

KIT Computergrafik, WS 15/16

Paul Jungeblut

18. Januar 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Bilder, Farbe und Perzeption	2
1.1	Transferfunktion	2
1.1.1	Quantisierung	3
1.1.2	γ -Korrektur	3
1.2	α -Kanal	4
1.3	Licht	4
1.3.1	Wahrnehmung von Licht	4
1.4	Farbräume	4
1.4.1	Graßmannsche Gesetze	5

Dieses Skript ist inoffiziell zur Vorlesung Computergrafik am KIT im Wintersemester 2015/2016 entstanden. Dieses Skript erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Korrektheit.

Die Vorlesung wurde von Prof. Dr. Carsten Dachsbacher gehalten und dieses Skript orientiert sich an seinen Folien.

Kapitel 1

Bilder, Farbe und Perzeption

In der Computergrafik geht es um die Erzeugung und Manipulation von Bildern. Diese Bilder sind meiste 2D Arrays aus farbigen Pixeln. Der Speicher, in dem die Farbe mit drei Werten für rot, grün und blau gespeichert wird, heißt [Framebuffer](#). Heutzutage sind 8 Bit pro Farbe in einem Framebuffer üblich. Steht weniger zur Verfügung, müssen fehlende Farben durch Anordnung verfügbarer Farben nachgebildet werden. Sind die Pixel ausreichend klein, werden so Mischfarben wahrgenommen.

1.1 Transferfunktion

Höhere RGB-Werte bedeuten eine hellere Farbe. Wie hell genau eine Farbe erscheint, wird durch eine [Transferfunktion](#) f beschrieben. Man kann die Transferfunktion für ein Graustufenbild oder per Farbkanal betrachten.

$$f : [0, N] \rightarrow [I_{min}, I_{max}]$$

Dabei bildet f vom Wert des Pixels auf eine Helligkeit zwischen der minimalen und maximalen Displayhelligkeit I_{min} und I_{max} ab. Sie hängt von den physikalischen Eigenschaften des Displays ab.

Die maximale Helligkeit I_{max} gibt an, wie hell ein Pixel sein kann. Bei LCDs beträgt sie meist weniger als 10% der Hintergrundbeleuchtung des Displays. Die minimale Helligkeit I_{min} ist die Menge Licht, die für ein schwarzes Pixel emittiert wird.

Neben dem vom Display emittierten Licht, reflektiert auch noch Umgebungslicht mit Intensität k an der Oberfläche. Dieses hat einen großen Einfluss auf den Kontrast, der am Bildschirm wahrgenommen werden kann. Der [Dynamikumfang](#)

$$R_d := \frac{I_{max} + k}{I_{min} + k}$$

beschreibt den maximalen Kontrast des Displays.

Die Transferfunktion sollte so ausfallen, dass aufeinander folgende Pixelwerte keinen sichtbaren Helligkeitsunterschied haben. Ist diese Forderung nicht erfüllt, können Bänder auf glatten Bildbereichen erscheinen. Menschen können einen Helligkeitsunterschied von etwa 2% wahrnehmen. In dunklen Bereichen werden also kleinere Schritte der Transferfunktion benötigt.

1.1.1 Quantisierung

Die Transferfunktion kann verschieden quantisiert sein. Die verschiedenen Möglichkeiten unterscheiden sich dabei in der Größe der Helligkeitsschritte zwischen aufeinander folgenden Farbwerten.

Bei einer **linearen Quantisierung** (gleich große Helligkeitsschritte), muss jeder Schritt kleiner als 2% von I_{min} betragen. Um Helligkeiten bis I_{max} darzustellen werden

$$\frac{I_{max} - I_{min}}{0.02 \cdot I_{min}}$$

Schritte benötigt. Bei LCDs mit Dynamikumfang 100:1 sind dies etwa 5000 Schritte. Dies würde 12-13 Bit pro Farbkanal erfordern. Vorteil der linearen Quantisierung ist jedoch die einfache Arithmetik mit Pixelwerten.

Alternativ könnte die Transferfunktion exponentiell quantisiert sein, mit genau 2% zwischen zwei Pixelwerten. Bei einer **exponentiellen Quantisierung** ist $0 \mapsto I_{min}$, $1 \mapsto 1.02 \cdot I_{min}$, $2 \mapsto 1.02^2 \cdot I_{min}$, usw. Da $\log_{10} 1.02 \approx \frac{1}{120}$, werden ca. 120 Schritte für eine Verzehnfachung der Helligkeit benötigt. In diesem Fall reichen also 8 Bit gerade aus, um die 240 Schritte zu ermöglichen, die ein LCD mit Dynamikumfang 100:1 bräuchte.

Als Approximation der exponentiellen Quantisierung wird in der Praxis häufig eine **potenzfunktion basierte Quantisierung** eingesetzt.

$$I(n) = \left(\frac{n}{N}\right)^\gamma \cdot I_{max}$$

Der Exponent γ muss in diesem Fall immer mit angegeben werden. Ist $\gamma = 1$ hat man eine lineare Quantisierung.

1.1.2 γ -Korrektur

In diesem Abschnitt gelten vereinfachend die Idealwerte $I_{min} = k = 0$ und $I_{max} = 1$. Mit insgesamt N Schritten ($N = 256$ bei 8 Bit) wird ein Pixelwert n auf die Intensität $I(n)$ abgebildet.

$$I(n) \propto \left(\frac{n}{N}\right)^\gamma$$

Der γ -Wert charakterisiert das Display. In der Computergrafik wird ein Pixelwert α aber üblicherweise in einem linearen Raum berechnet. Bei der Darstellung will man, dass ein doppelter Wert doppelte Helligkeit bedeutet. Pixelwerte werden daher *direkt vor der Darstellung* einer **γ -Korrektur** unterzogen. Damit $I(n) \propto \alpha$ ist, wird $\alpha \propto \alpha^{\frac{1}{\gamma}}$ verwendet. Diese Korrektur wird unabhängig für jede Primärfarbe durchgeführt

1.2 α -Kanal

Oft werden Bilder 32 Bit pro Pixel kodiert. Ein Beispiel ist das RGBA-Format, wo neben den Primärfarben rot, grün und blau zusätzlich 8 Bit für einen α -Kanal zur Verfügung stehen. Der α -Wert gibt die Opazität (Gegenteil von Transparenz) an. Die Verwendung eines Alphakanals erlaubt es, Details von der Geometrie in die Textur zu verlagern und so das Rendern der Szene zu beschleunigen.

1.3 Licht

Licht ist elektromagnetische Strahlung. Eine elektromagnetische Welle hat eine Wellenlänge λ und eine Frequenz $\nu = \frac{c}{\lambda}$. Jede solche Wellenlänge repräsentiert eine **Spektralfarbe**. Sichtbares Licht hat Wellenlängen zwischen 380 nm-700 nm. Licht ist in der Regel zusammengesetzt aus vielen verschiedenen Wellenlängen, jede mit einer bestimmten Intensität. $P(\lambda)$ ist die **Strahlungsleistung** der Wellenlänge λ .

Das menschliche Auge kann die spektrale Zusammensetzung von Licht nicht erfassen. Es passt sich zudem den äußeren (physikalischen) Umständen an. Als Rezeptoren dienen **Stäbchen** und **Zapfen**. Die ca. 120 Millionen Stäbchen sind sehr lichtempfindlich und eignen sich für monochromatisches Nachtsehen. Mit ca. 6-7 Millionen Zapfen ist trichromatisches Tagsehen möglich. Es gibt drei Arten von Zapfen, die sich in ihrer Empfindlichkeit bezüglich verschiedener Lichtspektren unterscheiden: S-Zapfen (7%) entsprechen dem blauen Licht, M-Zapfen (37%) dem (gelb-)grünen und L-Zapfen (56%) dem (orange-)roten Licht.

1.3.1 Wahrnehmung von Licht

Die Wahrnehmung von Licht erfolgt anhand des Tripels (s, m, l) mit

$$s = \int S(\lambda)P(\lambda) \, d\lambda, \quad m = \int M(\lambda)P(\lambda) \, d\lambda, \quad l = \int L(\lambda)P(\lambda) \, d\lambda.$$

Daraus folgt, dass es unterschiedliche Spektren mit unterschiedlichen Wellenlängen und Intensitäten gibt, die zur gleichen Wahrnehmung führen. Diesen Effekt bezeichnet man als **Metamerismus**. Der Metamerismus ist von elementarer Bedeutung in der Computergrafik, denn so kann ein Monitor mit drei Primärfarben den gleichen Eindruck vermitteln wie ein komplexes Spektrum.

1.4 Farbräume

Grundsätzlich kann zwischen **additiver** und **subtraktiver Farbmischung** unterschieden werden.

Bei additiver Farbmischung sind Rot, Grün und Blau die drei Primärfarben. Die Farbkombination entsteht durch *Addition* der Spektren.

Bei der subtraktiven Farbmischung sind die Primärfarben Cyan, Gelb und Magenta. Die Farbkombination entsteht durch *Multiplikation* der Spektren.

1.4.1 Graßmannsche Gesetze

- Farbe ist eine dreidimensionale Größe (z. B. rot/grün/blau oder Farbton/Sättigung/Helligkeit).
- [Superpositionsprinzip](#): Die Intensität einer additiv gemischten Farbe entspricht der Summe der Intensitäten der Ausgangsfarben.
- Der Farbton einer additiven Mischfarbe hängt nur vom Farbeindruck der Ausgangsfarben ab und nicht von deren Spektren. Auf die spektrale Zusammensetzung kann nicht rückgeschlossen werden. Beim Addieren von Spektren können einzelne Spektren also durch Metamere ersetzt werden, ohne dass sich der Farbeindruck ändert.