

Farbmanagement für die digitale Übertragungskette von einer digitalen Kamera bis zum Monitor

T. Q. Khanh, Ole Gonschorek

ARRI AG München, Abt. R&D

Türkenstr. 89, 80799 München

eMail: Tkhanh@arri.de

1. Motivation

In der Film- und Fernsehindustrie werden Bilder mit unterschiedlichen Ein- und Ausgabegeräten aufgenommen, gespeichert und betrachtet. Jedes Gerät bildet abhängig von den verwendeten optischen Komponenten einen eigenen Farbraum ab. Dieses Problem beginnt schon bei der Aufnahme. Bisher konnte noch keine Farbbildkamera entwickelt werden, deren Farbeigenschaften der menschlichen Farbwahrnehmung entspricht.

Aufgrund der immer fortschreitenden Entwicklung in der Digitaltechnik und der medialen Nutzung der unterschiedlichsten Techniken werden die gewonnenen Bilder auf verschiedenen Medien dargestellt (Bild 1). Diese Medien führen wiederum zu den unterschiedlichsten Farbeindrücken. Entscheidend ist hier nicht nur die verwendete Technik, auch zwischen Geräten des gleichen Typs kann es zu Abweichungen bei der Farbdarstellungen kommen. Zusätzlich spielt bei der Betrachtung auch noch die Farbe der Umgebungsbeleuchtung eine sehr starke Rolle. Ein Farbmanagement versucht nun, über die gesamte Produktionskette die Farbwiedergabe farbmetrisch exakt zu erhalten.

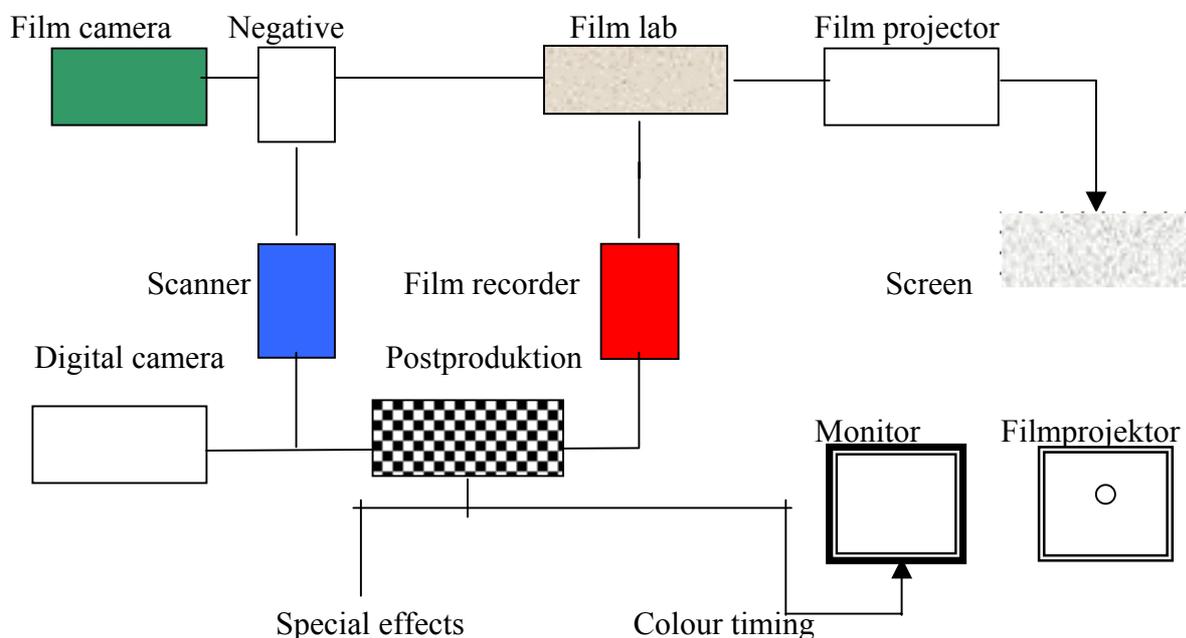


Bild 1: Kette der Farbbildverarbeitung in der Film- und Fernsehindustrie

Im Rahmen einer Projektarbeit wurde bei der Firma *Arnold & Richter Cinetechnik AG* der ICC-Farbmanagement-Standard für die digitale Übertragungskette von einer digitalen Kamera

bis zum Monitor untersucht, dessen Vorgehensweise und Ergebnisse nun kurz dargestellt werden.

2. Vorgehensweise

Der ICC-Farbmanagement-Standard erfordert die farbliche Charakterisierung der verwendeten Geräte. Die erkannten Farbeigenschaften der verwendeten Geräte werden in den sogenannten ICC-Profilen gespeichert. Die ICC-Profile ermöglichen nun eine transparente Farbtransformation der Farbwerte mittels einer Matrixtransformation oder einer Farbtransformation mittels 3D-Look-Up-Tabellen. Gegenstand der Untersuchung war eine 1-Chip-CMOS-Kamera und ein PC-Monitor. Beide Geräte wurden mittels Referenzfarben charakterisiert.

Für die Charakterisierung der CMOS-Kamera wurden die Referenztargets *Colorchecker DC* (177 Referenzfarben) der Firma Gretag Macbeth, *Dcam* der Firma Colorsolutions (574 Referenzfarben) und das Referenztarget *IT8.7* (288 Referenzfarben) der Firma Agfa verwendet. Die drei Referenztargets wurden farbmetrisch mit einem Spektralfotometer bestimmt. Für die Charakterisierung der CMOS-Kamera wurden die Referenztargets unter Tageslicht-Beleuchtung (Xenon-Scheinwerfer mit der Farbtemperatur 5500 K) und unter Kunstlicht-Beleuchtung (Halogen-Scheinwerfer mit der Farbtemperatur ca.3000 K) abfotografiert. Bei den Aufnahmen wurde die $45^\circ/0^\circ$ -Messgeometrie des verwendeten Spektralfotometers mit 2 Lichtquellen realisiert, und eine homogene Ausleuchtung der Referenztargets mit einem Leuchtdichteunterschied von unter 2% erreicht. Fehler, die durch eine inhomogene Ausleuchtung und durch eine winkelabhängige Reflektionseigenschaft der Referenztargets entstehen können, sind somit auf ein Minimum reduziert. Durch die Aufnahmen der Referenztargets standen nun insgesamt 1039 Referenzfarben zur Verfügung aus denen jeweils ein Kameraprofil für Tageslicht und Kunstlicht generiert wurde.

Der für die Betrachtung verwendete CRT-Monitor wurde mit Hilfe der Software *basICColor Monitor* auf die Farbtemperatur D55 kalibriert und mittels Referenzfarben charakterisiert. Unserer Erfahrung nach kann man CRT-Monitore über Modelle mit 3 Gamma-Kurven für drei Primärfarben unter der Annahme der Additivitätstheorie nicht wirklich ausreichend charakterisieren. Statt dessen charakterisierten wir für High-End-Anwendungen über 512 Farben inklusiv 21 Graustufen. Die Qualität der Farbproduktion am Monitor wurde durch ein *side by side* Vergleich visuell bewertet und farbmetrisch anhand von 24 Farben mit Hilfe des sich im CIELAB-Farbraum ergebenden Farbabstandes bestimmt.

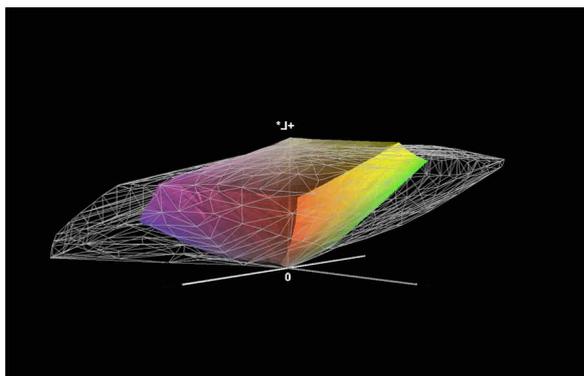
3. Ergebnisse

Die visuelle Auswertung ergab für die Aufnahmen unter Tageslicht zufriedenstellende Ergebnisse. Visuelle Vergleiche mit gleichen Aufnahmen mit den besten Digitalkameras von Canon D60 sowie mit der neuen Digitalkamera von Foveon und mit der neuen CMOS-Kamera von Kodak DCS Pro 14N zeigten, dass unsere Ergebnisse wenigstens ebenbürtig sind. Schwierigkeiten in der Farbproduktion am Monitor zeigten sich in gesättigten rot-grünen Mischfarben und in der Reproduktion einer neutralen Grauachse. Über die 24 Testfarben wird durch das ICC-Farbmanagement ein mittlerer Farbabstand von $\Delta E_m = 9,74$ erreicht, was gegenüber dem mittleren Farbabstand von $\Delta E_m = 53,05$ ohne ein Farbmanagement eine deutliche Verbesserung der Farbproduktion darstellt. Die farbmetrische Auswertung der Aufnahmen unter Kunstlicht zeigten zwar ähnliche Farbabstände wie bei Tageslicht $\Delta E_m = 8,93$, visuell war die Farbproduktion aber nicht zufriedenstellend.

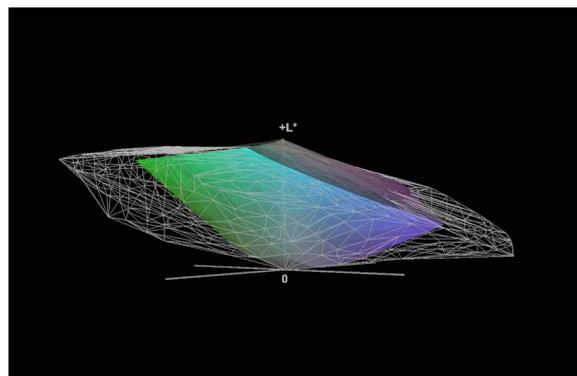
Ein Grund dafür ist in der chromatischen Adaption des Auges zu finden. Kunstlichtbeleuchtung besitzt einen sehr starken Rotlichtanteil. Das bildanzeigende Gerät ist

aber ein CRT-HDTV-Monitor, der auf D55 kalibriert war. Eine chromatische Adaption der CMOS-Kamera an die Kunstlichtbeleuchtung geschah in diesem Fall durch die Berechnung der CIELAB-Werte für die Referenzfarben, welche eine Adaption auf ein Referenzweiß bei der Umrechnung der Normvalenzwerte in den CIELAB-Farbraum realisiert. Auf diese Art und Weise eine chromatische Adaption der CMOS-Kamera zu erreichen, ist anscheinend nicht ausreichend. Sie führt zwar zu farbmtrisch zufriedenstellenden Ergebnissen, die menschliche Farbwahrnehmung wird dabei aber nicht berücksichtigt. Vielfach wurde nachgewiesen, dass CIELAB oder die Kries-Theorie bei der Bewältigung der chromatischen Adaptation nicht die richtigen Antworten liefern konnten.

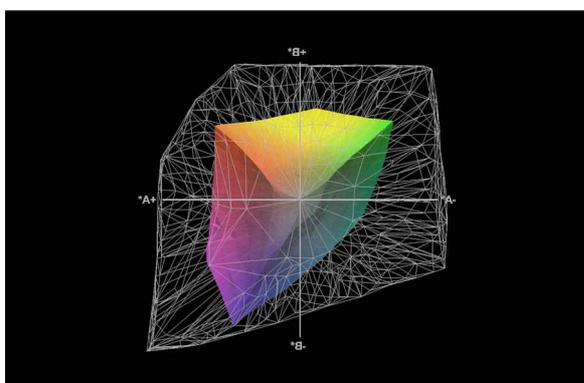
In Anschluß an die besagte Projektarbeit mit Farbmanagement wird eine Projektgruppe gegründet, die sich mit den Farbwahrnehmungsmodellen beschäftigt, um auch die Probleme der chromatischen Adaptation von Kunstlichtbeleuchtung zum Monitor bei D55 oder D65 und die Probleme der hohen Leuchtdichte bei der Kameraaufnahme (Farbfernsehaufnahmebedingung um $2000 \text{ lx} \cong \text{ca. } 600 \text{ cd/m}^2$ für Weißstandard und 80 cd/m^2 für Monitorweiß) zu untersuchen. Auch die Umgebungslichtbedingung sollte man berücksichtigen. Ausgehend vom erreichten Farbmanagement wurde das Farbwahrnehmungsmodell CIECAM02, das im November 2002 in Amerika vorgestellt wurde, in C++ programmiert und die Bilder danach transformiert. Über den Algorithmus mit CIECAM02 und die Art der Bildkorrektur sowie die Ergebnisse der visuellen Tests wird in dem Vortrag noch berichtet. Mit Einführung von CIECAM02 in die Arbeit möchten die Autoren die Ergebnisse nicht mehr in ΔE_m ausdrücken.



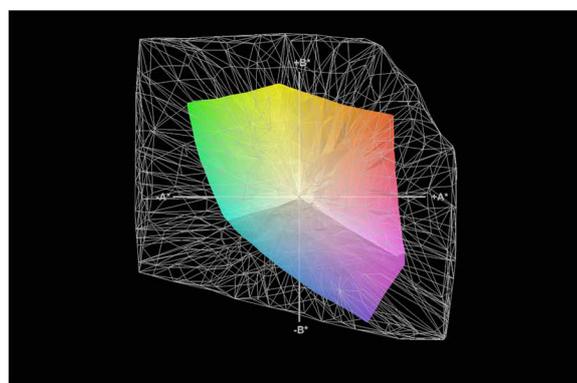
Front View



Back View



Bottom View



Top View

Bild 2: Farbräume der Kamera von

Ein Ergebnis der Arbeit ist es auch, Farbgamuts von der besagten Kamera und vom CRT-Monitor zu bestimmen und zu vergleichen. Bild 2 vergleicht die Farbräume der Kamera und des CRT-Monitors. Die Netzstruktur (wire frame) repräsentiert den Farbraum der untersuchten Kamera und das farbige Solid Body den des CRT-Monitors. Die vertikale Achse L ist die Helligkeitsachse und die beiden anderen Achsen die Blau-Gelb- und Grün-Rot-Achse. Die Front- und Backviews sind 3-dimensional und die Top- und Bottomviews sind eine 2-dimensionale Darstellung. Wie man sieht, ist der Farbraum des CRT-Monitors komplett vom Gamut der Digitalkamera umschlossen.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Anwendung des ICC-Farbmanagement zu einer deutlichen Verbesserung der Farbeigenschaften einer Digitalkamera führt. Qualitätsverbesserungen sind durch die Implementierung von modernen Farbwahrnehmungsmodellen in das ICC-Farbmanagement und durch die Anpassung der in 1-Chip-Kameras verwendeten Rot-, Grün- und Blau-Filttereigenschaften an die Augenempfindlichkeiten möglich.

Folgender Verbesserungsansatz wird vorgeschlagen:

- a) konsequente Verwendung der Farbwahrnehmungsmodelle
- b) Verbesserung der Sensorik der Kamera. Mit ΔE_m um 9,0 kann man noch durch Verbesserung der S/N und Optimierung von Auslesezyklen der Kamera auf $\Delta E_m = \text{ca. } 5-6$ verbessern.
- c) Optimierung der RGB-Kurven auf die Augenzapfenempfindlichkeit. Es ist heutzutage möglich mit Hilfe der Dünnschichttechnik diese Kurven an die LMS-Kurven anzugleichen.