

# Chromatische Adaption und Farbkonstanz

Verena Becker

Universität Koblenz-Landau  
Institut für Computergrafik, AG Computergrafik

## 1 Einführung

Ohne dass wir es merken, verändert sich unsere Umwelt ständig. Verlassen wir morgens das Haus und kommen mittags wieder, ist für uns die Hausfarbe noch immer dieselbe, tatsächlich aber haben sich die Farben des Hauses und die der gesamten Umgebung verändert. Dass wir Farben unter unterschiedlichen Lichtverhältnissen immer gleich wahrnehmen, liegt am Prozess der chromatischen Adaption. Diesen Mechanismus will man sich auch in der digitalen Bildbearbeitung zunutze machen und ist bestrebt, die chromatische Adaption synthetisch nachzubilden.

## 2 Chromatische Adaption und Farbkonstanz

Adaption ist der dynamische Prozess, bei welchem sich ein Sinnesorgan an äußerliche Reize anpasst, abhängig von der Intensität des jeweiligen Reizes.<sup>1</sup> Diese Anpassung kann sehr schnell erfolgen, zum Beispiel innerhalb weniger Sekunden, oder sich sogar über Jahre hinweg ziehen.<sup>2</sup> Das Resultat einer Adaption ist, dass das Organ weniger sensibel auf den Reiz reagiert. Beim Menschen kann zum einen eine akustische Adaption stattfinden, beispielsweise wenn in einem Raum ein hoher Lärmpegel herrscht,<sup>3</sup> andererseits eine Anpassung des Auges an verschiedene Lichtverhältnisse durch Größenänderungen der Pupille und Änderung der Empfindlichkeit der Fotorezeptoren.<sup>4</sup> Im Folgenden wird auf die verschiedenen Adaptionen des Auges eingegangen.

### 2.1 Helladaption

Betrachten wir in der Nacht einen wolkenlosen Himmel, können wir problemlos die Sterne sehen. Tagsüber sind die Sterne immer noch vorhanden, trotzdem ist es nur schwer möglich, sie mit bloßem Auge am blauen Himmel zu entdecken. Das liegt daran, dass der Himmel und die Umgebung tagsüber durch die Sonnenstrahlen um einiges

---

<sup>1</sup> Vgl. Süsstrunk, Sabine et al.: Chromatic Adaptation Performance, als PDF online auf: [http://ivrgwww.epfl.ch/research/past\\_topics/chromatic\\_adaptation.html](http://ivrgwww.epfl.ch/research/past_topics/chromatic_adaptation.html), Stand: 27.4.2009, S. 1.

<sup>2</sup> Vgl. Fairchild, Mark: Color Appearance Models, S. 147.

<sup>3</sup> Vgl. Wikipedia: Adaption (Akustik), URL: [http://de.wikipedia.org/wiki/Adaptation\\_\(Akustik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Adaptation_(Akustik)), Stand: 27.4.2009

<sup>4</sup> Vgl. Mischler, Georg: Glossar der Lichtplanung, URL: <http://www.schorsch.com/de/kbase/glossary/adaption.html>, Stand: 27.4.2009

heller ist als in der Nacht und sich das Auge an diese Helligkeit anpasst. Daraus folgt, dass die visuelle Empfindlichkeit abnimmt.<sup>5</sup>

Diese Helladaption findet auch statt, wenn wir aus einem dunklen Raum in eine helle Umgebung wechseln, zum Beispiel wenn wir nach einem Kinobesuch hinaus ins Freie gehen und die Sonne scheint. Im ersten Moment kommt es zu einer starken Blendung und Konturen lassen sich nur schwer erkennen<sup>6</sup>, auch ist es möglich, dass wir einen leichten Schmerz verspüren.<sup>7</sup> Innerhalb von 20 bis 60 Sekunden haben wir uns an die neuen Lichtverhältnisse gewöhnt und können unsere Umgebung normal wahrnehmen.<sup>8</sup>

Bei Dunkelheit ist unsere Pupille vergrößert, um kleine Helligkeitsunterschiede gut erkennen zu können, bei dem Wechsel ins Helle kommt es dann zu einer Reizüberflutung, der mit Zusammenziehen der Pupille entgegengewirkt wird.

Helladaption ist also das Abnehmen der visuellen Empfindlichkeit bei steigender Lichtintensität.

## 2.2 Dunkeladaption

Respektive funktioniert die Dunkeladaption, wobei zwischen Dunkel- und Helladaption einige Unterschiede bestehen.

Nach dem Wechsel vom hellen Tageslicht in einen abgedunkelten Raum erkennen wir nur sehr wenig bis gar nichts und der Raum erscheint auf den ersten Blick schwarz.<sup>9</sup> Wohingegen bei der Helladaption die Anpassung an die Lichtverhältnisse innerhalb weniger Sekunden stattfindet, braucht es bei der Dunkeladaption mehrere Minuten, bis wir statt nur schwachen Konturen ganze Objekte erkennen können.<sup>10</sup> Die Pupille hat sich geweitet und für das Sehen sind nun hauptsächlich die Stäbchen verantwortlich. Stäbchen sind Fotorezeptoren, die bei schlechten Lichtverhältnissen aktiv sind und im Gegensatz zu den Zapfen keine Farben unterscheiden können.<sup>11</sup>

Bei der Dunkeladaption handelt sich also um das Ansteigen der visuellen Empfindlichkeit bei abnehmenden Lichtverhältnissen, jedoch geschieht dies im Gegensatz zur Helladaption nur langsam und stufenweise.<sup>12</sup>

## 2.3 Chromatische Adaption

Während bei der Hell- und Dunkeladaption nur die Lichtstärke Auswirkungen auf das menschliche visuelle System hat, kommt es bei der chromatischen Adaption auf die

---

<sup>5</sup> Vgl. Fairchild, Marc. S. 147.

<sup>6</sup> Vgl. Das Auge, URL: <http://brauche.eine.praezise.info/page62.htm>, Stand: 27.4.2009

<sup>7</sup> Vgl. Fairchild, Marc. S. 147.

<sup>8</sup> Vgl. Das Auge

<sup>9</sup> Mischler, Georg: Glossar der Lichtplanung

<sup>10</sup> Vgl. Fairchild, Marc. S. 148.

<sup>11</sup> Vgl. Ebner, Marc: Color Constancy, S. 10.

<sup>12</sup> Vgl. Fairchild, Mark. S. 148.

Lichtfarbe an.<sup>13</sup> Objekte erscheinen für uns Menschen unter unterschiedlichen Lichtverhältnissen konstant die gleiche Farbe zu haben, was man auch als Farbkonstanz bezeichnet. Folgende Beispiele sollen das Phänomen näher erklären.

Betrachten wir ein weißes Blatt Papier bei Tageslicht unter freiem Himmel, ist die Farbe des Papiers für uns weiß. Nehmen wir nun das gleiche Papier und betrachten es in einem Zimmer mit Kunstlicht, scheint das Papier immer noch dasselbe weiß zu haben. In Wirklichkeit aber hat es bei Tageslicht einen Blaustich und bei Kunstlicht einen Gelbstich, da das Tageslicht kurzwelliger ist als das Kunstlicht. Der Grund, warum wir beides als weiß wahrnehmen können, ist, weil wir uns an die Umgebungsbeleuchtung gewöhnen können und somit eine chromatische Adaption stattfinden kann.<sup>14</sup>

Um die chromatische Adaption noch näher zu erklären, kann man auch so genannte Nachbilder als Beispiel nennen. Betrachten wir den oberen schwarzen Punkt in Abbildung 1 für etwa 30 Sekunden und blicken dann auf den schwarzen Punkt im darunter liegenden Bild, erscheint das Bild gleichmäßig beleuchtet zu sein. Nach einer kurzen Zeit erkennen wir wieder das ursprüngliche Bild mit zwei unterschiedlichen Beleuchtungen. Der Grund hierfür ist die Veränderung der Empfindlichkeit im menschlichen visuellen System. Durch das lange Ansehen des Cyans und Gelbs in der oberen Abbildung wird die Empfindlichkeit auf die Farben an den betroffenen Zapfen abgeschwächt. Deutlich wird dieser Effekt auch, wenn wir nach dem Ansehen des oberen Bildes auf eine weiße Fläche blicken. Nun sehen wir links eine rote und rechts eine blaue Fläche.

Der genaue Ablauf der chromatischen Adaption im Auge und Gehirn konnte von der Wissenschaft allerdings noch nicht genau nachgewiesen werden.<sup>15</sup>

## 2.4 Weißabgleich bei Kameras

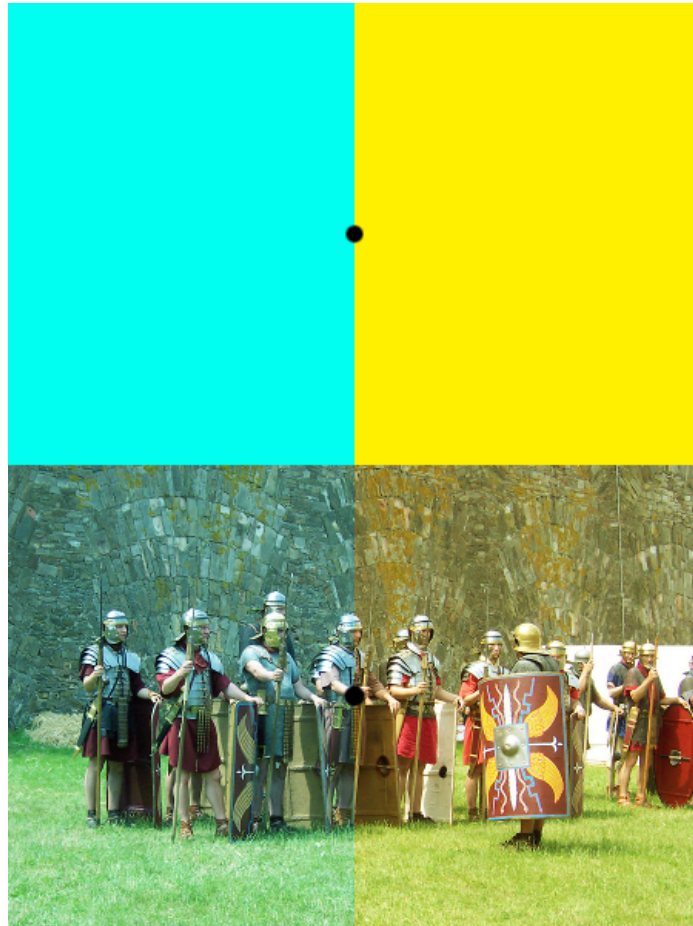
Wie in den vorherigen Unterkapiteln geschildert, ist es uns möglich unterschiedliche Beleuchtungen unbewusst zu verarbeiten und auszugleichen, damit wir Farben konstant erkennen können. In der Welt der Technik ist gibt es diese Möglichkeit nur begrenzt. Wahrscheinlich kennt jeder das Problem, dass Digitalkameras oder Scanner manchmal Farben unserer Meinung nach verfälscht darstellen. Eine weiße Hauswand, fotografiert am Mittag und am Abend, wird auf den Fotos unterschiedlich dargestellt. Die Wand auf dem ersten Foto sieht bläulicher aus, auf dem zweiten deutlich orangestichiger. Ein weiteres Beispiel ist fotografiertes Schnee, der auf der Fotografie ebenfalls mehr blau statt weiß erscheint.

Der Grund für diese Farbverfälschungen ist, dass die Kamera lediglich den aktuellen Ausschnitt der Welt aufnimmt und dabei nur begrenzt das Umgebungslicht erfassen kann. Da wir, wie in 2.3 erklärt, das Umgebungslicht unbewusst verarbeiten, bemerken wir die abweichende Farbe in der wirklichen Welt nicht. Für Kameras gibt es mittlerweile Mechanismen, die die chromatische Adaption des Menschen versuchen nachzuempfinden, was auch als Weißabgleich bekannt ist. Dabei kann man zwischen mehreren Modi auswählen, zum Beispiel Kunstlicht, Wolken oder Sonnenschein. In der Kamera

<sup>13</sup> Süsstrunk, Sabine et al. S. 1.

<sup>14</sup> Vgl. ebd. S. 1.

<sup>15</sup> Vgl. Fairchild, Mark. S. 149.



**Abb. 1.** Blickt man etwa 30 Sekunden auf den schwarzen Punkt im oberen Bild und anschließend auf den unteren Punkt, erscheint die Beleuchtung im zweiten Bild fast gleichmäßig.

sind die verschiedenen Farbtemperaturen gespeichert, so dass Abweichungen ausgeglichen und schließlich so fotografiert werden kann, als würde die Szene mit optimalem weißen Licht beleuchtet werden. Einige Kameras sind auch in der Lage, die Umgebungsbeleuchtung automatisch zu erfassen und die bestmöglichen Farben auf dem Foto zu repräsentieren.<sup>16</sup>

Sollte das Bild dennoch falsche Farben aufweisen, gibt es die Möglichkeit das Bild nachträglich am Computer zu bearbeiten. Bildbearbeitungsprogramme wie Adobe Photoshop oder GIMP können mithilfe von Algorithmen das Bild optimieren und Farben korrigieren. Diese Programme verwenden verschiedene Algorithmen, auch bekannt als

---

<sup>16</sup> Vgl. Ebner, Marc. S. 2.

Chromatic Adaptation Transforms (CAT). Einen davon, die Retinex Theorie, wird im folgenden Kapitel ausführlich behandel.

### 3 Retinex Theorie

#### 3.1 Experimente

Der Erfinder der Polaroid Kamera Edwin Land beschäftigte sich viel mit der chromatischen Adaption beim Menschen und entwickelte mithilfe von J.J. McCann die Retinex Theorie, mit der man versucht die chromatische Adaption synthetisch nachzubilden. Retinex setzt sich aus Retina und Cortex zusammen und soll darauf hindeuten, dass die Farbkonzanz sowohl im Auge als auch im Gehirn stattfindet. Die Hauptaussage der Retinex Theorie ist, dass die Farbe eines Objekts von dem relativen Reflektionsspektrum der kurzen, mittleren und langen Wellenlängen abhängt, nicht nur von der gesamten Reflektion.<sup>17</sup>

Land und McCann führten Experimente mit so genannten Mondrianbildern durch. Piet Mondrian war ein abstrakter Maler und ist bekannt für seine Gemälde mit farbigen Rechtecken. Land und McCann benutzten ähnliche Bilder mit vielen Farbflächen und klaren Kanten, da Kanten, laut Land, für die chromatische Adaption sehr wichtig sind.<sup>18</sup> Abbildung 2 zeigt ein solches Mondrianbild.

Land und McCann beleuchteten das Mondrianbild mit einem einheitlichem Licht. Detektoren werden benutzt, um die Reflektionen an beliebigen Punkten messen zu können. Das Verhältnis der Reflektionen wird berechnet, indem man einen zufälligen Pfad durch das Mondrian zieht und die Helligkeitswerte einer Wellenlänge der dabei getroffenen Rechtecke misst. Ein Beispielpfad ist in Abbildung 2 zu sehen. In dieser Veranschaulichung wird nur der rote Kanal berücksichtigt, bei der Retinex Theorie müssen aber alle Kanäle einzeln berechnet werden.

Die Rotwerte entlang des Pfades im Mondrian sind folgende:

0.938, 0.094, 0.923, 0.070, 0.819, 0.605, 0.553.

Um das Verhältnis der Reflektionen ausrechnen zu können, nimmt man den Wert des ersten Rechteckes und teilt es durch den Wert des darauf folgenden Rechteckes. Multipliziert wird das mit dem Verhältnis der folgenden Rechtecke, so dass wir am Ende diese Gleichung haben:

$$\frac{0.938}{0.094} \cdot \frac{0.094}{0.923} \cdot \frac{0.923}{0.070} \cdot \frac{0.070}{0.819} \cdot \frac{0.819}{0.605} \cdot \frac{0.605}{0.553} = \frac{0.938}{0.553} = 1.70$$

Die Verhältnisse der Reflektionen aller getroffenen Rechtecke ist gleich mit dem Verhältnis, das man aus dem ersten und dem letzten Rechteck ausrechnen kann. Daraus lässt sich schließen, dass das Verhältnis nicht abhängig von dem gewählten Pfad ist, sondern nur von Anfang- und Endpunkt.<sup>19</sup>

<sup>17</sup> Vgl. Antal Papadakis: Retinex-Theorie, URL: <http://www.psychology48.com/deu/d/retinex-theorie/retinex-theorie.htm>, Stand: 27.4.2009

<sup>18</sup> Vgl. Ebner, Marc. S. 144.

<sup>19</sup> Vgl. ebd. S. 145.



**Abb. 2.** Das Mondrianbild mit einen beliebigen Pfad. (Quelle: Ebner, Marc: Color Constancy, S. 145)

Wird über das Mondrianbild ein Gradient gelegt, wie man es in Abbildung 3 sehen kann, wird eine ungleichförmige Beleuchtung simuliert. Der Gradient wird so gewählt, dass Start- und Endpunkt die gleiche Farbe haben und es wird in diesem Beispiel wieder nur der rote Kanal berücksichtigt. Durch den Gradienten verändert sich der Rotwert innerhalb eines Rechteckes minimal, so dass beim Berechnen des Verhältnisses die Werte vom Austritt aus dem Rechteck und vom Eintritt des darauf folgenden genommen werden müssen. Daraus ergibt sich analog zu der Gleichung oben folgende Berechnung:

$$\frac{0.602}{0.060} \cdot \frac{0.066}{0.653} \cdot \frac{0.673}{0.051} \cdot \frac{0.058}{0.675} \cdot \frac{0.733}{0.542} \cdot \frac{0.569}{0.521} = 1.70$$

Obwohl die Beleuchtung anders ist als im ersten Versuch und Anfang- und Endpunkt dieselbe Farbe haben, ist die relative Reflektion der beiden Punkte in beiden Bildern gleich. Warum ist das so? Wenn der Pfad an der Grenze von einem Rechteck ins nächste geht ist die Beleuchtung (bzw. der Gradient) fast identisch und die Beleuchtung hebt das Verhältnis auf.<sup>20</sup>

Mit dieser Methode können wir allerdings nur das Verhältnis der Reflektion zweier Rechtecke berechnen, wichtig ist aber auch, die Reflektion eines einzelnen Rechteckes bzw. eines einzelnen Punktes herausfinden zu können. Bei der Retinex Theorie wird hierfür die Hilfe einer Referenzstelle genommen, die den maximalen Reflektionswert von 1.0 haben soll. Wird nun das Verhältnis eines beliebigen Punktes und der Referenzstelle wie zuvor berechnet, erhalten wir die Reflektion des gewählten Punktes.

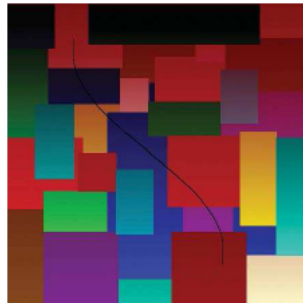
Um diese Referenzstelle zu finden, werden mehrere Pfade durch das Bild gezogen. Der Anfangspunkt wird automatisch auf den Reflektionswert von 1.0 gesetzt. Als nächstes teilt man den Helligkeitswert des folgenden Rechteckes durch den Helligkeitswert des aktuellen Rechteckes. Ist das Ergebnis größer als 1, wird es auf 1.0 zurückgesetzt.<sup>21</sup>

Dieses Vorgehen der Berechnung der Reflektionen benutzen Land und McCann für ihren Retinex Algorithmus. Dabei nutzten sie den Logarithmus, um statt dem ursprünglichen Produkt eine Summe zu erhalten. Auch andere Wissenschaftler nahmen

<sup>20</sup> Ebner, Marc. S. 145f.

<sup>21</sup> Vgl. ebd. S. 146f.

die Retinex Theorie als Vorlage und beschrieben mit einigen Änderungen ihre Version des Retinex Algorithmus.



**Abb. 3.** Das Mondrianbild mit einem Gradienten, so dass Anfang- und Endpunkt dieselbe Farbe haben. (Quelle: Ebner, Marc: Color Constancy, S. 146)

### 3.2 Algorithmus

Eine fast eins-zu-eins Umsetzung von Lands Retinex Theorie in einen Algorithmus gibt es von Moore et al., der einzige Unterschied besteht in einer anderen Berechnung eines unscharfen Bildes.

Als erstes wird der Logarithmus der Intensitäten der drei Kanäle berechnet, anschließend das unscharfe Bild der Logarithmen. Nun muss das unscharfe Bild wieder vom Logarithmus abgezogen werden, woraus folgende Gleichung entsteht:

$$o'_i(x, y) = \log(c_i(x, y)) - \log(c_i) \otimes e^{\frac{|r|}{\sigma}}$$

$o'_i$  ist der Farbkonstanzdeskriptor, wobei  $i$  aus  $\{r, g, b\}$  besteht.  $\otimes$  steht für die Faltung.  $r$  ist die Distanz des aktuellen Pixels.  $\sigma$  ist die Größe der Faltung.

Wie der Algorithmus verfälschte Farben verarbeitet, ist in Abbildung 5 zu sehen. Abbildung 4 zeigt die Originalbilder mit den deutlich erkennbaren unterschiedlichen Beleuchtungen. Das linke Bild bekommt seinen Oranigestich durch eine orangene Beleuchtung, während das rechte zwei unterschiedliche Beleuchtungen hat. Zum einen fällt Sonnenlicht durch einen blauen Vorhang, zum anderen erzeugt die Tischlampe eine gelbe Fläche. In Abbildung 5 wurde die künstliche und verfälschte Beleuchtung mit dem Algorithmus entfernt und beide Flächen erscheinen nun in einem weiß. Mit der Farbe ist aber auch der Kontrast verschwunden.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Vgl. ebd. S 166ff.



**Abb. 4.** Das linke Bild wird mit gelbem Licht beleuchtet. Das rechte erhält seine blaue Farbe durch Sonnenlicht, das durch einen Vorhang scheint und die gelbe durch eine Tischlampe. (Quelle: Ebner, Marc: Color Constancy, S. 104)



**Abb. 5.** An beiden Bildern wurde der Retinex Algorithmus nach Moore et al. durchgeführt. (Quelle: Ebner, Marc: Color Constancy, S. 168)

## 4 Fazit

Für Fotografien ist es wichtig, Farben so darstellen zu können, wie sie unter optimaler Beleuchtung aussehen würden. Der Weißabgleich in Kameras ist für uns heutzutage eine große Hilfe, doch nicht immer erhalten wir das Ergebnis, das wir uns wünschen. Auch in der Computergrafik und Farbdarstellung an Bildschirmen müssen Farben naturgetreu dargestellt werden können. Algorithmen für chromatische Adaptionen gibt es viele, jeder mit seinen Vor- und Nachteilen. Der hier genannte Retinex Algorithmus kann gut mit einer und mehreren Beleuchtungen umgehen, liefert aber nicht immer zufriedenstellende Ergebnisse. Trotzdem ist es noch nicht gelungen, die menschliche chromatische Adaption komplett nachzubilden, was im Gebiet der Computergrafik und Bildverarbeitung noch genug Spielraum für Verbesserungen lässt.

## Literatur

1. Das Auge, URL: <http://brauche.eine.praezise.info/page62.htm>, Stand: 27.4.2009
2. Ebner, Marc: Color Constancy West Sussex: John Wiley & Sons Ltd (2007)



3. Fairchild, Mark D.: Color Appearance Models. Second Edition. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd (2005)
4. Mischler, Georg: Glossar der Lichtplanung, URL: <http://www.schorsch.com/de/kbase/glossary/adaption.html>, Stand: 27.4.2009
5. Papadakis, Antal: Retinex-Theorie, URL: <http://www.psychology48.com/deu/d/retinextheorie/retinex-theorie.htm>, Stand: 27.4.2009
6. Süssstrunk, Sabine et al.: Chromatic Adaptation Performance on different RGB sensors, als PDF online auf: [http://ivrgwww.epfl.ch/research/past\\_topics/chromatic\\_adaptation.html](http://ivrgwww.epfl.ch/research/past_topics/chromatic_adaptation.html), Stand: 27.4.2009
7. Wikipedia: Adaption (Akustik), URL: [http://www.wikipedia.de/Adaption\\_\(Akustik\)](http://www.wikipedia.de/Adaption_(Akustik)), Stand: 27.4.2009