprechend zu den diskreten Kantendetektoren / Kontrastoperatoren ( $\approx$  Kantendetektoren) haben Marr & Hildreth (1980) kontinuierliche Operatoren vorgeschlagen, nämlich erste und zweite Ableitung der Luminanzprofilfunktion.
  - Siehe hierzu:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 175f.
  - Marr, David (1982). *Vision*. New York: W.H. Freeman.
- Das von Marr & Hildreth vorgeschlagene Verfahren spiegelt „neuronale Verschaltungen“ wider, die für die Erklärung von sogenannten „Machschen Bändern“ angenommen werden (vgl. Palmer99, p. 106 ff).  
Machsches Band: Bei Übergängen der in der Abbildung Links-Oben dargestellten Art, entsteht häufig der Eindruck, dass – jeweils von kontinuierlichen Übergang aus betrachtet – der „dunkle Bereich“ mit einem besonders dunklen Streifen und der „helle Bereich“ mit einem besonders hellen Streifen beginnt.
- Machsche Bänder sind verwandt zu Chevreul-Streifen.

## Informatik im Kontext (IKON-1)

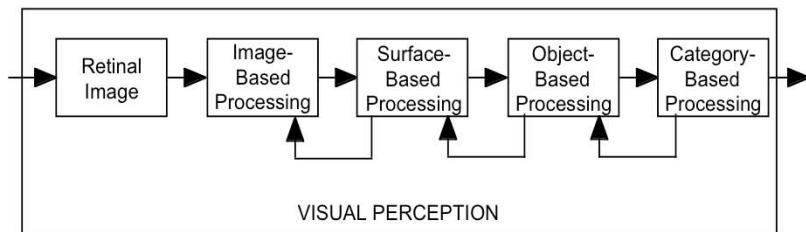
### Neurone und neuronale Systeme



### Wahrnehmung

- 3. Neurone und neuronale Systeme
  - Neuronale Systeme: Aufbau, Funktionsweise und Informationsfluss
    - Brain-Computer Interfaces
    - Natürliche Neurone & künstliche neuronale Netze
- 4. Wahrnehmung
  - Visuelle Wahrnehmung
    - Farbwahrnehmung, Gestaltprinzipien, Objekterkennung
  - Haptische Wahrnehmung

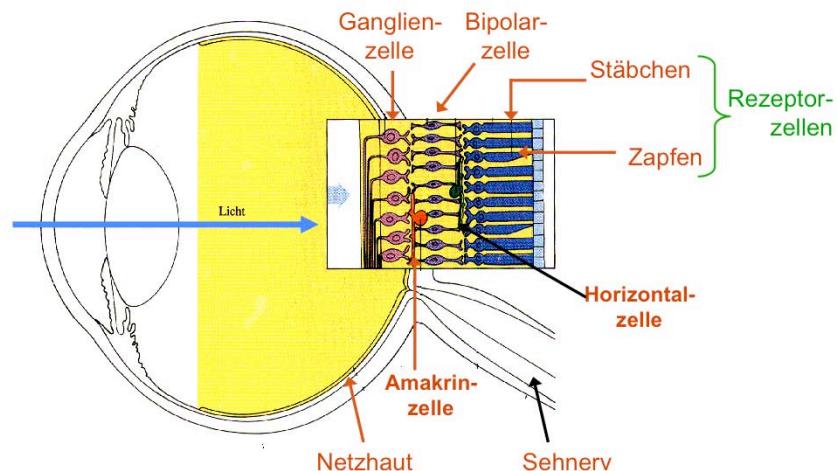
## Vier Stufen der visuellen Wahrnehmung



- Retinal image: 2-D Projektion der Umwelt
- Image based processing: Erkennen von Bildatomen, z.B. Kanten
- Surface based processing: 2-D-Primitive: Regionen,...
- Object based processing: 3-D-Primitive,
- Category based processing: Erkennen, Beziehung zum Wissen

- Im weiteren Verlauf Teilkapitels werden Verarbeitungsmechanismen und Repräsentationen der visuellen Wahrnehmung exemplarisch erläutert werden. Wir werden dabei – im Vorgehen – weitgehend dem Palmerschen 4-Stufen-Modell folgen.
- Die Darstellung folgt Palmers Abbildung (vgl. P99, p.85.)

## Das Auge



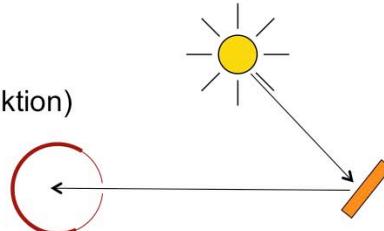
Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 69

- Literatur zum Auge:  
Hubel, David H. (1989). *Auge und Gehirn*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft - Verlagsgesellschaft. [Kapitel 3: p. 43–65]
- Abbildung aus:  
Hubel, David H. (1989). p. 46
- Die Retina (genauer: folgende Folie) empfängt Licht (d.h. Wellen einer gewissen Frequenz) und leitet hieraus resultierende Information in andere Teile des Gehirns weiter.
  - Die Retina ist eine dünne, mehrlagige Schicht spezifischer Zellen (vergrössert dargestellt im Ausschnitt)
  - Von den retinalen Zellen wird die Information über den Sehnerv aus dem Auge heraus geführt.
- Beachten Sie, dass das Licht andere Zellschichten durchläuft, bevor es auf die Rezeptorzellen, die Stäbchen und Zapfen fällt.

## Farbwahrnehmung

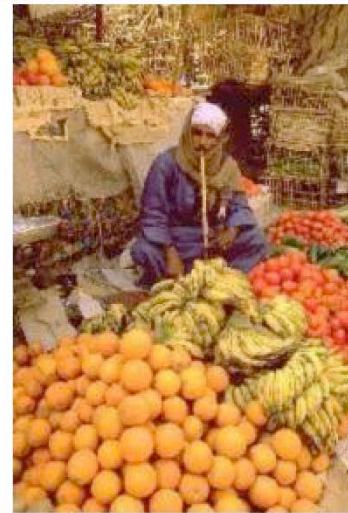
- Farbwahrnehmung
  - Farbe als Eigenschaft
  - einer Oberfläche (durch Reflektion)
  - Farbe (seltener) als eine Eigenschaft von Licht
- Physiologische Basis:
  - 3 Arten von Zapfen
- 3 Dimensionaler Farbraum
  - Farbton / Hue
  - Helligkeit / Lightness
  - Sättigung / Saturation



- Zur Farbwahrnehmung vgl.  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. Chapt. 3, p. 94–142.
- Farbe wird von uns überwiegend als eine Eigenschaft von Objekten wahrgenommen, weniger als eine Eigenschaft des Lichts. Wir sprechen davon, dass ein Objekt eine Farbe besitzt und gehen dabei weitgehend von der Konstanz dieser Farbzueweisung aus, obwohl – betrachtet aus einer objektiv physikalischen Sichtweise – die Lichtwellen, die von diesem Objekt ausgehen, in verschiedenen Situationen durchaus relevant unterschiedliche Eigenschaften (Wellenlänge) aufweisen (vgl. Folie „Psychophysik der Farbwahrnehmung“).
- Die physiologische Basis der Farbwahrnehmung sind drei Arten von Zapfen (vgl. Folie 3-17, wiederholt als 3-74, Rezeptorzellen)..
- In unserer Farbkognition (verstanden als Gegensatz zur Farbperzeption) ist der Farbraum in drei Dimensionen strukturiert (vgl. Folien „dreidimensionaler Farbraum“ und „Farbdoppelkonus“).

## Funktion der Farbwahrnehmung: Unterscheidbarkeit von Objekten

- Wie Normalsichtige die Welt sehen.
  - Welche Früchte sind im Angebot?
  - Wie viele Arten von Früchten sind im Angebot?



Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 71

- Abbildung: © Vischeck
- <http://www.vischeck.com/>

Vischeck (zwei Wissenschaftler der Stanford University) hat Software entwickelt,

- die Normalsichtigen ermöglicht, einen Eindruck der Farbwahrnehmung von „Farbenblinden“ zu erhalten, und somit zu erkennen, wenn eine Präsentation für Farbenblinde problematisch ist,  
sowie solche,
- die es ermöglicht farbige Bilder so zu transformieren, dass Visualisierungen / Bilder / Präsentationen auch für Farbenblinde farblich kodierte Unterscheidungen und Hervorhebungen erkennbar machen.
- .

## Funktion der Farbwahrnehmung: Unterscheidbarkeit von Objekten

- Was ein Schwarz-Weiss-Photo darstellt(e).
  - Welche Früchte sind im Angebot?
  - Wie viele Arten von Früchten sind im Angebot?

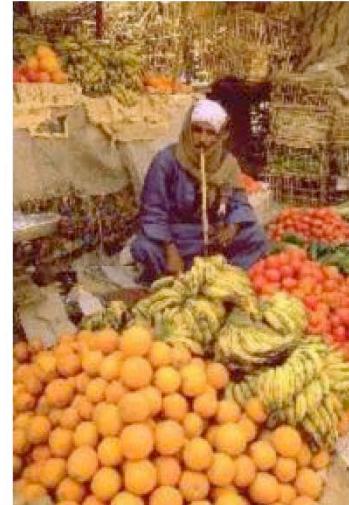


Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 72

- Hier als Gegenstück ein Beispiel der Schwarz-Weiss-Photographie / des Schwarz-Grau Drucks.  
Diese Techniken waren über lange Zeit die realitätsnächsten Darstellungstechniken für die Vermittlung von bildlich kodierten Inhalten.

## Unterscheidbarkeit von Objekten bei Farbschwäche



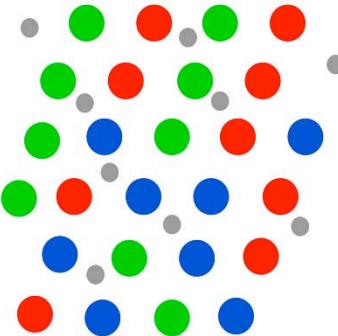
Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 73

- Abbildung: © Vischeck
- Abbildung links: rot-grün-Farbblindheit

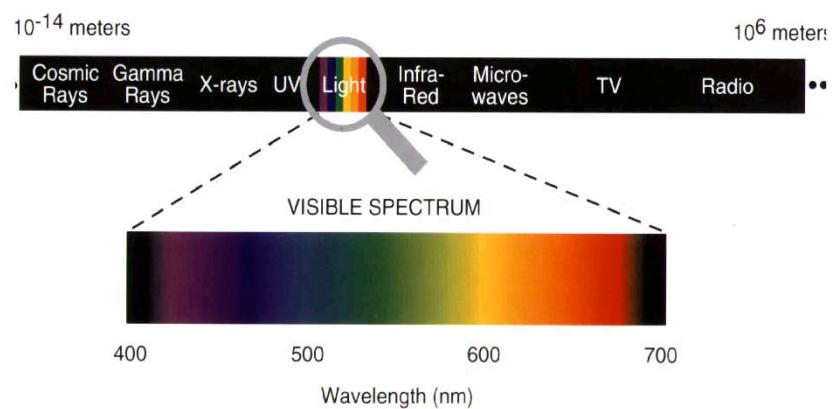
## Rezeptorzellen

- Rezeptorzellen
  - Zapfen (cone)
    - reagieren nur auf helles Licht, farbempfindlich (3 Typen: blau, grün, rot)
    - hohe Dichte im Zentrum, geringe Dichte in der Peripherie
    - zuständig für hohe Auflösung (Details)
  - Stäbchen (rod)
    - funktionieren nicht bei starkem Licht
    - nicht im Zentrum, hohe Dichte in der Peripherie
    - zuständig für Dämmerungssehen



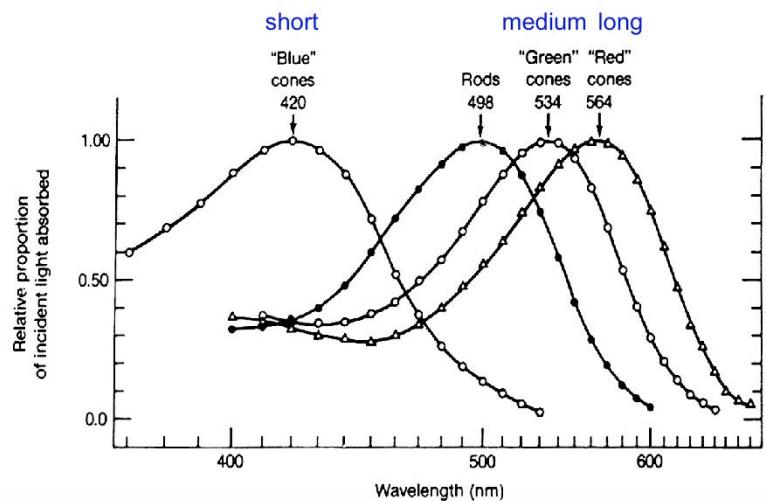
- Zwei Typen von Rezeptorzellen:
  - Zapfen, die für die Farbwahrnehmung grundlegend sind, und
  - Stäbchen, die eine weniger detaillierte aber auch unter spärlichen Lichtbedingungen robuste Wahrnehmung sicherstellen.
  - Die Stäbchen und Zapfen sind in der Retina nicht so symmetrisch / systematisch angeordnet, wie es in der Abbildung durchgeführt wurde.
- Das System der unterschiedlichen Rezeptorzellen ist ein Beispiel für das Prinzip der Spezialisierung im Bereich sensorischer Neurone.

## Farbspektrum



- Abbildung aus:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. Plate 3.1.

## Neural response curves



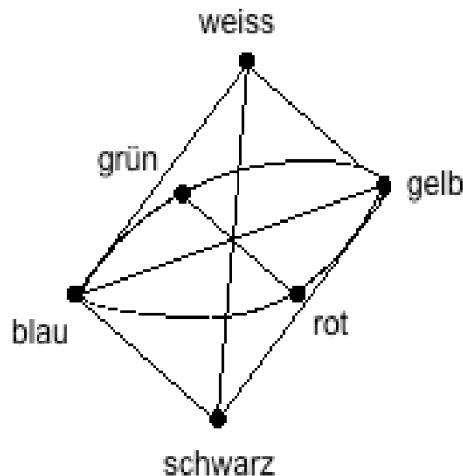
Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 76

- Abbildung aus  
Churchland, Patricia & Sejnowski, Terrence J. (1992). *The Computational Brain*. Cambridge, MA: MIT Press. (p. 222)
- Die drei Typen von Zapfen sind auf Licht unterschiedlicher Wellenlänge sensitiv. Die Abbildung zeigt die Sensitivität, d.h. das Reiz-Reaktions-Muster der drei Typen von Zapfen (cones), sowie der an der Farbwahrnehmung unbeteiligten Stäbchen (rods).
  - Wie sich zeigt, gibt es Überlappungsbereiche, d.h. Bereiche von Wellenlängen, auf die mehrere Typen von Zapfen reagieren.
- Die in der Abbildung dargestellte funktionale Beziehung des Reaktionsverhaltens der Zapfen von einem Parameter, nämlich dem der Wellenlänge, betrifft eine Dimension des dreidimensionalen Farbraums.

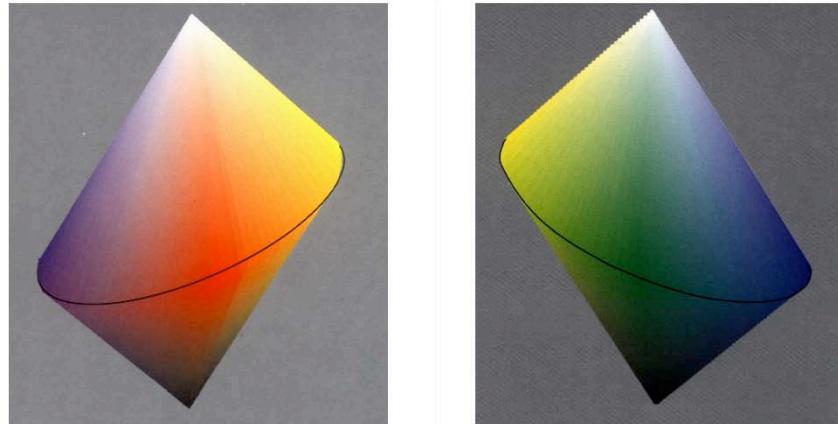
## Der dreidimensionale Farbraum

- Zwei lineare Dimensionen
  - Helligkeit  
*Lightness*
  - Sättigung  
*Saturation*
- Eine zyklische Dimension
  - Farbton  
*Hue*



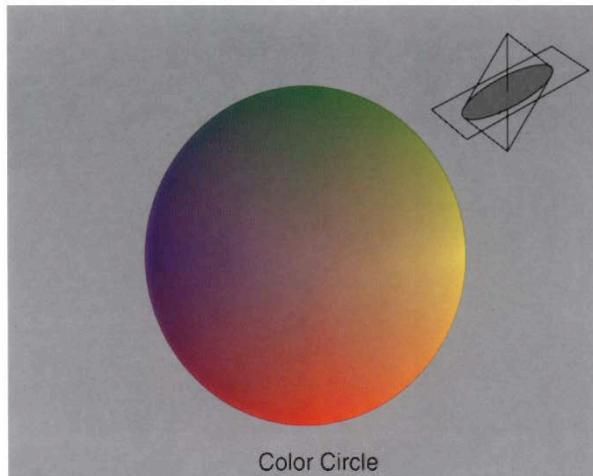
- Die Dimension des Farbtons, die durch die Wellenlänge induziert wird, ist zyklisch (vgl. Folie „Farbspektrum“). Die Farbtöne am unteren Teil und am oberen Teil des sichtbaren Bereichs des Lichts, werden von uns als identische Farbtöne aufgefasst, oder anders ausgedrückt, hier liegt ebenfalls ein kontinuierlicher Übergang zwischen Farbtönen vor.  
Topologisch kann diese Identifizierung von Farbwerten/-tönen als *Verklebung* aufgefasst werden, d.h. als eine Operation, die eine lineare Struktur in eine zyklische überführt.
- Die beiden anderen Dimensionen des Farbraums sind Helligkeit und Sättigung der Farbe; es handelt sich um Dimensionen mit linearer Struktur.
- Hieraus resultiert ein dreidimensionaler Farbraum, den Farbdoppelkonus (vgl. die entsprechende Folie) (Konus = Kegel). Die Extrempunkte (Spitzen) des Doppelkonus werden durch „weiss“ (maximale Helligkeit) und „schwarz“ (minimale Helligkeit) gebildet.  
„grau“ ist der Bereich unterschiedlicher Helligkeit des Doppelkonus, der maximal ungesättigt ist, und somit keine Tendenz zu einem Farbton aufweist, d.h. die Achse.
- Abbildung nach:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 94.

## Farbdoppelkonus



- Abbildung aus:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. Plate 3.2.
- Der Farbdoppelkonus ist hier von zwei entgegengesetzten Seiten dargestellt. (Sichtbar ist die „Aussenansicht“), d.h. die Oberfläche des Farbdoppelkonus (= Schicht maximaler Sättigung).

## Farbkreis

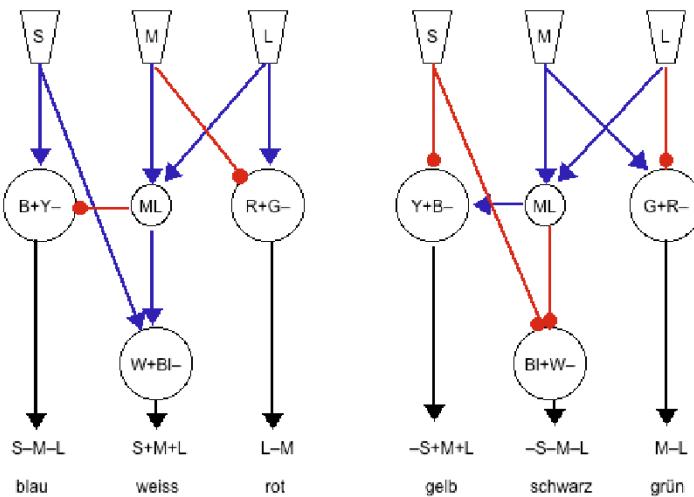


Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 79

- Abbildung aus:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. Plate 3.3.
- Der Farbkreis ist ein Schnitt durch den Farbdoppelkonus, normalerweise auf der Ebene mittlerer Helligkeit.
  - Farbdarstellungen vermittels von Farbkreisen stellen eine gute Möglichkeit dar, den “Raum möglicher Farben“, etwa im Zusammenhang von graphischer Software, zu (re-)präsentieren.

## Von 3 Rezeptortypen zu 3 Paaren konträrer Farbeindrücke



Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 80

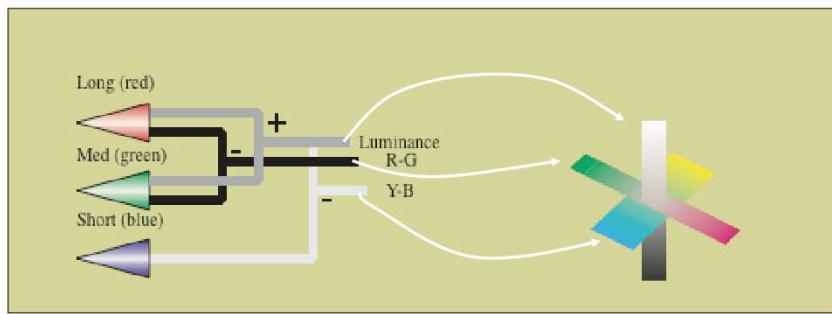
- Abbildung nach:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. p. 114
- Die klassische Sichtweise der „Farbenlehre“, aber auch der Farbkognition, geht von der Existenz von Paaren komplementärer Farben aus:
  - blau – gelb
  - rot – grün
  - weiss – schwarz

Diese Sichtweise entspricht dem „intuitiven Farbempfinden“. Wie kommt es aber dazu, dass 3 Rezeptortypen, die auf die Wellenbereiche „blau“, „grün“ und „rot“ spezialisiert sind, den Eindruck von 3 Paaren komplementärer Farbeindrücke hervorbringen.

- Die in der kognitiven Neurowissenschaft als „Dual process theory“ bezeichnete Konzeption geht von einer komplexen Verschaltung der Rezeptoren für die unterschiedlichen Wellenlängen [blau = short, grün = medium, rot = long] aus, bei denen die durch Existenz von inhibitorischen und excitatorischen Verbindungen zu einer weiteren Neuronenschicht, sechs „Farbeindrücke“ repräsentiert werden können.
- Der gleiche Sachverhalt ist – unter der Bezeichnung „Opponent Process Theory“ – auf der folgenden Folie dargestellt. Dort wird aus *technischer Sicht* von Farb-Kanälen gesprochen.

## Opponent Process Theory

- Die Signale der Zapfen werden in neue Kanäle transformiert
  - Black/White (Luminanz; ignoriert Blue)
  - Red/Green
  - Yellow/Blue



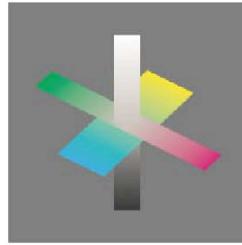
Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 81

- Ware, Colin (2004) Information Visualization: Perception for design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. (2nd Edition); Figure 4.10 (p. 111)  
Vgl. auch , Folie-10 von Lecture 3. Color theory and color for information display (<http://www.ccom.unh.edu/vislab/VisCourse/Lectures.html>)
- Yet another reason not to use blue to indicate the shapes of objects; it seems to be ignored in the Luminance calculation.

## Color Channel Theory

- Luminanzkontrast wird benötigt, um Details zu sehen.



3:1 empfohlen  
10:1 ideal bei kleinem Text

Some Natural philosophers suppose that these colors arise from accidental vapours diffused in the air, which communicate their own hues to the shadows; so that the colours of the shadows are occasioned by the reflection of any given sky colour: the above observations favour this opinion.

Text on an isoluminant background is hard to read

Some Natural philosophers suppose that these colors arise from accidental vapours diffused in the air, which communicate their own hues to the shadows;

- Ware, Colin (2004) Information Visualization: Perception for design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. (2nd Edition);  
Vgl, Chapter 4, insbesondere p. 113 ff, u.a. Figure 4.13.  
Vgl. auch , Folie-11 von Lecture 3. Color theory and color for information display (<http://www.ccom.unh.edu/vislab/VisCourse/Lectures.html>)

## Short wavelength sensitive cones

Blue text on a dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive

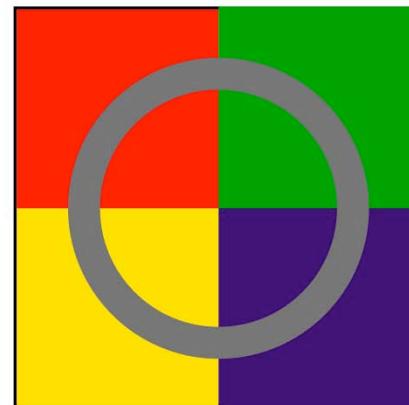
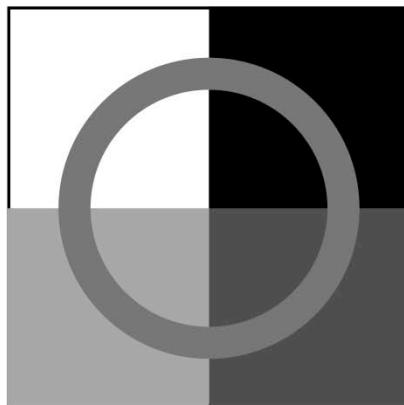
Blue text on dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive

Blue text on a dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive. Chromatic aberration in the eye is also a problem

Blue text on a dark background is to be avoided. We have very few short-wavelength sensitive cones in the retina and they are not very sensitive

- Ware, Colin (2004) Information Visualization: Perception for design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. (2nd Edition); Vgl, Chapter 4, insbesondere p. 113 ff  
Vgl. auch , Folie-9 von Lecture 3. Color theory and color for information display (<http://www.ccom.unh.edu/vislab/VisCourse/Lectures.html>)

## Kontextabhängigkeit der Farbwahrnehmung



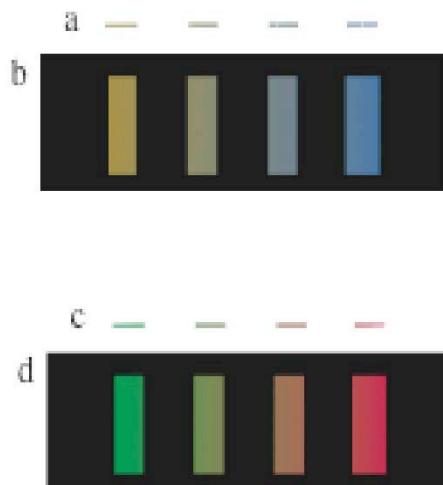
- Abbildung nach:  
Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, MA: MIT-Press. Abb. 3.2.5 (p. 106) bzw. Plate 3.7.
  - Helligkeitskontraste können (vgl. die Folien zur Kontur- und Kontrastillusionen 3-52 ff.) dazu führen, dass derselbe Grauton im Kontext unterschiedlicher Grautöne verschieden empfunden / wahrgenommen wird (→ linke Abbildung). Hier wird durch den Kontext der Eindruck eines homogen-grauen Ringes verhindert/ gestört.
  - Entsprechende Mechanismen führen dazu, dass farbiger Kontext den Farbeindruck benachbarter Objekte beeinflusst.
- ➔ Die Kontextabhängigkeit der Farbwahrnehmung sollte beim Entwurf von farbigen Layouts berücksichtigt werden.

## Farbkontrast

### Relevante Parameter

- Farbkanäle:
  - blau - gelb
  - rot - grün
- Grösse der farbigen Regionen
- Eigenschaften des Hintergrundes
  - Helligkeit
  - Sättigung

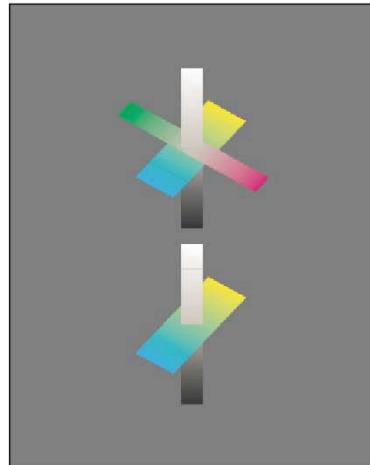
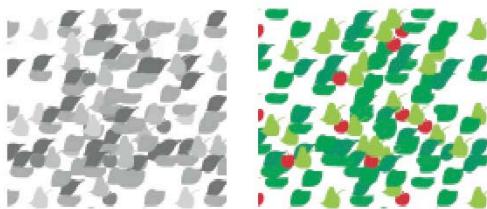
❖ small field colorblindness



- Ware, Colin (2004) Information Visualization: Perception for design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. (2nd Edition); Figure 4.9 (p. 111)  
Vgl. auch, Chapter 4, insbesondere p. 123 ff,  
Vgl. auch , Folie-23 von Lecture 3. Color theory and color for information display (<http://www.ccom.unh.edu/vislab/VisCourse/Lectures.html>)

## Farbenblindheit

- 3D Farbraum vs. 2D Farbraum
- 8 % der männlichen Bevölkerung sind R-G-farbenblind (rot-grün farbenblind)
- Es gibt auch B-Y-Schwäche (blau-gelb-Schwäche / seltener und meist geringer ausgeprägt.)



- Aufbau von Farbpaletten, die für Farbenblinde (R-G) akzeptabel sind
  - Vorrangige Verwendung des Blau-Gelb-Kanals

Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

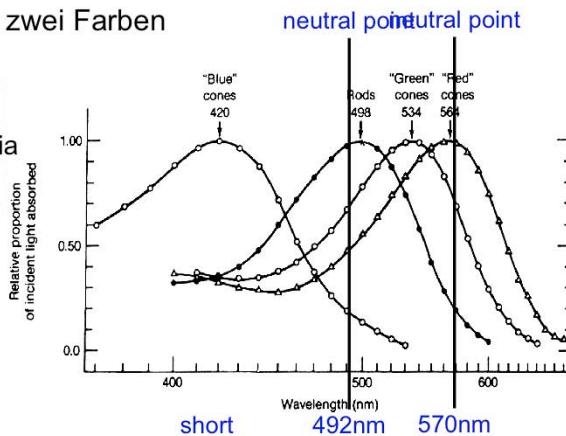
3 – 86

- Ware, Colin (2004) Information Visualization: Perception for design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. (2nd Edition); Figure 4.1 (p. 98)  
Vgl. auch, Chapter 4, insbesondere p. 99-100, 123 ff, 134 ff.  
Vgl. auch , Folien-22 &24 von Lecture 3. Color theory and color for information display (<http://www.ccom.unh.edu/vislab/VisCourse/Lectures.html>)

## Farbenblindheit

### Dichromatismus

- Sensitivität für zwei Farben
- Drei Typen
  - Protonopia
  - Deutanopia
  - Tritanopia

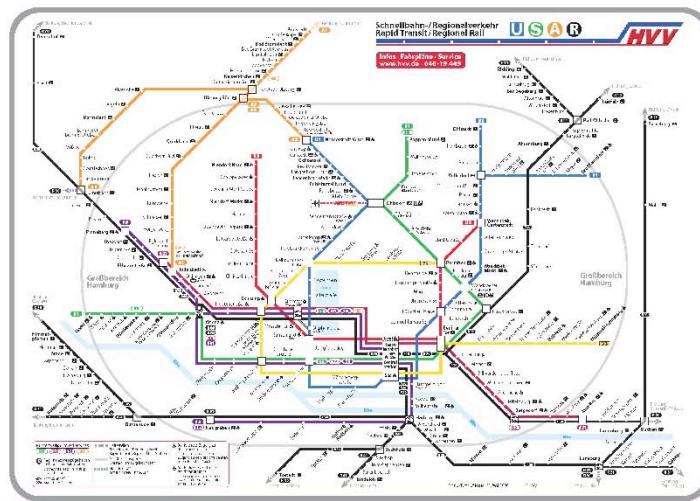


Ch. Habel Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 87

- Ausführlich in: Goldstein, Bruce J. (2002). *Sensation and perception*. Pacific Grove, CA: Wadsworth. (6th edition) [Abschnitt *Color Deficiency*, pp. 200 – 204]
- Dichromatismus ist verursacht durch Fehlen von Farbpigmenten
  - Protonopia – neutral point 492 nm: *short-wavelength light* wird als blau wahrgenommen, beim *neutral point* wird grau wahrgenommen. Jenseits des *neutral point* wird gelb wahrgenommen
  - Deutanopia – neutral point 498 nm: *short-wavelength light* wird als blau wahrgenommen, beim *neutral point* wird grau wahrgenommen. Jenseits des *neutral point* wird gelb wahrgenommen
  - Tritanopia – neutral point 570 nm: *short-wavelength light* wird als blau wahrgenommen, beim *neutral point* wird grau wahrgenommen. Jenseits des *neutral point* wird rot wahrgenommen

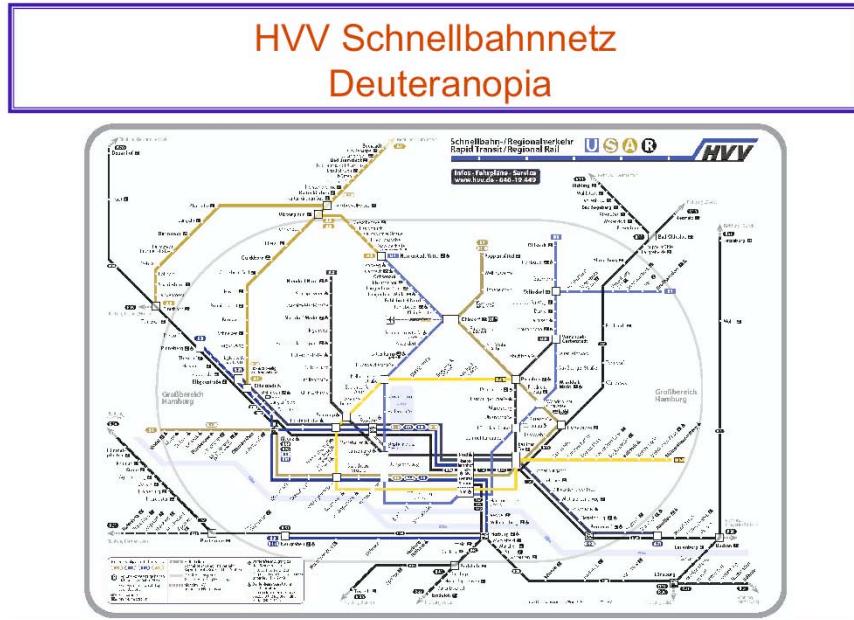
## Beispiel: HVV Schnellbahnenetz



Ch. Habel  
Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 88

- Vorlage: HVV, die – 2009 - im Netz zugängliche pdf-Version



Ch. Habel  
Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

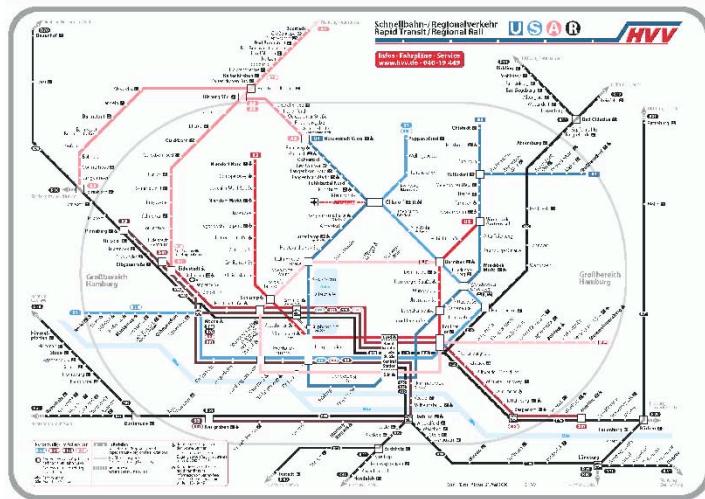
3 – 89

- So (etwa) sieht ein rot-grün Farbenblinder (Deutanopie) den HVV-Netzplan.

An einigen Stellen (bitte analysieren Sie die Karte sowohl im Hinblick auf den „ersten Blick“, d.h. den schnellen Eindruck, etwa bei Betrachtung in der U-Bahn, als auch im Hinblick auf die aufwendige Analyse, die etwa zu Hause in Ruhe möglich ist.

- Vorlage: HVV, die im Netz zugängliche pdf-Version
- Die hier präsentierte Darstellung ist unter Verwendung der von Vischeck zur Verfügung gestellten plug-ins für Adobe Photoshop erstellt worden.

## HVV Schnellbahnenetz Tritanopia



Ch. Habel  
Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

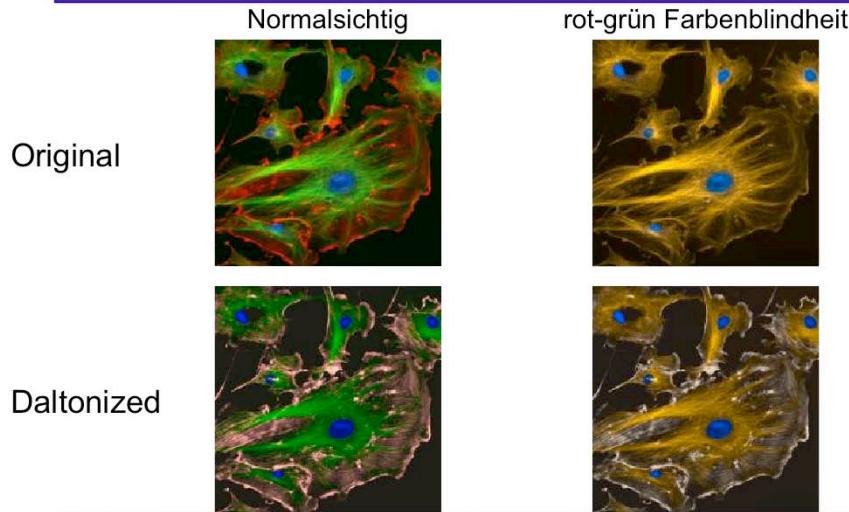
3 – 90

- So (etwa) sieht ein blau-gelb Farbenblinder (Tritanopie) den HVV-Netzplan.

An einigen Stellen (bitte analysieren Sie die Karte sowohl im Hinblick auf den „ersten Blick“, d.h. den schnellen Eindruck, etwa bei Betrachtung in der U-Bahn, als auch im Hinblick auf die aufwendige Analyse, die etwa zu Hause in Ruhe möglich ist.

- Vorlage: HVV, die im Netz zugängliche pdf-Version
- Die hier präsentierte Darstellung ist unter Verwendung der von Vischeck zur Verfügung gestellten plug-ins für Adobe Photoshop erstellt worden.
- Vorlage: HVV, die im Netz zugängliche pdf-Version

## Visualisierung: Zell-Einfärbung

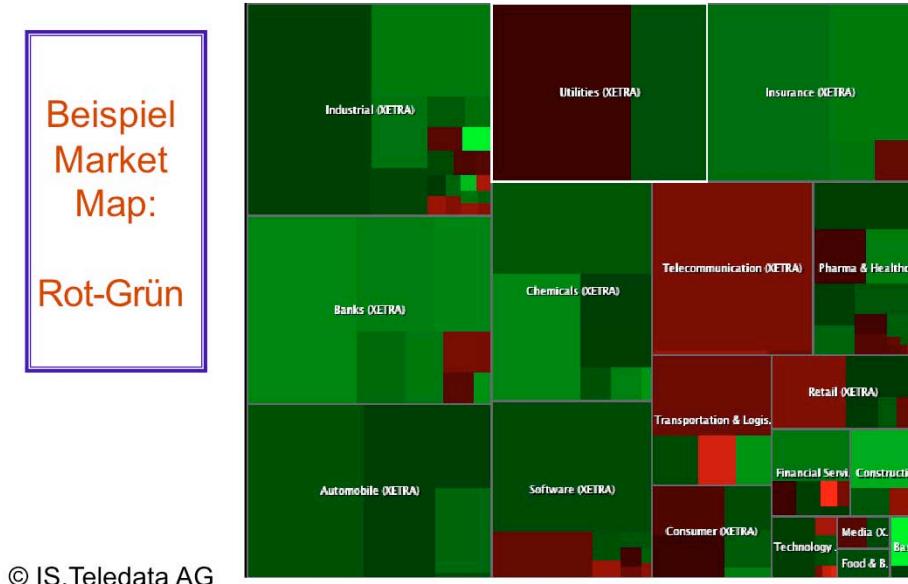


Ch. Habel  
Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion (IKON-1)

3 – 91

- Das hier vorgestellte Beispiel ist von Vischeck übernommen:  
<http://www.vischeck.com/daltonize/>
- Die Abbildung **links oben** zeigt eine Zell-Einfärbung, wie sie in der biologischen/medizinischen Forschung verwendet wird.
- Die Abbildung rechts oben zeigt das gleiche Bild, nach der Vischeck-Simulation (rot-grün Farbenblindheit).
- Die untere Zeile zeigt die entsprechende Gegenüberstellung für eine modifizierte Visualisierung. Hierbei wurde ein von Vischeck entwickeltes Programm, das den sogenannten Daltonize-Algorithmus verwendet: Es werden Farbtransformationen durchgeführt deren Result sowohl für Normalsichtige als auch für Farben-Blinde eine hohe Unterscheidbarkeit der - relevanten - Farben ermöglicht.
- John Dalton war der erste Wissenschaftler, der - Ende des 18. Jahrhunderts - über Farbenblindheit arbeitete / publizierte.

**Beispiel  
Market  
Map:  
Rot-Grün**



- Die hier dargestellte Visualisierung von „market maps“ (Werkzeug für die Darstellung der Wertentwicklung von Aktien gewichtet nach ihrer Börsenkapitalisierung und im Vergleich zu Aktien innerhalb von Markt-Segment-Kategorien) verwendet die konventionalisierte Farbkodierung
  - grün ≈ positiv ≈ steigende Kurse
  - rot ≈ gefährlich ≈ sinkende Kurse

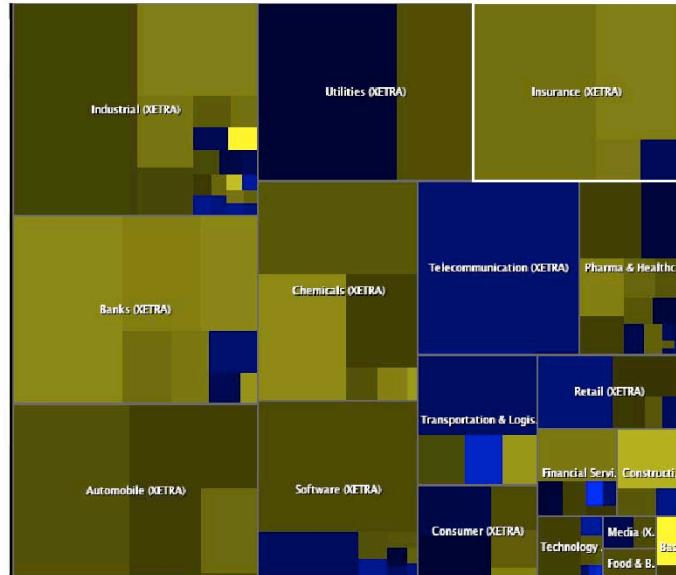
Stufen / Grade der Wertveränderung (innerhalb eines gewählten Zeitraums) werden durch *Schattierungen* (Sättigung / Helligkeit) unter Verwendung des rot-grün-Kanals dargestellt.

Diese Darstellung ist für Rot-Grün-Farbenblinde schwer bzw. nur unter Einschränkungen verarbeitbar. Insbesondere beeinträchtigt in diesem Fall die Darstellung die Nützlichkeit der Visualisierung.

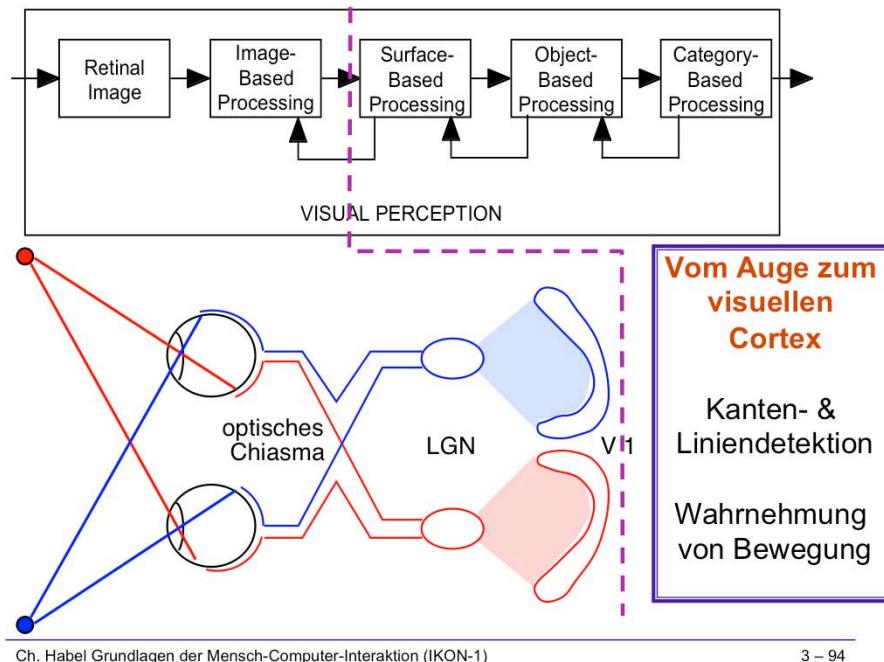
Aus diesem Grund wird den Nutzern die Möglichkeit geboten, die Graphik auch in anderen Farbsystemen / Farbkanälen abzurufen. (Die folgende Folie zeigt die Darstellung unter Verwendung des blau-gelb-Kanals.

**Beispiel  
Market  
Map:**

**Blau-  
Gelb**



© IS.Teledata AG



- Die untere Abbildung kombiniert Aspekte von Figure 3-1 und Figure 3-2 aus

Bruce, Vicki ; Green, Patrick R. & Georgeson, Mark A. (1996). *Visual Perception - Physiology, Psychology and Ecology*. 3rd edition. Hove, UK: Psychology Press. p. 44f.