

Computergrafik

M. Strand

Inhalt

basierend auf Skript von Fr. Getrud Nieder

- Einführung
- Licht und Farbe
- Kurven und Flächen
- Transformationen
- 3D-Visualisierungsverfahren
- Animation

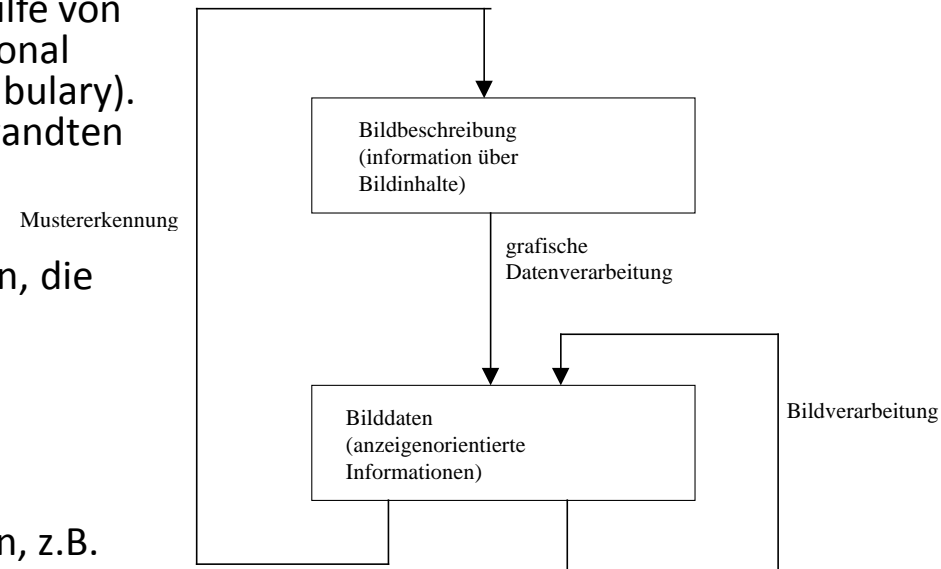
Introduction to Computer Graphics J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, J. F. Hughes, R. L. Phillips,
Addison-Wesley, 1990, 1994, 1996 (2nd ed.)

Einführung

- Definition
- Anwendungsbeispiele
- Historie
- Grafik-Standards
- Grafik-Software

Definition

- **Grafische Datenverarbeitung / Computergraphik:** Methoden und Techniken zur Konvertierung von Daten in und aus grafischer Darstellung mit Hilfe von elektronischen Rechanlagen (ISO, International Standards Organization, Data Processing Vocabulary). Computergraphik ist ein Teilgebiet der Angewandten Informatik.
- **Graphische Datenverarbeitung:** alle Verfahren, die sich mit Eingabe und Manipulation von Bildbeschreibungen befassen, sowie deren Umwandlung in graphische Darstellungen -> Bildsynthese
- **Bildverarbeitung:** Operieren nur auf Bilddaten, z.B. Verbessern (Kontrasterhöhung oder Korrektur von Störfaktoren), Vereinfachen/Reduzieren
- **Mustererkennung:** Gewinnen von Informationen aus Bilddaten, Bildinhalte erkennen ('welche Buchstaben sind auf dem Foto zu erkennen?') -> Bildsynthese
- **wichtigster Unterschied: 'natürliche' und künstliche/synthetische Bilder**



Anwendungsbeispiele

- **CAD/CAM:**

Entwurf von Komponenten oder auch ganzen Systemen von mechanischen, elektrischen und elektronischen

- Geräten
- Gebäuden,
- Autokarosserien,
- Flugzeug- und Schiffskörper,
- hochintegrierte Mikrochips (VLSI),
- Telefon- und Computernetze

- **Vorteile von CAD/CAM-Systemen:**

- Routinetätigkeiten werden vom System übernommen,
- die Arbeit der Ingenieure beschränkt sich auf kreative Tätigkeit,
- die Entwürfe enthalten weniger Fehler und Konstruktionsänderungen können mit wesentlich weniger Aufwand erreicht werden.
- Viele Eigenschaften können durch numerische und grafische Simulationen überprüft werden, bevor der Prototyp gebaut wird.

- **Automatisierungstechnik, Prozessleittechnik, Überwachung, Steuerung:**

- Vereinfachung der Mensch-Maschine-Kommunikation,
- Übersichtlichkeit und Kompaktheit der Darstellung

Bei Mess-, Kontroll- und Steuerungsanlagen kommt es auf eine **schnelle Erfassung** der Situation durch das Bedienungspersonal an, die grafische Darstellung dient der raschen Informationsvermittlung.

Graf. Eingabegeräte (z.B. touch screen) ermöglichen eine **rasche Reaktion**.

Anwendungsbeispiele II

- **Benutzerschnittstellen/ grafische Fenstersysteme:**
 - Fenstersystem, das die Schreibtisch-Metapher benutzt zur Verwaltung mehrerer simultaner Ereignisse,
 - außerdem Zeigegerät, mit dem man Menüpunkte, Ikonen und andere Objekte am Bildschirm auswählen kann.
 - Typische Anwendungen sind Programme zur Textverarbeitung, Tabellenkalkulation und Erstellung von Druckvorlagen (DTP)
- **Präsentationsgraphiken:**
 - Darstellung von Daten in Wirtschaft, Wissenschaft und Technik:
 - 2- und 3-dimensionale Darstellung der Graphen von mathematischen, physikalischen und ökonomischen Funktionen,
 - Histogramme,
 - Balken- und Tortendiagramme,
 - Inventar- und Produktionstabellen.
 - Man kann damit Trends und Strömungen sinnvoll darstellen.
- **Echtzeit-Bilddarstellungen:**
 - Seit ca. 30 Jahren existieren Flugsimulatoren für die Ausbildung von Piloten, jetzt auch
 - Echtzeit-Simulatoren für die Schiffsnavigation,
 - Leitung von Kontrollzentren (Kraftwerke, verfahrens- oder fertigungstechnische Anlagen, Netzleittechnik),
 - Fahren von Automatisierungssystemen usw.
 - Trainieren von Störfällen
 - Hauptaufgabe ist die Generierung von möglichst realistischen Szenen, wie der Trainierende sie auch im wirklichen Einsatz sehen würde. Die Bilder müssen sehr schnell aufgebaut werden.

Anwendungsbeispiele III

- **Kartographie**
 - Aus Messdaten können exakte und auch schematisierte Darstellungen von geographischen und anderen Naturphänomenen erstellt werden, wie z.B.
 - geographische Karten,
 - Reliefkarten,
 - Sondierungskarten für Bohrungen und Bergbau,
 - ozeanographische Karten,
 - Wetterkarten usw.
- **Technisch- wissenschaftliche Visualisierung:**
 - Anzeige des zeitabhängigen Verhaltens von realen und simulierten Objekten
 - Darstellung von multivariaten Daten
 - Interpretation großer Datenmengen aus Experiment oder Simulation
- **Fotorealismus / Computeranimation / Filme**
 - Möglichst naturgetreue Darstellung von Szenen, so dass man den Eindruck hat, das Bild wurde von einer Kamera erzeugt
 - Animationsfilme
 - Visual Effects

Anwendungsbeispiele IV

- **Spiele**
- **Kunst**
- **Musik/ Notensatz**
- **Medizin** Diagnostische Medizin und OP-Planung, Simulation von Eingriffen zum Training
- **virtual reality / augmented reality**
- **Desktop Publishing**
- **Web-Publishing**
- **Lern-SW**
- **Werbegrafik**

Historie

- **1950: MIT**, Whirlwind-Computer benutzte computergesteuerte Kathodenstrahlröhre (CRT, cathod ray tube)
- **1963 Ivan Sutherland**: erste Entwürfe zu interaktiver Grafik(Zeichensystem Sketchpad), Bedienung noch mit Tastatur und Lichtgriffel, viele der hier entworfenen Funktionen sind ins Grafikpaket PHIGS eingegangen
- **1964: erste Anfänge von CAD und CAM** in Computer-, Automobil- und Flugzeugherstellung (DAC-System von General Motors für Automobilentwurf, Digitek-System von Itek für den Entwurf von Linsen waren Pionierprogramme)
- Bis dahin meist nur Stapelverarbeitung mit Lochkarten, erste interaktive Grafik war nur für technologisch anspruchsvolle Organisationen erschwinglich (teure HW, wenige grafische Anwendungsprogramme)
- **1977: Star Wars** Oscar für Visual Effects
- **1984: Apple Macintosh**, IBM-PC und kompatible mit eingebauten Rastergrafik-Bildschirmen machten den Einsatz von Bitmap-Graphik populär,
- Bitmap: Darstellung des rechteckigen Punktegitters am Bildschirm mit Einsen und Nullen. Die Punkte heißen Pixel (picture elements).
- Durch grafische Benutzerschnittstellen wurde die Anwendung von Textverarbeitungs- und Zeichenprogrammen stark vereinfacht.
- Zur Organisation des Bildschirms wurde das Konzept des Schreibtischs verwendet (desktop).
- Fenster werden vom Window-Manager verwaltet, als Zeigegerät hat man meist eine Maus.
- Objekte (z.B. Aktenordner, Briefkästen, Drucker, Papierkörbe) werden durch Zeigen und Klicken manipuliert und können dadurch sehr einfach bearbeitet werden.

Historie II

- **1986: Pixar** John Lasseter, Edwin Catmull und Steve Jobs gründen Pixar (vorher bei Lucasfilm)
- **1992: OpenGL** Silicon Graphics führt OpenGL ein
- **1993: Jurassic Parc** Oscar für Visual Effects
- **1995: Toy Story** von Pixar, erster Animationsfilm in Spielfilmlänge
- **1997: Titanic** bruchlose Übergänge zwischen realen und computergenerierten Filmteilen
- **2001: Final Fantasy** alle Schauspieler computergeneriert

Grafik-Standards

- zunächst **geräteabhängige Paketen** dann **geräteunabhängige Pakete höherer Abstraktionsstufe**: der Programmierer muss sich um Eigenheiten der jeweiligen Maschine nicht mehr kümmern und kann mit Sprachelementen arbeiten, die für viele Prozessoren schon fertig implementiert sind.
- Entwicklung des **3D Core Graphics System** (1977 von einem Komitee der ACM **SIGGRAPH** erstellt, (special interest group on graphics))
- Die erste Graphikspezifikation: **graphisches Kernsystem GKS** (nach DIN und ISO genormt **85**).
 - Zunächst auf 2D-Grafik beschränkt.
- **1988** standardisierung **GKS-3D**
- Außerdem: Normung **PHIGS** (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System)
- inoffizielle Standards, Industrie- oder de-facto-Standards:
 - OpenGL von Silicon Graphics
 - Direct3D/Direct X
 - RenderMan von Pixar

Grafik-Software

Grafische Bibliotheken:

- OpenGL
- DirectX/Direct3D
- Renderman
- X3D, Java3D

Weitere Grafiksoftware:

- Animationssysteme, 3D-Modellierer
- Ray-Tracer
- Zeichenprogramme
- CAD-Programme
- Programme zur wissenschaftlichen Visualisierung

Licht und Farbe

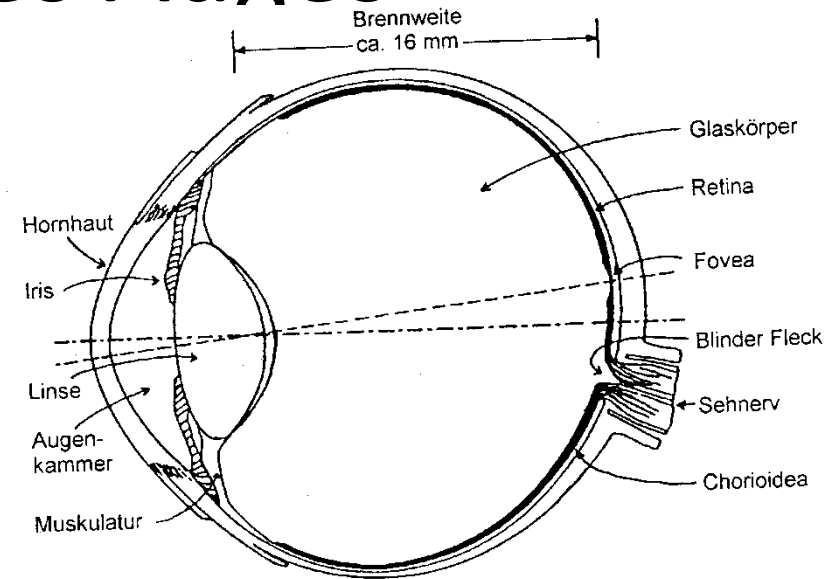
- Physiologie des Auges
- Achromatisches Licht
- Das CIE-Farbdigramm
- Farbmodelle (RGB,CMY,HSV)
- Einsatz von Farbe

Licht und Farbe

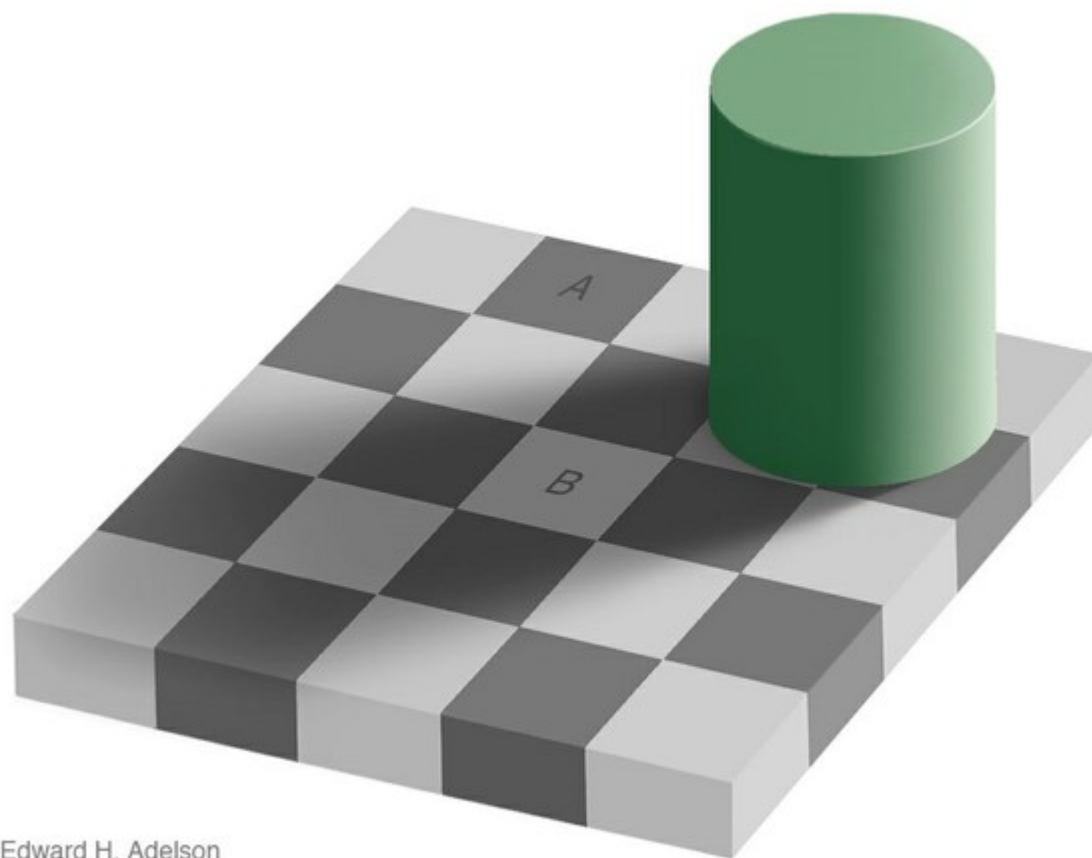
- Die Theorie von Licht und Farbe und deren Anwendung ist für die Computergrafik sehr wichtig.
- Schon durch den Einsatz von wenigen Graustufen kann ein Objekt besser aussehen, jedoch werden die meisten Bilder erst durch den Einsatz von Farbe wirklich beeindruckend.
- Zum Thema Farbe muss man Gebiete aus Physik, Physiologie, Psychologie, Kunst und Grafikdesign berücksichtigen.
- Die Farbe eines Objekts hängt nicht nur vom Objekt selbst ab, sondern auch von der Lichtquelle, mit der das Objekt beleuchtet wird, von der Farbe der Umgebung und vom menschlichen Sehapparat.

Physiologie des Auges

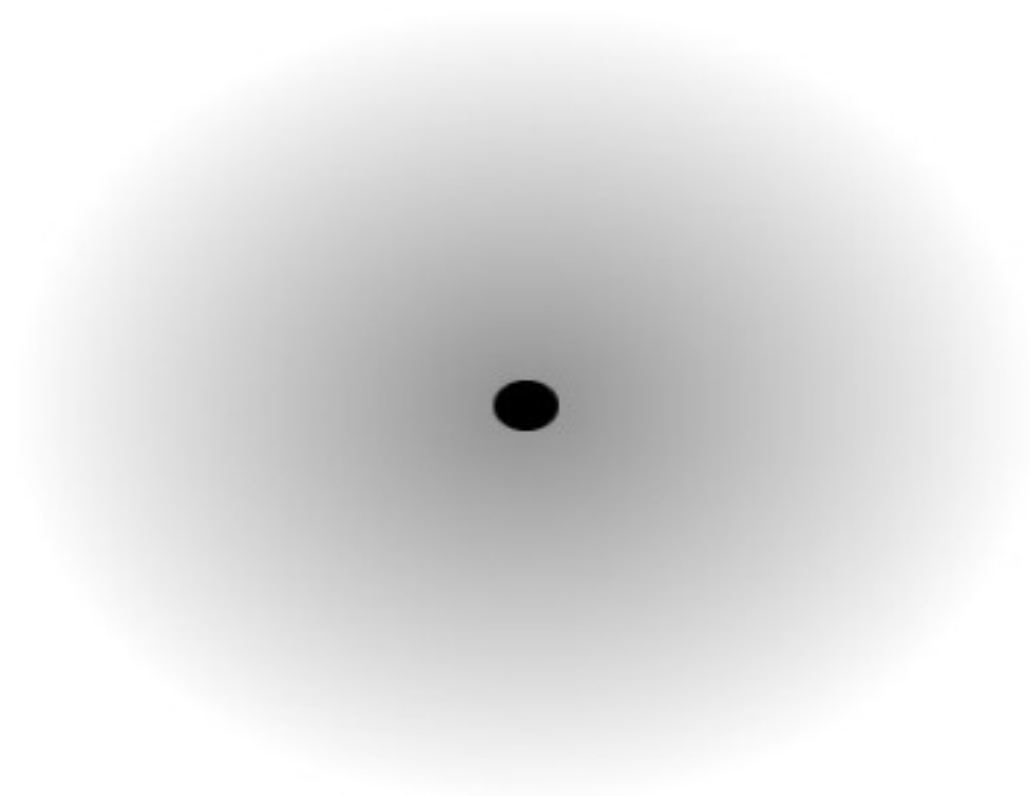
- Das optische System des Auges ist ein nicht exakt zentriertes, zusammengesetztes **Linsensystem**, das auf der Netzhaut (Retina) ein umgekehrtes, verkleinertes Bild der Umwelt entwirft.
- Die hintere, innere Oberfläche des Auges wird von der **Netzhaut** ausgekleidet.
- Das Licht wird von der Linse auf die Netzhaut fokussiert, wo es in lichtempfindlichen **Stäbchen und Zapfen** ein Spannungspotential erzeugt.



- Das Signal wird verstärkt und im Sehnerv zum **Gehirn** weitergeleitet.
- Blinder Fleck Test
- Die Anpassung an stark unterschiedliche Beleuchtungsbedingungen wird durch 2 verschiedene Rezeptorsysteme mit unterschiedlichen Absolutschwellen erreicht, den Stäbchen und den Zapfen.
- Mit den Stäbchen kann man in der **Dämmerung** sehen, mit den **Zapfen** am **Tage**.
- Beim skotopischen Sehen (nachts) sieht man keine Farbe.



Edward H. Adelson



GRÜN BLAU GELB SCHWARZ

ORANGE ROSA ROT GRÜN

ROT BLAU GELB ORANGE

GRÜN GELB ROT ROT

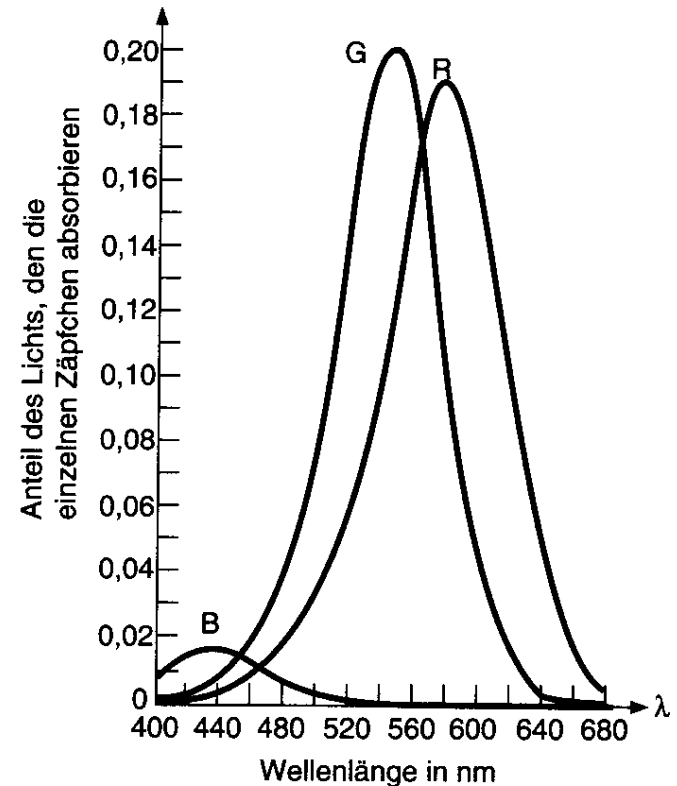
ROT GRÜN BLAU SCHWARZ

ORANGE GELB GELB GRÜN

SCHWARZ BLAU ROT GELB

Physiologie des Auges

- Beim Farbsehen spielen die Zapfen die maßgebende Rolle. Man hat festgestellt, dass es 3 Arten von eng beieinander liegenden Zapfen mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit gibt.
- Die Rezeptorschicht besteht aus etwa 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen.
- Die Rezeptordichte ist für die Zapfen in der Mitte der Fovea, für die Stäbchen im parafovealen Bereich am höchsten.
- In der Fovea gibt es keine Stäbchen

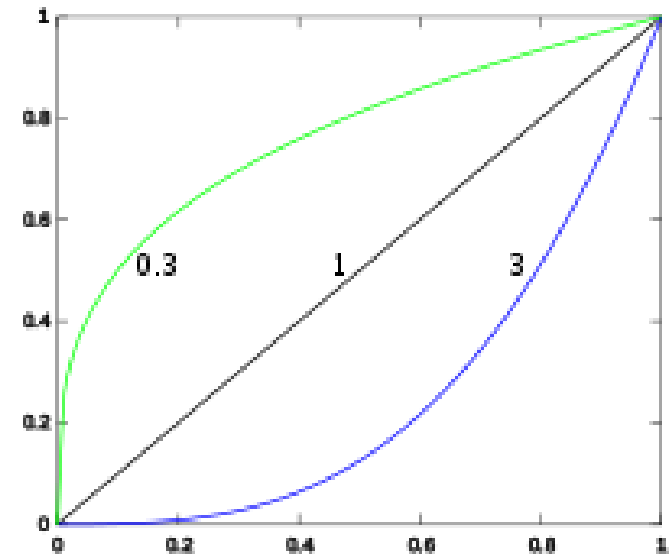


Achromatisches Licht

- wörtlich: Abwesenheit von Farbe
- Die einzige Eigenschaft von achromatischem Licht ist die **Lichtmenge**. Man kann im physikalischen Sinn die **Energie** untersuchen und spricht dann von **Intensität** oder **Luminanz**.
- Es ist hilfreich, verschiedenen Intensitätsstufen einen skalaren Wert zuzuordnen. Dabei steht 0 für schwarz, 1 für weiß und dazwischen für unterschiedliche Graustufen.
- Man könnte die Intensitätsstufen gleichmäßig über den Bereich 0-1 verteilen, jedoch kann das Auge keine absoluten Intensitätswerte wahrnehmen, sondern **Quotienten von Intensitätsstufen**. Das bedeutet, dass wir zwischen den Stufen 0.10 und 0.11 den gleichen Unterschied wahrnehmen wie zwischen 0.50 und 0.55.
- Um gleichmäßige Helligkeitsstufen zu erreichen, sollten die **Intensitätsstufen** daher nicht linear, sondern **logarithmisch verteilt** sein. Das Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Intensität bezeichnet man als **Dynamik** (dynamic range) bzw. **Kontrast**
- **Kontrast** = I_{\max}/I_0 ($I_0 > 0$, wegen der Lichtreflexion des Phosphors)

Gammakorrektur

- Die Gammakorrektur ist die übergreifende Helligkeitskorrektur bei grafischen Darstellungen.
- Alle Monitore haben verschiedene Farbschemata. Durch die Gammakorrektur können evtl. auftretende Probleme bei der Darstellung korrigiert werden.
- Außerdem wird die Gammakorrektur in abbildenden Systemen benötigt, um das nichtlineare Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges zu kompensieren.
- Das Auge reagiert beim Anstieg auf eine doppelte Helligkeit im physikalischen Sinne nicht zwangsläufig mit einer Verdopplung der Helligkeitsempfindung.
- Die empfundene Helligkeit H steigt in dunklen Bereichen steiler und in hellen weniger steil an.
- Gammakorrektur: $A = E^\gamma$
- Bei der Berechnung des Ausgangssignals A werden nur die Grauwerte verändert, Schwarz- und Weißpunkt bleiben erhalten, wenn das Eingangssignal E im Intervall $[0,1]$ liegt, beziehungsweise auf 1 normiert wurde. Der Exponent gamma (der griechische kleine Buchstabe γ) gibt der Korrekturfunktion ihren Namen



$\gamma=1$: $A = E$, die Abbildung ist linear.
 $\gamma<1$: Die Abbildung ist konkav. Kleine Eingabewerte werden gespreizt, große gestaucht.
 $\gamma>1$: Die Abbildung ist konvex. Kleine Eingabewerte werden gestaucht, große gespreizt

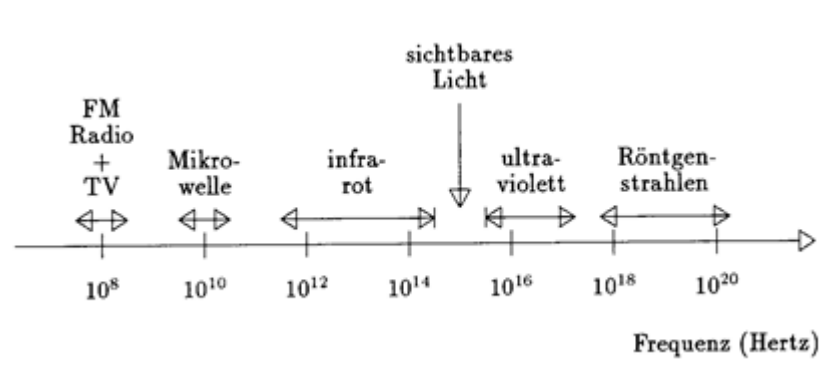
Das CIE-Farbdigramm

- Farbige Licht erzeugt viel reichhaltigere Wahrnehmungen als achromatisches Licht.
- Üblicherweise beschreibt man die Farbwahrnehmung (**physiologisch**) mit den 3 Größen Farbe, Sättigung und Helligkeit:
- **Farbe** (*hue*= *Farbe*, *Farbton*, *Färbung*): unterscheidet zwischen Farben wie rot, grün, lila, gelb
- **Sättigung** (*saturation*) gibt an, wie weit eine Farbe von einem Grauwert gleicher Intensität entfernt ist. Rot ist stark gesättigt, rosa ist relativ ungesättigt, Pastellfarben generell sind relativ ungesättigt. Ungesättigte Farben enthalten mehr weißes Licht als die lebendigen gesättigten Farben.
- **Helligkeit** (*lightness*) beschreibt die wahrgenommene Intensität eines reflektierenden Lichts und hat nichts mit Farbe zu tun. Die Intensität bei einem selbstleuchtenden Objekt (Glühbirne, Sonne, Bildschirm) bezeichnet man auch als *brightness*

Zur Bewertung braucht man eine objektive, quantitative Möglichkeit (**physikalisch**) zur Spezifikation von Farben, dies ist die sog. Kolorimetrie.

Wichtige Begriffe:

- die **dominante Wellenlänge**: die Wellenlänge der Farbe, die wir sehen, wenn wir Licht wahrnehmen. Sie entspricht in der Wahrnehmung dem Farbton
- die **Reinheit** entspricht der Sättigung
- die **Luminanz** ist der Betrag oder die Intensität des Lichts
- Licht ist **elektromagnetische Energie** im Spektralbereich von 400-700nm Wellenlänge. Diesen Bereich nehmen wir als Farben von violett über indigo, blau, grün, gelb und orange bis rot wahr



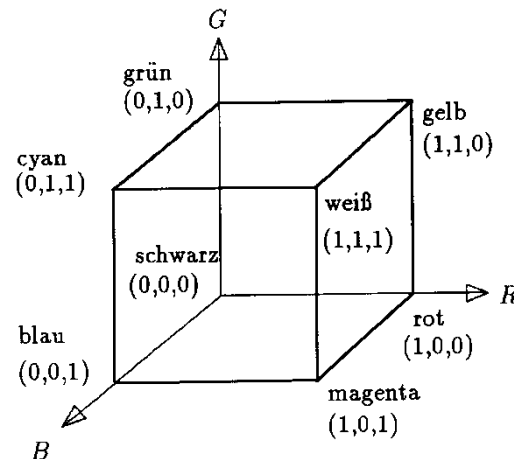
Das menschliche Auge kann mehrere Hunderttausend (ca. 350 000) verschiedene Farben im Farbraum unterscheiden, wenn sie nebeneinander angeordnet sind. Die meisten unterscheidbaren Farben haben einen Abstand von 4 nm voneinander (bezieht sich auf Spektralfarben, alle anderen sind Mischfarben). Von den völlig gesättigten Farben können ca. 128 unterschieden werden.

Farbmodelle

- Ein Farbmodell besteht aus der Spezifikation eines 3-dimensionalen Farbkoordinatensystems, die alle Farben eines bestimmten Gamuts (Farbpalette) enthält.
- Das RGB-Modell besteht z.B. aus dem Einheitswürfel des 3-dimensionalen kartesischen Koordinatensystems.
- Die wichtigsten HW-orientierten Farbmodelle sind RGB für Farbmonitore und CMY für Farbdruckverfahren. Diese Modelle haben nichts mit der intuitiven Farbbeschreibung durch Farbton, Sättigung und Helligkeit zu tun. Dies wird durch das HSV-Modell realisiert

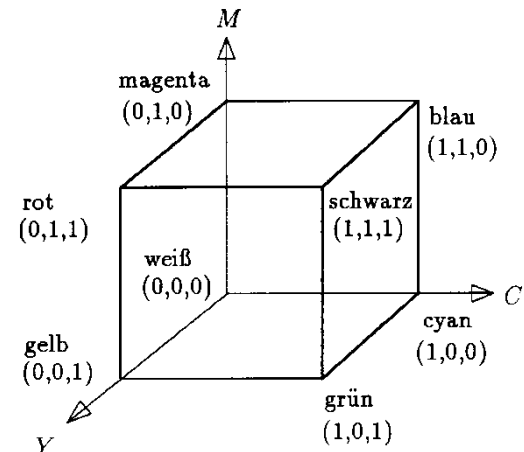
RGB-Modell

- Das RGB-Modell wird für Farbbildschirme benutzt. Es basiert auf einem kartesischen Koordinatensystem. Die RGB-Primärfarben verhalten sich additiv, d.h. die Beiträge der einzelnen Farben werden und liefern so das Gesamtergebnis.
- Lichtfarben= selbstleuchtende Farben
- Die Hauptdiagonale des Einheitswürfels enthält die Graustufen



CMY-Modell

- Die Komplementärfarben von rot, grün und blau sind cyan, magenta und gelb.
- Benutzt man Farben als Filter, um sie von weißem Licht zu subtrahieren, so spricht man von subtraktiven Primärfarben. Das CMY-Modell benutzt das gleiche kartesische Koordinatensystem wie RGB, nur liegt jetzt weiß (volles Licht) statt schwarz (kein Licht) im Ursprung.
- Farben werden dadurch spezifiziert, was von weiß subtrahiert wird, nicht, was zu schwarz addiert wird.
- Wird eine Fläche mit Tinte der Farbe cyan beschichtet, so reflektiert sie kein rotes Licht mehr: cyan subtrahiert rot aus dem reflektierten weißen Licht.
- Das CMY-Modell wird für Hardcopy-Geräte verwendet, die Farbpigmente auf dem Papier platzieren.
- Körperfarben= nicht selbstleuchtende Farben
- **CMYK:** benutzt als 4. Farbe schwarz (K für black)



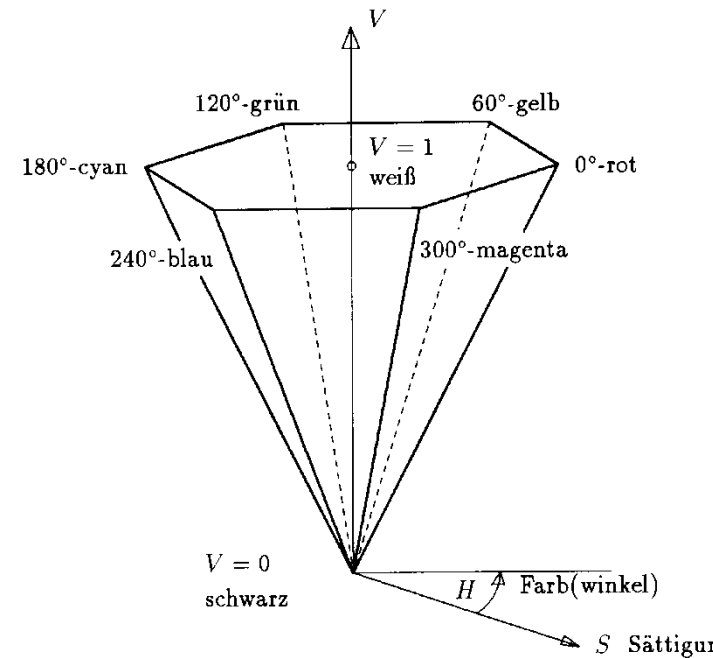
Umrechnung zwischen RGB und CMY:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \\ S \\ S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W \\ W \\ W \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

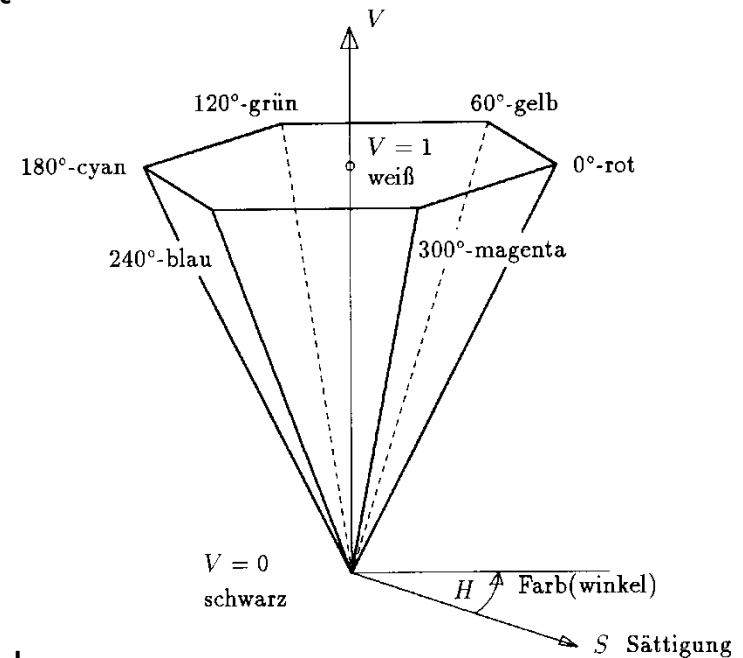
HSV-Modell

- definiert durch Farbton (hue), Sättigung (saturation), und Helligkeit (value)
- Viele Grafiksysteme bieten das HSV-Modell zusätzlich zum RGB-Modell an, da es vor allem von Grafikern sehr gerne verwendet wird.
- Die Farbe wird als Winkel im 6-Eck angegeben, wobei die Farbe rot bei 0° beginnt. Komplementärfarben liegen 180° voneinander entfernt.
- Der Parameter S liegt im Bereich 0 bis 1 und repräsentiert das Verhältnis der Reinheit der Farbe zu ihrer maximalen Reinheit ($S=1$), daraus folgt, dass an der vertikalen Achse V (d.h. $S=0$) die Grauskala liegt.
- Die Intensität der Farbe wird durch den Parameter V (value) bestimmt, der im Bereich 0 (Spitze der Pyramide) bis 1 (Basis der Pyramide) liegt.



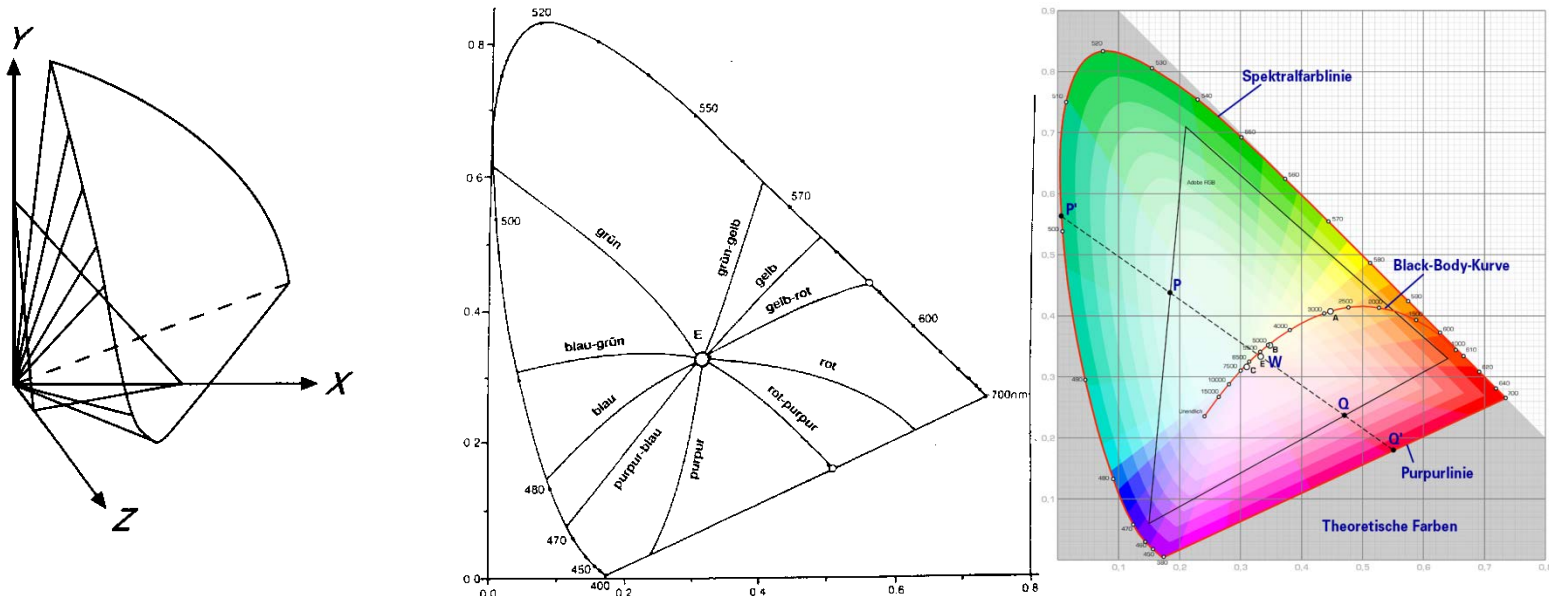
HSV

- Die Farbselektion durch den Benutzer kann nun so erfolgen, dass er zuerst eine reine Farbe auswählt ($H=$, $V=S=1$) und dann weiß oder schwarz hinzumischt.
- Das Hinzumischen von weiß erfolgt durch Reduktion von S bei konstantem V , durch Reduktion von V bei konstantem S wird schwarz beigemischt.
- Es gibt Umrechnungsalgorithmen von HSV nach RGB und umgekehrt.
- Farben an der Basis der Pyramide besitzen die höchste Helligkeit.
- Die reinsten Farben besitzen die Werte $V=S=1$ und unterscheiden sich nur im Farbwinkel



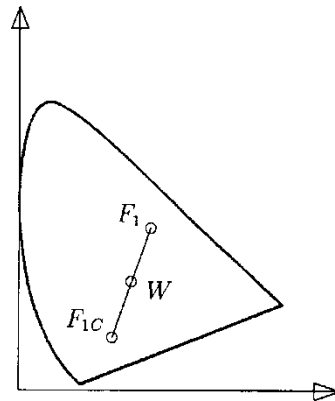
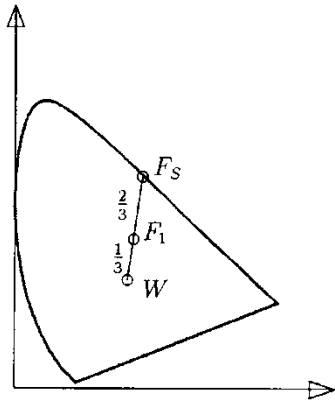
CIE Normfarbtafel

- 1931 wurde durch die CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ein internationaler Standard beschlossen, der ein Modell zur Verfügung stellt, in dem jede Farbe als gewichtete Summe dreier (künstlicher) Grundfarben dargestellt werden kann.
- um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung (Farbe) und den physikalischen Ursachen des Farbreizes (Farbvalenz) herzustellen.
- Es wurden 3 standardisierte Primärfarben X, Y und Z definiert mit ihren Normspektralwertkurven.
- Diese Normspektralwertkurven beinhalten die physiologische Komponente, dies sind keine physikalischen Funktionen. Die Werte sind teilweise experimentell ('farbmetrischer Normalbeobachter 1931'), teilweise über Definitionen festgelegt.

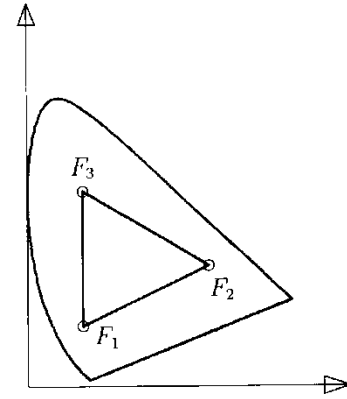
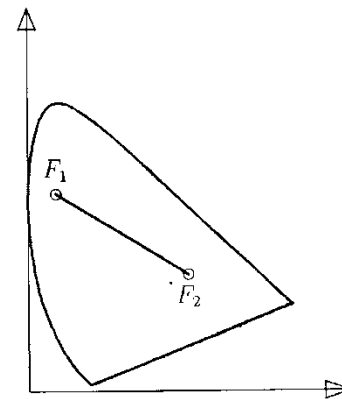


Sinn und Nutzen der CIE-Normfarbtafel:

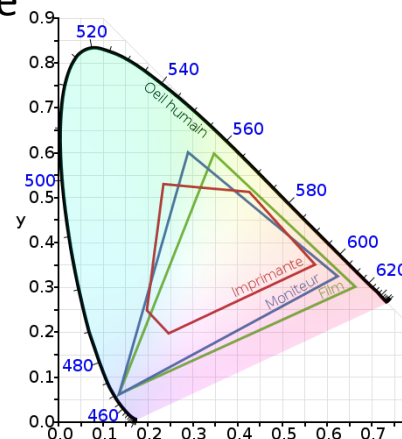
Finden von Komplementärfarben, Farbe und Reinheit, Definition einer Farbpalette



quantitative Messung der Parameter Farbe
und Reinheit des Punktes F_1 ;
Komplementärfarben F_1 und F_{1C}



Farbpaletten definiert
durch (a) 2 und (b) 3
Punkte



Alle Farben auf der Linie
bzw. im Dreieck sind
durch Mischen von F_1
und F_2 bzw. F_1, F_2 und F_3
darstellbar

Zusammensetzung

beliebige Farbe setzt sich zusammen aus Farbanteilen von X,Y,Z

Beispiel:

	x	y
rot	0,628	0,346
grün	0,268	0,558
blau	0,150	0,070
weiß	0,333	0,333

$$z = 1 - x - y$$

Siehe auch <http://olli.informatik.uni-oldenburg.de/Grafiti3/>

Einsatz von Farbe

- Farbe sollte generell sehr konservativ eingesetzt werden. Bei zu sorglosem Umgang mit Farbe kann die Leistungsfähigkeit der Benutzer sehr stark reduziert werden und eher schlechter sein als bei entsprechenden Monochrom-Darstellungen.
- Die wichtigste Regel: Farben sollten nach einer bestimmten Methode ausgewählt werden, z.B. Farben von konstanter Helligkeit oder mit gleichem Farbabstand.

Richtlinien

- reines Blau sollte für Text, dünne Linien und kleine Objekte vermieden werden
- zu viele Farben mit unterschiedlicher Bedeutung überfordern die Aufnahmefähigkeit (die Zahl für auf einen Blick erfassbare Objekte liegt bei 5 2)
- zusammengehörende Objekte sollten auf gleichem Hintergrund dargestellt werden
- ähnliche Farben sollten ähnliche Bedeutung signalisieren
- 'warme' Farben (größere Wellenlänge) und 'kalte' Farben sollten zur Anzeige der gewünschten Tätigkeit eingesetzt werden: kalte Farben → Statusinformation, warme Farben → Anzeige einer Tätigkeit
- Hintergrund soll nach Möglichkeit einfarbig sein
- nicht zu starke Helligkeitsunterschiede
- schwer unterscheidbare Farbkombinationen vermeiden (blau/schwarz, gelb/weiß)

Beispiel

Einsatz von Farbe zur Prozessführung

- Untergrund sollte schwarz oder grau sein, weiß entsättigt die Farben
- Codieren durch Farben: einer bestimmten Informationskategorie wird eine bestimmte Farbe zugeordnet
- dabei sollten Farben redundant zu anderen Codes verwendet werden (Bsp. Verkehrsampel: rot ist immer oben)
- Wichtiges muss auffälliger wirken als Unwichtiges
- die Bedeutung sollte verbreiteten Gewohnheiten entsprechen (grün für die Kennzeichnung sicherer zustände, nicht gelb oder rot)
- Hintergrundbilder (statisch) sollen weniger auffällig sein als die ständig vom Prozess aktualisierten Variablen
- das Auftreten von Ereignissen muss auffällig sein (Alarme immer rot, zusätzlich blinkend)
- Codierung von Medien:
 - auf Rohrleitungen von verfahrenstechnischen Anlagen werden Farben aufgebracht, die den darin transportierten Stoff kennzeichnen, man kann dadurch auch Kreisläufe deutlich herausstellen. Beispiel: durch dynamisches Färben und Entfärben von Rohrleitungen und Behältern kann man anschaulich machen, ob diese leer sind, gerade gespült werden oder einen bestimmten Stoff führen
 - Medienfarben sollen jedoch weniger auffällig als die zur Kennzeichnung von Zuständen eingesetzten Signalfarben sein (Verwendung von ungesättigten Farben)