

DIPLOMARBEIT

Peter Gerulat

FAD 407

Untersuchung von Farbabweichungen beim Datenaustausch
zwischen Adobe After Effects und Apple Final Cut



SAE Institute Hamburg

Peter Gerulat

Untersuchung von Farbabweichungen beim Datenaustausch
zwischen Adobe After Effects und Apple Final Cut

Diplomarbeit eingereicht im Rahmen der Abschlussprüfung
des *Digital Film and Animation Diploma* am SAE Institute Hamburg

Gutachter: Jan-Friedrich Conrad

Abgegeben am 19. September 2008

Peter Gerulat

Stud. Nr.: 67231
Kurscode: FAD 407

Thema der Diplomarbeit

Untersuchung von Farbabweichungen beim Datenaustausch zwischen Adobe After Effects und Apple Final Cut

Wortanzahl

8539

Stichworte

Adobe After Effects, Farbabweichungen, Farbräume, Final Cut Express HD, Final Cut Pro, Gammakorrektur, RGB, YUV, YCbCr

Kurzzusammenfassung

Beim Datenaustausch zwischen den Programmen Apple Final Cut Express HD oder Final Cut Pro und Adobe After Effects CS3 können aufgrund der verwendeten QuickTime-Codecs erhebliche Farbabweichungen entstehen. Diese Farbabweichungen entstehen durch einen im Codec festgelegten Gammawert von 2.2, der für das Arbeiten auf einem Mac auf den Wert 1.8 korrigiert werden muss. Adobe After Effects CS3 kann diese Korrektur automatisch vornehmen und bietet hierzu auch eine entsprechende Option an, so dass diese Farbabweichung aufgehoben werden kann. Trotzdem verbleibt aufgrund von Farbraumtransformationen eine geringe Farbabweichung erhalten, die aber mit bis zu 4 Bit pro Farbkanal vernachlässigbar klein ist.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
1.1	Problembeschreibung aus der Praxis.....	5
2.	Grundlagen	6
2.1	Farben sehen	6
2.2	Farbreiz, Farbvalenz & Farbempfindung	6
2.3	Farbmetrik	9
2.4	PAL (YUV-Farbmodell).....	12
2.5	YCbCr-Farbmodell	12
2.6	Gammakorrektur.....	13
2.7	Farbmanagement	14
2.8	Apple Final Cut	14
2.9	Adobe After Effects.....	14
3.	Untersuchungen	15
3.1	Konvertierungsfehler	16
3.2	Adobe After Effects Importproblem.....	18
3.3	Monitordarstellungsunterschiede.....	22
4	Schlussfolgerung	23
	Literaturverzeichnis	24

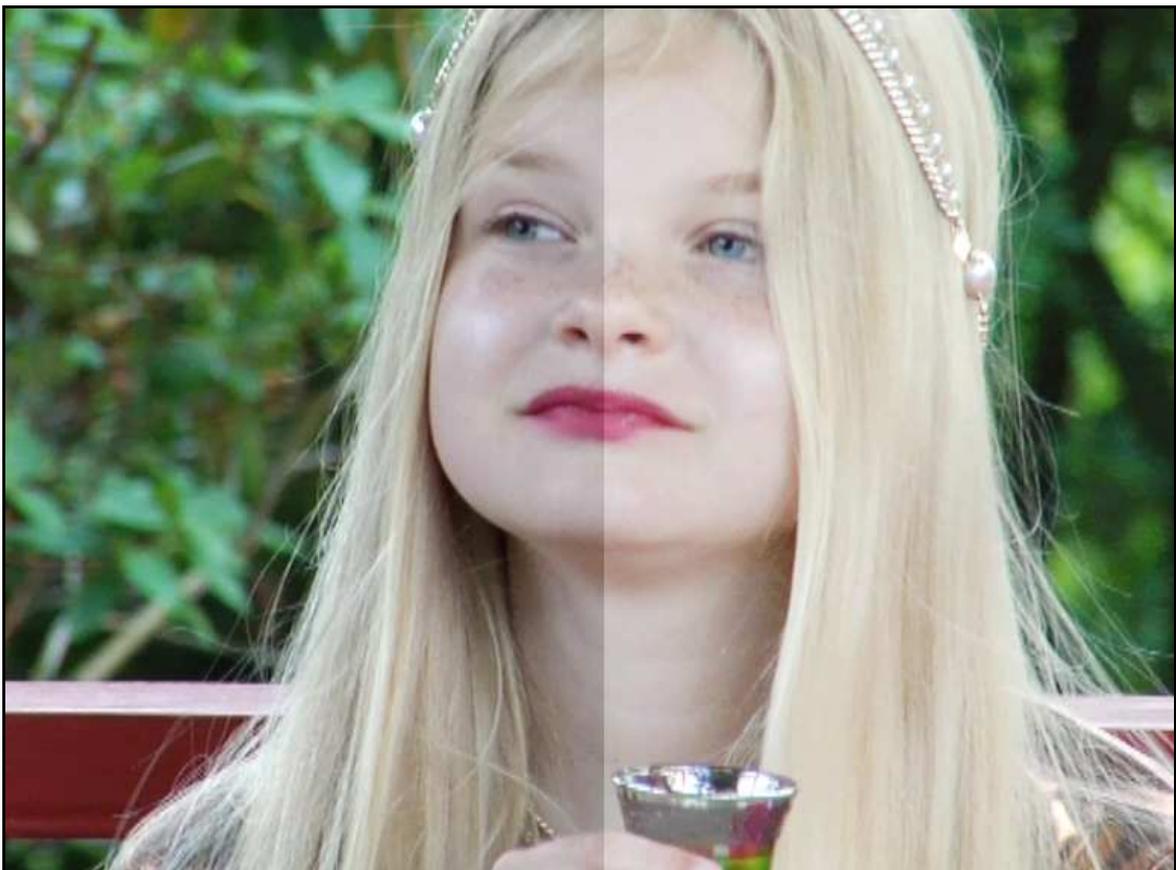
1. Einleitung

Der möglichst verlustfreie Datenaustausch zwischen Schnitt-, Compositing- und 3D-Programmen ist in der Postproduktion von zentraler Bedeutung, da er für die Qualität des Endproduktes mitverantwortlich ist. Man unterscheidet hier zwischen Abweichungen in der Farbe und Abweichungen in der Geometrie (z.B. Kompressionsartefakte). In dieser Arbeit sollen nur die auftretenden Farbabweichungen von DV-Material beim Datenaustausch zwischen Apple Final Cut und Adobe After Effects untersucht und genauer beschrieben werden.

1.1 Problembeschreibung aus der Praxis

Workflow: Auf MiniDV aufgenommenes PAL-Material wurde mit Final Cut Pro gecaptured und zur Weiterverarbeitung (hinzufügen von Effekten) in Adobe After Effects CS3 geöffnet. Nach dem Compositing wurde das Material in einem verlustfreien Format gespeichert und zum endgültigen Schneiden und Auspielen auf DVD nach Final Cut Express HD portiert.

Selbst ohne die Anwendung von Effekten in Adobe After Effects CS3 ergab sich am Ende dieser Bearbeitungskette eine erhebliche Farbverschiebung, die beispielhaft in der folgenden Abbildung ersichtlich ist.



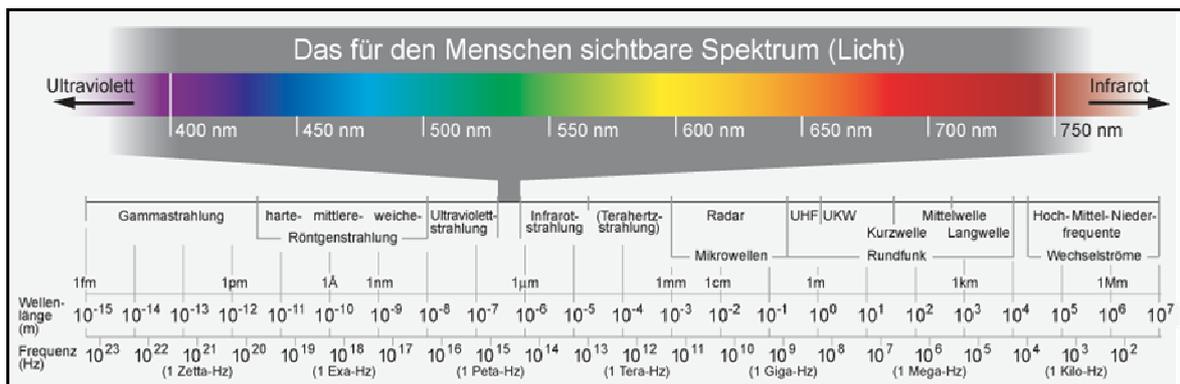
Die linke Bildhälfte zeigt das Originalbild und auf der rechten Hälfte ist das Ergebnis am Ende der Bearbeitungskette zu sehen.

Bevor dieses Verhalten genauer untersucht und beschrieben werden kann, werden im folgenden Kapitel erst einmal die zum Verständnis nötigen Grundlagen behandelt.

2. Grundlagen

2.1 Farben sehen

Die Umwelt überträgt in einem Lichtstrahl eine Information. Das, was wir als Farbe bezeichnen, ist eine Übersetzung dieser Information durch das Nervensystem. Farbe ist also keine eindeutig definierte physikalische Größe wie Länge, Masse oder Geschwindigkeit. Farbe ist vielmehr ein *Sinneseindruck*¹ wie Geruch oder Geschmack, sie ist die subjektive menschliche Wahrnehmung von elektromagnetischen Strahlungen die unsere Netzhaut reizen. Der vom menschlichen Auge wahrgenommene Wellenlängenbereich erstreckt sich dabei von 380 bis 780 nm.

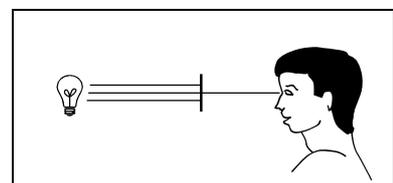
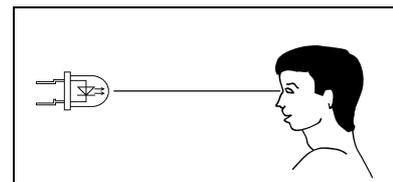


(Bildquelle: Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Electromagnetic_spectrum_c.svg, Horst Frank, Jailbird and Phrood, 17 Mar 2008)

2.2 Farbreiz, Farbvalenz & Farbempfindung²

Das auf unser Auge treffende Licht, d.h. das Spektrum der sichtbaren elektromagnetischen Strahlung, das durch direkte Reizung der Augennetzhaut von uns erkannt werden kann, bezeichnet man als **Farbreiz**¹. Dieser Farbreiz Φ_λ ist physikalisch messbar und kann auf drei verschiedene Arten entstehen:

- ① Die Strahlung einer Lichtquelle (z.B. einer Glühbirne oder einer LED) tritt direkt in unser Auge. Der Farbeindruck ist dabei abhängig von der Lichtquelle und dem von ihr emittierten Strahlungsspektrum $S(\lambda)$. Auch monochromatisches Licht, d.h. Licht von nur einer bestimmten Wellenlänge ist möglich (Laserlicht). $\Phi_\lambda = S(\lambda)$
- ② Die Strahlung einer Lichtquelle (z.B. einer Glühbirne) durchdringt einen Farbfilter und trifft dann erst in unser Auge. Hierbei werden bestimmte Farbanteile des Lichtes absorbiert, d.h. die entsprechenden Wellenlängen werden aus dem ursprünglichen Energiespektrum ausgefiltert.
 $\Phi_\lambda = S(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$
 $\tau(\lambda)$ ist dabei der spektrale Transmissionsgrad



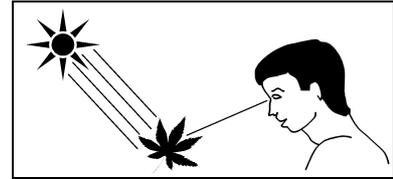
¹ DIN 5033, Teil 1

² Ausführliche Beschreibung: Bergmann / Schaefer, Kapitel 6 Farbmetrik

- ③ Die Strahlung einer Lichtquelle (z.B. der Sonne) fällt erst auf einen Körper. Ein Teil des Strahlungsspektrums wird absorbiert, der andere Teil wird remittiert und trifft von dort in unser Auge. Man spricht hier von Körperfarbe.

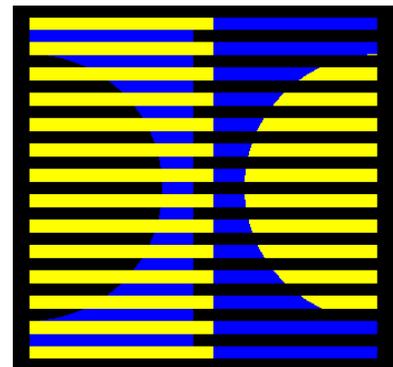
$$\Phi_{\lambda} = S(\lambda) \cdot \beta(\lambda)$$

$\beta(\lambda)$ ist dabei der spektrale Remissionsgrad



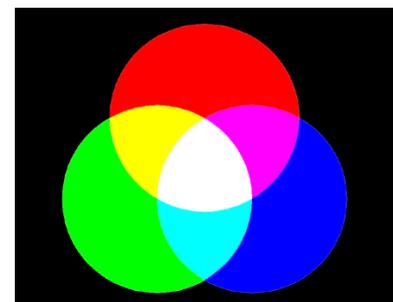
Die **Farbvalenz**³ ist die physiologische Stufe der Farbempfindung. Die Netzhaut unseres Auges besteht aus verschiedenen miteinander gekoppelten Elementen. Die Zapfen und Stäbchen stellen die lichtempfindlichen Elemente dar, während andere Zellen bereits eine Vorverarbeitung der Informationen vornehmen. *Die Stäbchen sind nur für Helligkeitsunterschiede empfindlich.*⁴ *Für das Farbsehen sind ausschließlich die Zapfen wirksam.*⁴ Die drei unterschiedlichen Zapfen enthalten Pigmente, die rot-, grün- und blauempfindlich sind und bei Lichteinwirkung entsprechende Signale erzeugen. Die Farbvalenz ist also eine Abbildung des Farbreizes auf die neuronalen Erregungszustände dieser drei Zapfenarten. Farbreize, die gleich aussehen, haben gleiche Farbvalenz, können aber natürlich eine völlig unterschiedliche spektrale Zusammensetzung des Lichtes haben und sind für das Auge nicht unterscheidbar. In so einem Fall spricht man von metameren Farbreizen.

Die Sehzellen geben über den Sehnerv die Erregung an das Sehzentrum im Gehirn weiter, wo eine **Farbempfindung** entsteht. *Welche Farbempfindung ein physikalischer Farbreiz auslöst, lässt sich allein mit den Mitteln der physikalischen Optik nicht klären. Das Zustandekommen der Farbempfindung ist das Ergebnis einer komplexen Wechselwirkung zwischen dem Farbreiz und dem Gesichtssinn.*⁵ Einfluss darauf haben z.B. die Geometrie (farbiger Simultankontrast, Bezold-Effekt) und zeitliche Faktoren (chromatische Adaptionen). Die beiden blauen Flächen auf dem rechten Bild haben den gleichen Farbreiz, erzeugen aber unterschiedliche Farbempfindungen. Aufgrund der Geometrie, d.h. der angrenzenden Farbflächen, erscheint das Blau auf der rechten Bildhälfte dunkler.



*Farbmaßzahlen dienen zur eindeutigen Kennzeichnung einer Farbvalenz. Dazu sind stets drei voneinander unabhängige Zahlenangaben notwendig und hinreichend. Eine Farbvarianz kann deshalb durch einen Punkt oder einen Ortsvektor in einem dreidimensionalen Raum (Farbraum) dargestellt werden.*⁶

Die Grundfarben R (für Rot mit $\lambda = 700,0$ nm), G (für Grün mit $\lambda = 546,1$ nm), und B (für Blau mit $\lambda = 435,8$ nm) selbst nennt man Primärvalenzen. Aus ihnen lassen sich die meisten Körperfarben durch additive Farbmischung erzeugen. Angegeben werden dabei die dimensionslosen, relativen Leuchtdichten der drei Mischungskomponenten R, G und B. *Normiert*



³ DIN 5033, Teil 1

⁴ Haferkorn, S. 524 ff

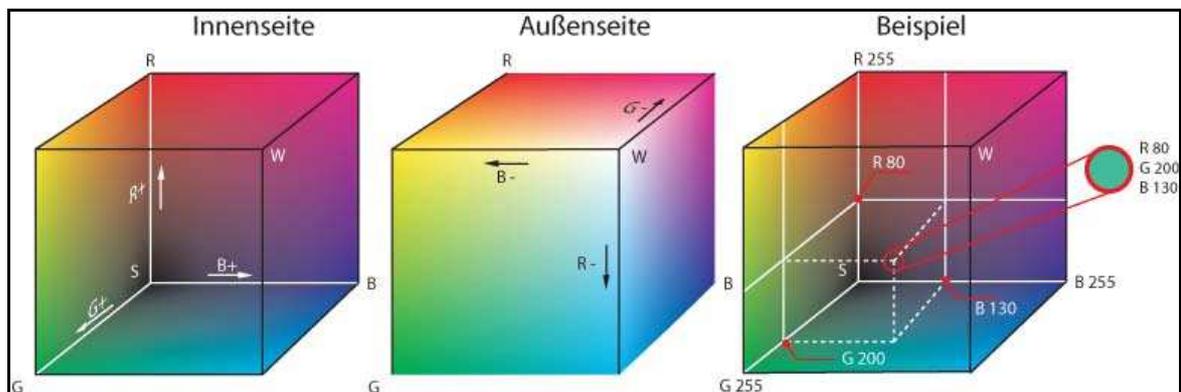
⁵ Bergmann / Schaefer, S. 670

⁶ DIN 5033, Teil 3

werden diese Farbwerte, indem man festlegt, dass sie für ein Weiß bestimmter Leuchtdichte die Werte $R = G = B = 1$ annehmen.⁷ Bei gleichmäßiger Reduktion aller drei Farbwerte (z.B. auf $R = G = B = 0,5$) ergibt sich Grau. Farben, bei denen $R = G = B$ ist, werden als Unbunt (Schwarz, Grau, Weiß) bezeichnet. Einige weitere Farbbeispiele befinden sich in der folgenden Tabelle:

R	G	B	Farbe
0	0	0	Schwarz
0	0	1	Blau
0	1	0	Grün
0	1	1	Cyan
1	0	0	Rot
1	0	1	Purpur oder Magenta
1	1	0	Gelb
1	1	1	Weiß

Die folgende Abbildung zeigt den RGB-Farbraum im kartesischen Koordinatensystem als Würfel. Der normierte Wertebereich von 0 bis 1 wird dabei auf 8 Bit pro Farbkanal, d.h. Zahlen zwischen 0 und 255, abgebildet. Dementsprechend können 16,8 Millionen Farbtöne dargestellt werden:



(Bildquelle: Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/RGB-Farbraum>, Horst Frank, 14 Nov 2004)

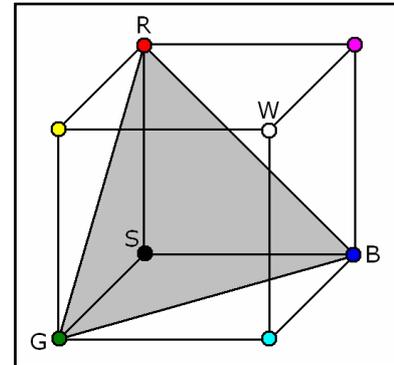
Im Gegensatz zum RGB-Farbmodell ist das CMY-Farbmodell ein subtraktives Farbsystem mit den Grundfarben Cyan, Magenta und Yellow, also den Komplementärfarben des RGB-Modells. Auch hier werden die Farben in einem Würfel dargestellt, in dem aber die Farbe Schwarz durch das Koordinatentripel $(1,1,1)$ und Weiß durch $(0,0,0)$ beschrieben wird. Die Entwicklung dieses Farbmodells geht auf seinen Einsatz in der Druckindustrie zurück; dort wird es oft auch als Prozess-Farben-Modell bezeichnet. Reale Tinte folgt allerdings nicht exakt dieser Vorgabe; die Mischung wird in der Praxis oft nicht dunkel genug. Aus diesem Grund hat man dem CMY-Modell eine weitere Primärfarbe, Schwarz, hinzugefügt. Der Name wurde auf CMYK-Farbmodell erweitert.

⁷ Bergmann / Schaefer, S. 696

2.3 Farbmatrik

Die Farbmatrik dient der quantitativen Farbfestlegung. Betrachten wir im RGB-Farbraum noch einmal die Darstellung der Farbvalenz durch einen Vektor, definiert durch eine Richtung und eine Länge. *Eine Längenänderung des Vektors – bei gleicher Richtung – entspricht einer Leuchtdichteänderung der betreffenden Farbvalenz. Die Farbart bleibt dabei erhalten.*⁸

Betrachtet man andererseits die Farbvalenzen mit gleicher Leuchtdichte, so unterscheiden sie sich nur in ihrer Farbart. Die Information über die Farbart allein lässt sich in einer Ebene darstellen, die sich aus einem diagonalen Schnitt durch den RGB-Würfel als sogenanntes Primärvalenzfarbdreieck ergibt. Das rechte Bild zeigt im RGB-Farbraum diese Ebene, die durch die Endpunkte der drei Basisvektoren R, G und B bestimmt ist.



*Ein beliebiger Vektor im Farbraum (bzw. seine Verlängerung) wird diese Ebene in einem Punkt durchstoßen, und alle Vektoren gleicher Richtung und unterschiedlicher Länge durchstoßen diese Ebene im selben Punkt. Jeder Punkt dieser Ebene stellt also eine bestimmte **Farbart** dar. Man nennt eine solche Ebene eine **Farbtafel**. Einer bestimmten Farbart entspricht auf der Farbtafel ein bestimmter Farbort.*⁹

Wenn R, G und B die Farbwerte einer beliebigen Farbvalenz sind und r, g und b die Farbwerte der Farbvalenz gleicher Farbart sind, deren Vektoren auf der Schnittebene enden, so gelten die folgenden Gleichungen:

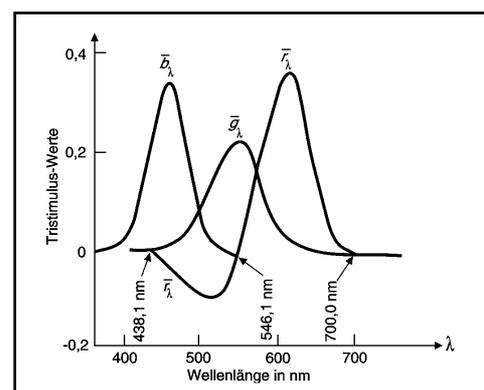
$$r + g + b = 1$$

$$r = R / (R + G + B), \quad g = G / (R + G + B), \quad b = B / (R + G + B)$$

*Man nennt die Größen r, g und b die **Farbwertanteile** einer Farbvalenz, und die Farbwertanteile bestimmen die Farbart der Farbvalenz. Da ihre Summe immer gleich 1 ist, genügt es, die beiden Werte r und g anzugeben, da $b = 1 - r - g$.*⁹

Spektralwerte sind die Farbwerte der Spektralfarben (monochromatische Lichter verschiedener Wellenlängen). Sie wurden in einem Experiment ermittelt, bei dem die Spektralfarbe mit einer additiven Mischung aus den drei Primärvalenzen R, G und B verglichen wurde. Das Experiment ergab, dass sich nicht alle Spektralfarben durch innere Mischung aus den drei Primärvalenzen erzeugen lassen. Als innere Mischung wird eine additive Mischung der Primärvalenzen bezeichnet, deren Farbwerte innerhalb des Primärvalenzfarbdreiecks liegen.

Die **Spektralwertkurven** (rechte Abbildung¹⁰) geben den Betrag der drei Primärvalenzen an, der nötig ist, um alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums zu erzeugen. Ein negativer Wert bedeutet, dass wir die Spektralfarbe nicht durch Addieren der Primärvalenzen R, G



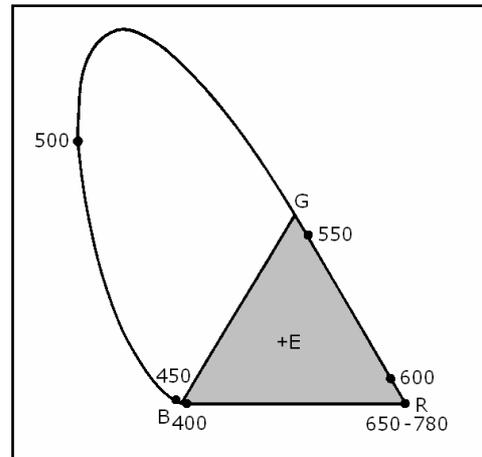
⁸ Bergmann / Schaefer, S. 701

⁹ Bergmann / Schaefer, S. 701

¹⁰ Foley, S. 458

und B erzeugen können. Fügt man jedoch zu der getesteten Spektralfarbe eine der Primärvalenzen hinzu, so kann man die Farbe durch Mischung der beiden anderen Primärvalenzen erzeugen. Die negativen Werte bedeuten also, dass die Primärvalenz zu der zu untersuchenden Spektralfarbe hinzugefügt wurde.

Trägt man den **Spektralfarbenzug** in der Farbtafel ein, so sieht das Gebilde etwa aus wie eine Schuhsole. Alle physikalisch realen Farben liegen innerhalb dieses Gebietes. Die rechte Abbildung¹¹ zeigt diesen Kurvenzug zusammen mit dem Primärvalenzfarbdreieck.



Um die Darstellung weiter zu vereinfachen und um alle real existierenden Farben durch eine innere additive Mischung dreier Primärfarben erzeugen zu können, hat die *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) 1931 drei standardisierte, virtuelle, d.h. physikalisch nicht realisierbare Primärfarben mit den Bezeichnungen **X**, **Y** und **Z** eingeführt. Diese Primärfarben werden als **Normvalenzen** bezeichnet und sind folgendermaßen definiert:

$$\mathbf{X} = 2.365 \mathbf{R} - 0.515 \mathbf{G} + 0.005 \mathbf{B}$$

$$\mathbf{Y} = -0.897 \mathbf{R} + 1.426 \mathbf{G} - 0.014 \mathbf{B}$$

$$\mathbf{Z} = -0.468 \mathbf{R} + 0.089 \mathbf{G} + 1.009 \mathbf{B}$$

Dadurch wird die Lage des Koordinatensystems so bestimmt, dass der Normfarbwert **Y** proportional zur Leuchtdichte ist und dadurch für die Farbfernsehtechnik eine große Bedeutung erhält.

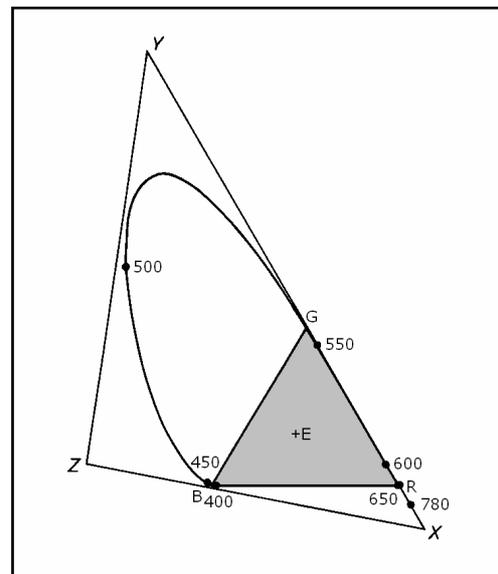
In der rechten Farbtafel sieht man nun die Lage der Farbwerte dieser drei Normvalenzen **X**, **Y** und **Z** zusammen mit dem Spektralfarbenzug und dem Primärvalenzfarbdreieck.

Die Normfarbwerte **X**, **Y**, **Z** werden wieder zu den Normfarbwertanteilen **x**, **y**, **z** normiert, so dass die Summe der drei Zahlen gleich eins ist:

$$x = X / (X + Y + Z)$$

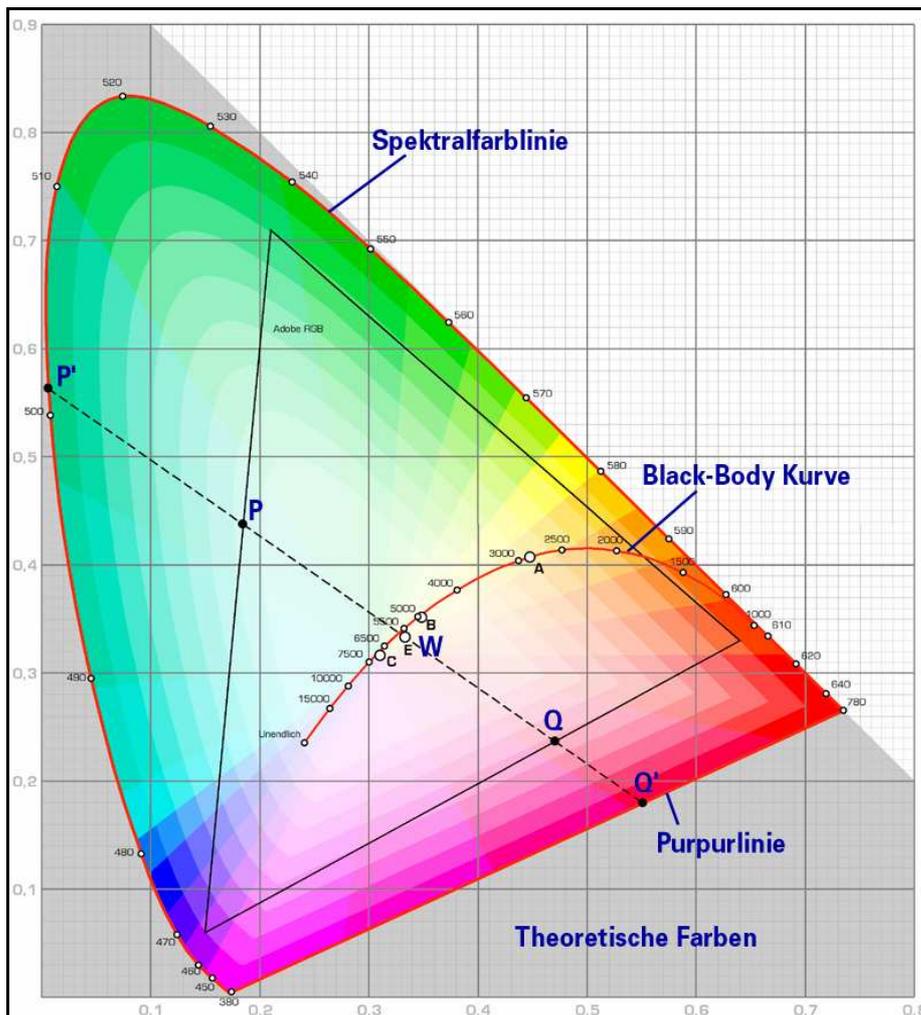
$$y = Y / (X + Y + Z)$$

$$z = Z / (X + Y + Z)$$



¹¹ Bergmann / Schaefer, S. 710

Zur Darstellung aller Farbarten reicht jetzt der positive x/y Quadrant des kartesischen Koordinatensystems, das als CIE-Diagramm bezeichnet wird.



(Bildquelle: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/4/49/CIE-Normfarbtafel.png>, Torge Anders, 28 Mär 2005)

Das CIEXYZ-Farbmodell besitzt aber immer noch einen großen Nachteil, der darin besteht, dass die vom Menschen empfundenen Farbunterschiede nicht gleichabständig dargestellt werden. Aus diesem Grund wurden 1976 noch die beiden Farbsysteme CIELAB¹² und CIELUV¹² definiert, die dieses Manko kompensieren. CIELUV wird oft zur Darstellung der Farbräume von Displaysystemen verwendet.

¹² Bergmann / Schaefer, S. 739 ff

2.4 PAL (YUV-Farbmodell)

Bei der Einführung des Farbfernsehensystems wurden zwei wichtige Forderungen gestellt: Ersten sollte das Farbsignal S/W-kompatibel sein, d.h. aus dem Farbsignal sollte das Leuchtdichtesignal für konventionelle S/W-Empfänger einfach ableitbar sein. Zweitens sollte es möglich sein, die Farbzusatzinformation im gleichen Kanal wie das S/W-Signal zu übertragen, ohne dass zusätzlich Bandbreite beansprucht wird.¹³ Die erste Forderung führte zur Einführung des S/W-kompatiblen Leuchtdichtesignals Y. Die Beziehung für das Y-Signal (Luminanzsignal) folgt aus der Transformation zwischen den Koordinatensystemen RGB und XYZ bezüglich der Wiedergabeleuchtstoffe:¹⁴

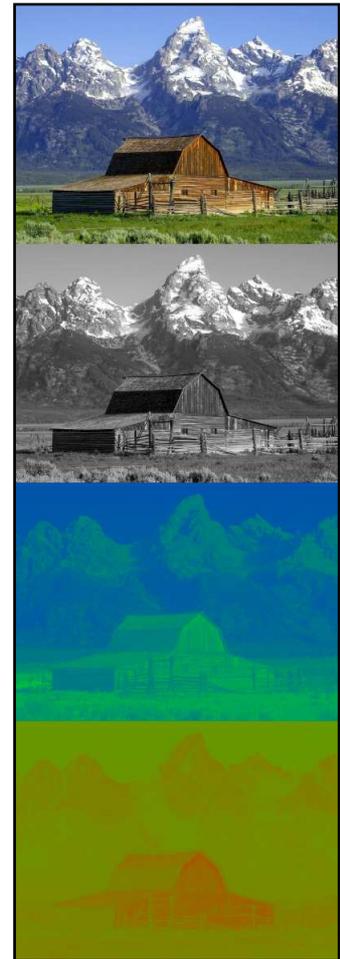
$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

Die Chrominanz, bzw. der Farbanteil, wird durch die beiden Komponenten U und V bestimmt. Sie enthalten keine Luminanzinformationen mehr und werden daher als Farbdifferenzsignale bezeichnet:

$$U = 0.493 (B - Y)$$

$$V = 0.877 (R - Y)$$

Die Abbildung rechts zeigt die Aufspaltung des Originalbildes in die Komponenten Y, U und V.



(Bildquelle: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Barn-yuv.png>, Brianski, 22 Sep 2007)

2.5 YCbCr-Farbmodell

Das YCbCr-Farbmodell findet in der digitalen PAL-Fernsehnorm ITU-R BT.601 Anwendung und ähnelt stark dem YUV-Farbmodell. Der Unterschied ist lediglich eine Verschiebung und Skalierung der Werte, wodurch die negativen Werte für U und V vermieden werden. Für eine 8 Bit Auflösung ergibt sich die folgende Umrechnung¹⁵:

$$Y = 0.257 R + 0.504 G + 0.098 B + 16$$

$$Cb = -0.148 R - 0.291 G + 0.439 B + 128$$

$$Cr = 0.439 R - 0.368 G - 0.071 B + 128$$

Der Wertebereich der RGB-Werte erstreckt sich dabei von 0 bis 255, der Wertebereich von Y erstreckt sich von 16 bis 235 und der Wertebereich von Cb und Cr erstreckt sich von 16 bis 240.

¹³ Schmidt, S. 62

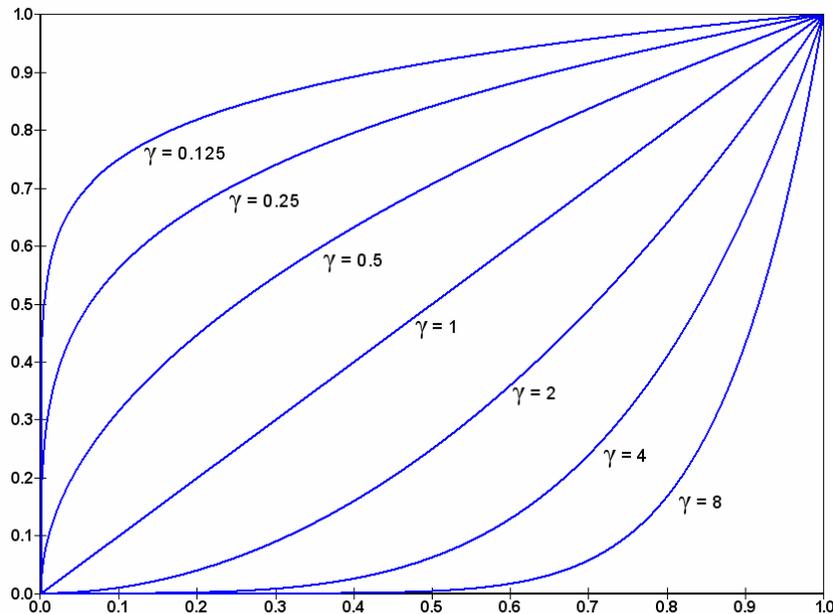
¹⁴ Schmidt, S. 63

¹⁵ Siehe Yun Q. Shi, S. 17

2.6 Gammakorrektur

Mit Hilfe der Gammakorrektur werden Unterschiede in der Farbdarstellung unterschiedlicher Ausgabegeräte ausgeglichen.

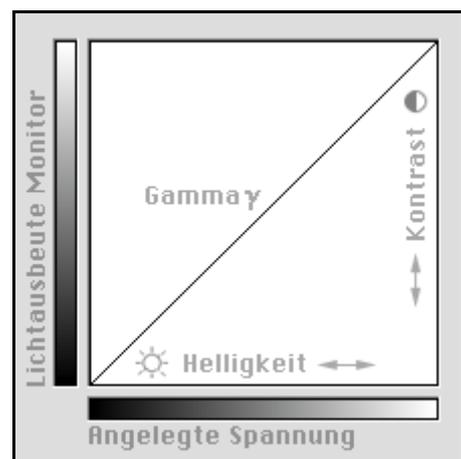
Es gilt: $A = E^\gamma$



So werden bei der Berechnung des Ausgangssignals A nur die Grauwerte verändert, Schwarz- und Weißpunkt bleiben erhalten, wenn das Eingangssignal E auf 1 normiert wurde. Der Gammawert 1 ($A = E$) entspricht dabei dem "idealen" Bildschirm, der den Übergang von Weiß über Grau bis Schwarz vollkommen linear reproduziert. Leider gibt es solche Bildschirme nicht. Alle Monitore und Computerbildschirme weichen mehr oder weniger von einer streng linearen Abstufung ab. Röhrenmonitore haben einen Standardwert von 2.5, der aber auf Betriebssystemebene teilweise kompensiert wird.

Wichtig bei der Gammakorrektur ist auch, dass nach einer Kalibrierung des Monitors die Helligkeits- und Kontrastregler nicht mehr verstellt werden dürfen.¹⁶

Als Hilfsmittel zur Gammakorrektur des Bildschirms kann eine Grafik verwendet werden, die zwei Felder enthält: Ein Feld mit abwechselnd weißen und schwarzen Punkten (Mittelwert = 50 %) und ein Feld mit einem durchgehend grauen Balken (Helligkeitswert = 50 %). Werden beide Felder am Bildschirm mit gleicher Helligkeit dargestellt, so ist die Anzeige korrekt geeicht.



¹⁶ Siehe Ebeling

2.7 Farbmanagement

Verschiedene Ein- und Ausgabegeräte haben unterschiedliche Farbräume und können darin – technisch bedingt – nicht alle Farben darstellen. Das ICC (International Color Consortium) hat ein Verfahren zur Beschreibung der Farbräume und der Farbraumtransformation entwickelt, das die Grundlage für jedes Farbmanagementsystem liefert. Mit Farbmanagement soll erreicht werden, dass ein mit einem beliebigen Eingabegerät (Scanner, Digitalkamera, Computerprogramm, usw.) erfasstes Bild an einem beliebigen Ausgabegerät (Monitor, Beamer, Drucker) möglichst ähnlich wiedergegeben wird.

Auf dem Mac übernimmt diese Aufgabe das ColorSync Dienstprogramm, das ein Bestandteil des Betriebssystems ist. Es verwaltet ICC-Profile, die die Ein- und Ausgabeeigenschaften der am Farbprozess beteiligten Geräte beschreiben.



Dieses Geräteprofil dient zur Umrechnung vom Gerätefarbraum in den geräteunabhängigen Farbraum des Farbmanagementsystems. Weitere Einzelheiten können der Hilfefunktion des ColorSync Dienstprogramms entnommen werden.



2.8 Apple Final Cut

Das Film- und Videoschnittprogramm Final Cut von der Firma Apple gibt es in zwei Versionen:

1. Die Consumer Version: Apple Final Cut Express HD
2. Die Professional Version: Apple Final Cut Pro

Beide Versionen unterstützen kein Farbmanagement. DV-Material wird von Final Cut im YUV-Farbraum bearbeitet. Genauere Informationen sind der sehr ausführlichen Hilfefunktion zu entnehmen.



2.9 Adobe After Effects

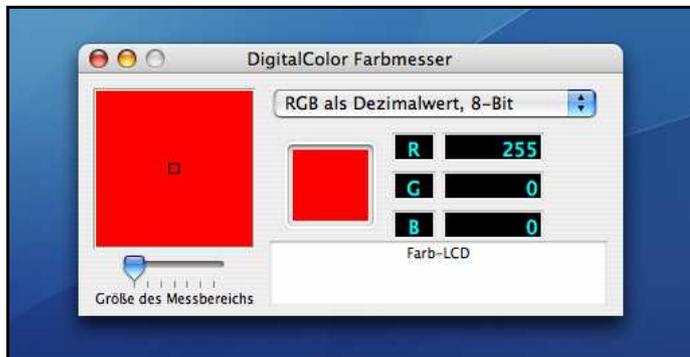
Adobe After Effects ist ein Compositing-Programm um Film- und Videomaterial mit computergenerierten Bildern und Effekten zusammenzufügen. Im Gegensatz zu Final Cut arbeitet es im RGB-Farbraum und unterstützt Farbmanagement. Weitere Details sind der ausführlichen Hilfefunktion des Programms zu entnehmen.



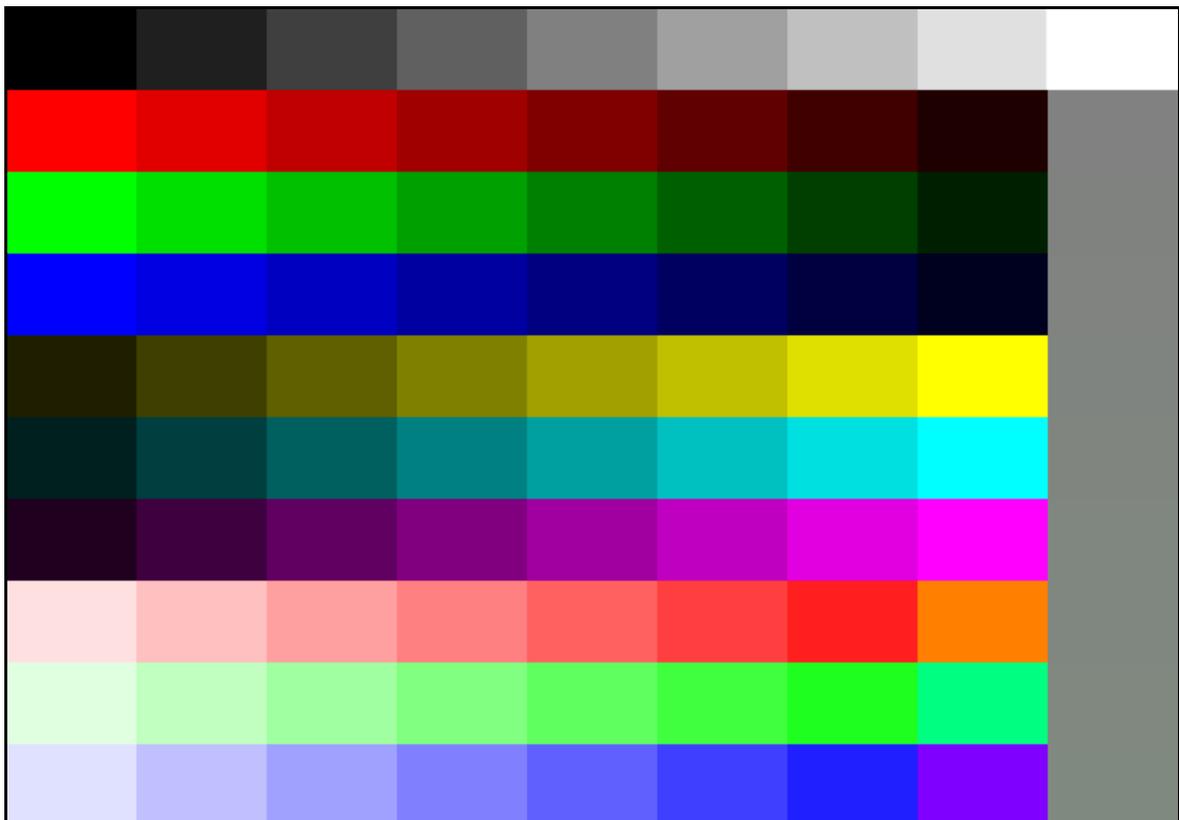
DigitalColor Farbmesser

3. Untersuchungen

Um die Farbabweichungen quantitativ bestimmen zu können, werden die Farbwerte eines Testbildes mit dem Dienstprogramm DigitalColor Farbmesser von Apple (Im Ordner Dienstprogramme zu finden) nach jedem Verarbeitungsschritt am Bildschirm bestimmt.

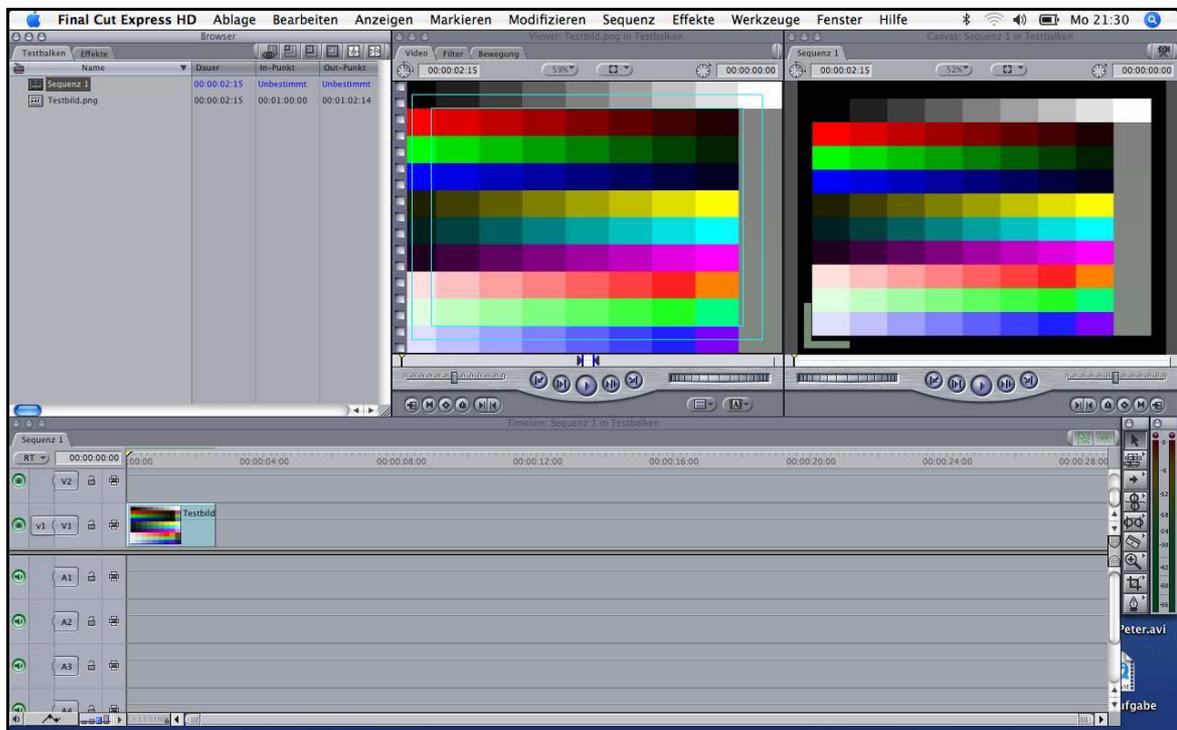


Natürlich werden dabei nur Stichproben untersucht, da der 8 Bit RGB-Farbraum 16,8 Millionen Farbwerte enthält. Das von mir in Adobe Photoshop CS3 erstellte Testbild enthält 90 repräsentative Farbstichproben, die in der folgenden Abbildung zu sehen sind.



3.1 Konvertierungsfehler

Das Testbild (Testbild.png) wird in Final Cut importiert (Apfel I) und durch einen Doppelklick im Viewer geöffnet. Aus dem Viewer wird es dann in die Timeline gezogen. Danach erscheint das Material dann auch im Canvas. Die Sequenz hat folgende Einstellungen: PAL-DV 48 kHz. Die folgende Abbildung zeigt einen Screenshot des Final Cut Express HD 3.5.1 Fensters:



In den folgenden Tabellen sind die Farbwerte (R, G und B) der einzelnen Quadrate enthalten, wie sie im Viewer (unverändert) und Canvas (Farbraumkonvertierung mit bis zu zwei Bits Abweichung pro Farbkanal) dargestellt werden. Zusätzlich zu den Farbmesswerten enthält die Tabelle auch eine Aussage über die auftretenden Abweichungen:

Zellenfarbe	Summe der Abweichungen
Weiß	0 Bits
Grün	1-2 Bits
Gelb	3-4 Bits
Rot	> 4 Bits

Die Messungen wurden sowohl für Final Cut Express HD 3.5.1, als auch für Final Cut Pro 6.0.4 durchgeführt und zeigen bereits Farbabweichungen von bis zu 2 Bit pro Farbkanal.

Messtabelle 1: Viewer / Canvas FCE 3.5.1

0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 95	128 / 128	160 / 158	192 / 190	224 / 223	255 / 255
0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 95	128 / 128	160 / 158	192 / 190	224 / 223	255 / 255
0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 95	128 / 128	160 / 158	192 / 190	224 / 223	255 / 255
255 / 253	224 / 224	192 / 192	160 / 159	128 / 127	96 / 95	64 / 63	32 / 31	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	129 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
255 / 255	224 / 222	192 / 191	160 / 159	128 / 127	96 / 94	64 / 63	32 / 31	130 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 127
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	131 / 131
255 / 255	224 / 223	192 / 192	160 / 158	128 / 127	96 / 95	64 / 63	32 / 31	128 / 127
32 / 31	64 / 63	96 / 95	128 / 126	160 / 158	192 / 191	224 / 222	255 / 255	128 / 127
32 / 31	64 / 62	96 / 95	128 / 127	160 / 159	192 / 192	224 / 223	255 / 255	132 / 131
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 127
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
32 / 31	64 / 63	96 / 95	128 / 127	160 / 159	192 / 192	224 / 223	255 / 255	133 / 132
32 / 32	64 / 62	96 / 96	128 / 126	160 / 160	192 / 192	224 / 223	255 / 255	128 / 128
32 / 31	64 / 63	96 / 95	128 / 126	160 / 159	192 / 191	224 / 222	255 / 255	128 / 127
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	134 / 133
32 / 30	64 / 63	96 / 94	128 / 126	160 / 160	192 / 192	224 / 223	255 / 253	128 / 128
255 / 253	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	128 / 128
224 / 223	192 / 191	160 / 158	128 / 127	96 / 95	64 / 64	32 / 31	128 / 128	135 / 134
224 / 222	192 / 191	160 / 159	128 / 128	96 / 95	64 / 63	32 / 31	0 / 0	128 / 127
224 / 223	192 / 192	160 / 158	128 / 128	96 / 95	64 / 64	32 / 31	0 / 0	128 / 126
255 / 255	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	136 / 135
224 / 222	192 / 192	160 / 158	128 / 127	96 / 95	64 / 65	32 / 31	128 / 127	128 / 127
224 / 223	192 / 191	160 / 158	128 / 126	96 / 96	64 / 64	32 / 31	128 / 127	128 / 127
224 / 223	192 / 192	160 / 159	128 / 127	96 / 96	64 / 63	32 / 31	0 / 0	137 / 136
255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	128 / 128

Messtabelle 2: Viewer / Canvas FCP 6.0.4

0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 97	128 / 128	160 / 159	192 / 191	224 / 224	255 / 255
0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 97	128 / 128	160 / 159	192 / 191	224 / 224	255 / 255
0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 97	128 / 128	160 / 159	192 / 191	224 / 224	255 / 255
255 / 254	224 / 225	192 / 192	160 / 159	128 / 128	96 / 98	64 / 64	32 / 33	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	129 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
255 / 255	224 / 223	192 / 192	160 / 160	128 / 127	96 / 96	64 / 63	32 / 32	130 / 131
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	131 / 131
255 / 255	224 / 224	192 / 193	160 / 159	128 / 128	96 / 97	64 / 64	32 / 33	128 / 128
32 / 32	64 / 64	96 / 97	128 / 127	160 / 159	192 / 191	224 / 223	255 / 255	128 / 129
32 / 33	64 / 63	96 / 97	128 / 128	160 / 159	192 / 193	224 / 224	255 / 255	132 / 132
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 129
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
32 / 32	64 / 63	96 / 96	128 / 128	160 / 160	192 / 193	224 / 224	255 / 255	133 / 133
32 / 32	64 / 63	96 / 96	128 / 126	160 / 161	192 / 192	224 / 224	255 / 255	128 / 129
32 / 32	64 / 63	96 / 96	128 / 127	160 / 160	192 / 192	224 / 223	255 / 255	128 / 129
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	134 / 135
32 / 33	64 / 64	96 / 96	128 / 127	160 / 161	192 / 193	224 / 224	255 / 254	128 / 128
255 / 254	255 / 254	255 / 255	255 / 255	255 / 254	255 / 255	255 / 255	255 / 255	128 / 127
224 / 224	192 / 192	160 / 159	128 / 128	96 / 97	64 / 64	32 / 33	128 / 128	135 / 136
224 / 223	192 / 191	160 / 159	128 / 129	96 / 96	64 / 63	32 / 32	0 / 0	128 / 128
224 / 223	192 / 192	160 / 159	128 / 129	96 / 97	64 / 64	32 / 31	0 / 0	128 / 127
255 / 255	255 / 254	255 / 255	255 / 255	255 / 254	255 / 255	255 / 255	255 / 255	136 / 136
224 / 223	192 / 192	160 / 159	128 / 128	96 / 95	64 / 65	32 / 31	128 / 127	128 / 128
224 / 223	192 / 192	160 / 159	128 / 127	96 / 96	64 / 64	32 / 32	128 / 127	128 / 128
224 / 224	192 / 193	160 / 159	128 / 128	96 / 96	64 / 63	32 / 33	0 / 0	137 / 137
255 / 254	255 / 255	255 / 255	255 / 254	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	128 / 129

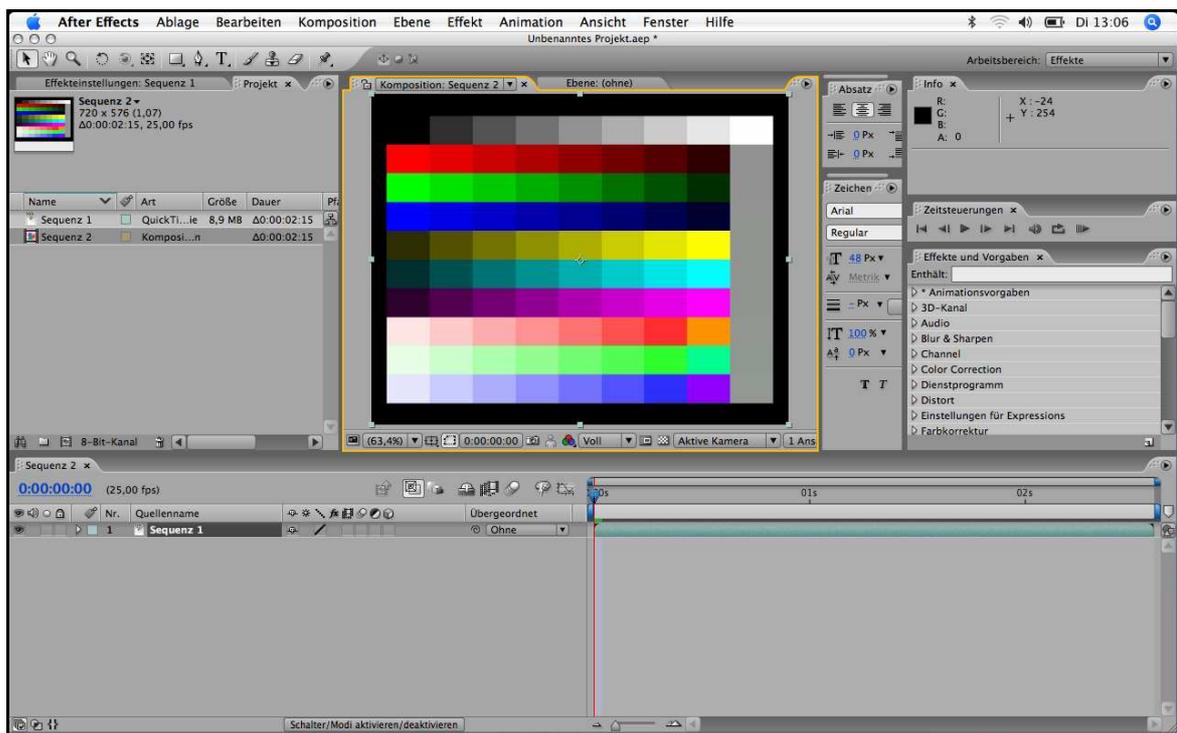
Die Ursache dieser Farbabweichung begründet sich in der Umrechnung der Farbwerte von einem Farbraum (RGB) in einen anderen Farbraum (YUV, bzw. YCbCr). Diese Konvertierung muss für jeden Pixel eines Frames durchgeführt werden, was für PAL mit einer Auflösung von 720 x 576 = 414720 Berechnungen pro Frame bedeutet. Da Final Cut im YCbCr-Farbraum arbeitet ist diese

Konvertierung nötig. Die Messung zeigt außerdem, dass in Final Cut Express HD und Final Cut Pro unterschiedliche Algorithmen verwendet werden. Die maximale Abweichung pro Farbkanal ist in beiden Messungen identisch (2 Bits), doch die Summe der Einzelabweichungen ist bei Final Cut Pro geringer, was auf einen verbesserten Algorithmus hindeutet.

Diese Farbraum-Konvertierungsalgorithmen sind von zentraler Bedeutung und so gibt es für jede Farbtiefe und jeden Farbraum einen eigenen Algorithmus, der mit Hilfe numerischer Verfahren auf Laufzeiteffizienz optimiert wurde. Effektive Algorithmen benutzen bei der Berechnung z.B. nur Additions- und Verschiebeoperatoren um schnelle Ergebnisse ohne Zahlenkonvertierungen (int/float) zu erhalten.¹⁷ Diese Algorithmen gehen von Näherungen aus und liefern demzufolge auch nur angenäherte Ergebnisse. Wie die beiden Messungen zeigen, liegt der maximale Fehler pro Farbkanal bei 2 Bits, was einen guten Kompromiss zwischen Genauigkeit und Laufzeit darstellt und sich mit den Ergebnissen aus dem Artikel von Yang deckt. Man kann also bei PAL-Material für jede Farbraumkonvertierung generell mit einem Fehler von bis zu 2 Bits pro Farbkanal rechnen.

3.2 Adobe After Effects CS3 Importproblem

Die Testbildsequenz wird als unkomprimierte QuickTime-Datei aus Final Cut 6.0.3 exportiert und in Adobe After Effects CS3 geöffnet (Apfel I).



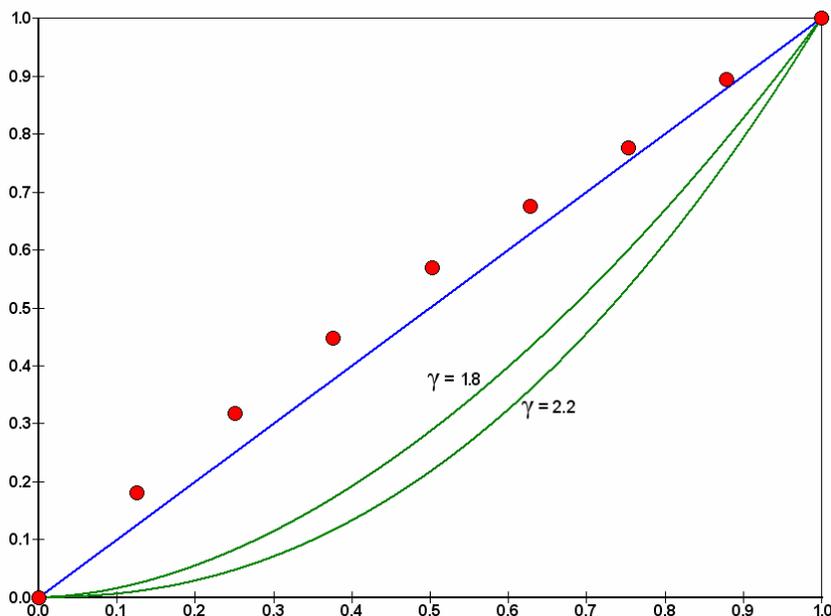
Dort wird dann automatisch mit dem importierten Material eine neue Komposition erstellt (durch ziehen der QuickTime-Datei auf das entsprechende Icon) und das Material wieder als PAL-Sequenz exportiert. In Final Cut wird dann diese Sequenz wieder importiert und in die Timeline gezogen. Im Canvas werden dann wieder die Farbwerte bestimmt.

¹⁷ Siehe Yang

Messtabelle 3: Originalfarbwert / Farbwert nach Import aus After Effects

0 / 0	32 / 46	64 / 81	96 / 114	128 / 145	160 / 172	192 / 198	224 / 228	255 / 255
0 / 0	32 / 46	64 / 81	96 / 114	128 / 145	160 / 172	192 / 198	224 / 228	255 / 255
0 / 0	32 / 46	64 / 81	96 / 114	128 / 145	160 / 172	192 / 198	224 / 228	255 / 255
255 / 253	224 / 229	192 / 202	160 / 173	128 / 143	96 / 114	64 / 81	32 / 45	128 / 145
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	129 / 145
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 145
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 145
255 / 255	224 / 227	192 / 199	160 / 173	128 / 145	96 / 112	64 / 81	32 / 44	130 / 145
0 / 1	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 145
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 1	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 144
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	131 / 147
255 / 255	224 / 228	192 / 201	160 / 173	128 / 144	96 / 114	64 / 81	32 / 46	128 / 144
32 / 44	64 / 82	96 / 112	128 / 142	160 / 172	192 / 201	224 / 227	255 / 255	128 / 144
32 / 45	64 / 80	96 / 114	128 / 143	160 / 173	192 / 202	224 / 228	255 / 255	132 / 147
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 144
0 / 1	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 145
32 / 45	64 / 81	96 / 111	128 / 144	160 / 173	192 / 202	224 / 227	255 / 255	133 / 148
32 / 45	64 / 79	96 / 114	128 / 142	160 / 175	192 / 201	224 / 229	255 / 255	128 / 145
32 / 45	64 / 81	96 / 111	128 / 142	160 / 172	192 / 201	224 / 225	255 / 255	128 / 144
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 1	0 / 0	0 / 0	134 / 149
32 / 45	64 / 80	96 / 111	128 / 142	160 / 175	192 / 203	224 / 228	255 / 253	128 / 145
255 / 252	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	128 / 145
224 / 228	192 / 202	160 / 172	128 / 144	96 / 112	64 / 81	32 / 45	128 / 144	135 / 152
224 / 225	192 / 199	160 / 173	128 / 144	96 / 112	64 / 81	32 / 44	0 / 0	128 / 144
224 / 228	192 / 202	160 / 171	128 / 145	96 / 111	64 / 81	32 / 46	0 / 1	128 / 142
255 / 255	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	136 / 150
224 / 227	192 / 201	160 / 173	128 / 144	96 / 112	64 / 81	32 / 46	128 / 143	128 / 143
224 / 229	192 / 199	160 / 172	128 / 143	96 / 112	64 / 81	32 / 44	128 / 144	128 / 143
224 / 227	192 / 202	160 / 173	128 / 144	96 / 114	64 / 81	32 / 45	0 / 0	137 / 152
255 / 252	255 / 253	255 / 253	255 / 252	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 253	128 / 144

Wenn man diese Tabelle genauer betrachtet so fällt einem auf, dass sowohl der Schwarz- (0,0,0), als auch der Weißpunkt (255,255,255) unverändert geblieben sind. Normiert man die Messwerte und stellt für den oberen Grauwertstreifen des Testbildes den Ausgang als Funktion des Eingangs dar (rote Punkte), so erhält man das folgende Bild:



Dieses Verhalten deutet auf eine mögliche Gammaverschiebung hin. Auffällig ist, dass der Abstand zwischen den roten Punkten und der blauen Geraden in etwa dem Abstand der beiden Gammafunktionen von Mac (Gamma = 1.8) und PC

(Gamma = 2.2) entspricht. Um dies zu überprüfen, wird für jeden Tabellenwert des grauen Streifens der Gammawert wie folgt berechnet:

1. Zuerst müssen die Werte normiert werden, d.h. die gemessenen Farbwerte müssen durch 255 geteilt werden.
2. Aus diesen normierten Ein- und Ausgangswerten lässt sich jetzt der Gammawert wie folgt bestimmen¹⁸:

$$\gamma = \log_E A = \ln A / \ln E$$

Berechnungsbeispiel:

$$\gamma = \log_E A = \ln A / \ln E = \ln(145/255) / \ln(128/255) = \underline{0.819}$$

Die folgende Tabelle zeigt in der ersten Zeile noch einmal die gemessenen Farbwerte des oberen grauen Streifens. In der zweiten Zeile steht der berechnete Gammawert. Für den Schwarz- und Weißpunkt können keine Werte bestimmt werden, da hier die oben genannte Formel nicht definierte, bzw. nicht erlaubte Ergebnisse liefert ($\ln(0)$ und $0/0$).

0 / 0	32 / 46	64 / 81	96 / 114	128 / 145	160 / 172	192 / 198	224 / 228	255 / 255
0 / 0	32 / 46	64 / 81	96 / 114	128 / 145	160 / 172	192 / 198	224 / 228	255 / 255
0 / 0	32 / 46	64 / 81	96 / 114	128 / 145	160 / 172	192 / 198	224 / 228	255 / 255
X	0.825	0.830	0.824	0.819	0.845	0.892	0.863	X

Aus diesen Werten ergibt sich als arithmetisches Mittel ein Gamma von 0.843. Da die Werte zur Ermittlung des Gammawertes aber fehlerbehaftet sind, ist ein tatsächlicher Gammawert von $1.8 / 2.2 \approx 0.818$ sehr wahrscheinlich. Dieser Wert ergibt sich mathematisch¹⁹ durch eine Gammakorrektur von 2.2 auf 1.8.

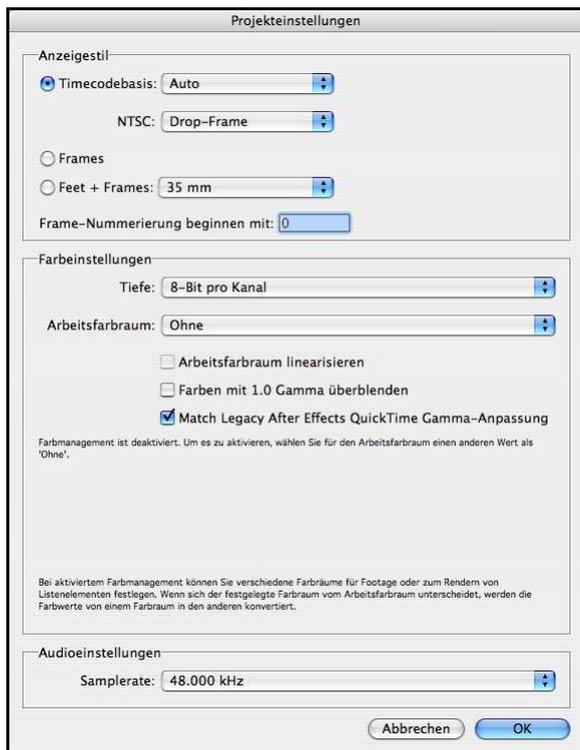
$$A = (E^{2.2})^{0.818} = E^{(2.2 \times 0.818)} = E^{1.8}$$

Im Adobe After Effects CS3 Hilfe (Farbe → Farben – Grundlagen → Gamma und Tonreaktion) wird erwähnt, dass es zu Gammaverschiebungen beim Laden von After Effects 7.0 oder älteren Versionen kommen kann, da zur Dekodierung der Farbinformationen dort QuickTime-Codecs verwendet werden. Am Ende des Kapitels wird darauf hingewiesen, dass dies auch für Mac OS-Computer mit PowerPC-Prozessor und dem DV-Format gilt. Um diese Gammaverschiebung zu korrigieren gibt es in den Projekteinstellungen die Option „Match Legacy After Effects QuickTime Gamma-Anpassung“ (Toller und leicht verständlicher Parametername zusammengesetzt aus deutschen und englischen Begriffen).

Dass diese Option auch die Lösung für das von mir zuvor beschriebene Problem darstellt, konnte ich erst nach langem Suchen in entsprechenden User-Foren erfahren. Was die Option genau bewirkt, ist weder im Handbuch noch in den entsprechenden Foren zu erfahren. Vergleicht man aber die Messergebnisse, die mit dieser Option ermittelt wurden, mit den zuvor beschriebenen Ergebnissen, so sieht man, dass diese Option eine Gammakorrektur mit dem Wert 0.818 durchführt. Aufgrund der Farbraumkonvertierungen ergibt sich für die Ergebnisse am Ende des Workflows aber immer noch ein maximaler Fehler von 4 Bit pro Farbkanal. Das folgende Bild zeigt das Projekteinstellungsfenster mit der Option:

¹⁸ Papula, S. 9

¹⁹ Papula, S. 7



Messtabelle 4: Originalfarben / Farbwerte nach Konvertierung (Match Legacy ...)

0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 94	128 / 128	160 / 158	192 / 190	224 / 223	255 / 255
0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 94	128 / 128	160 / 158	192 / 190	224 / 223	255 / 255
0 / 0	32 / 32	64 / 63	96 / 94	128 / 128	160 / 158	192 / 190	224 / 223	255 / 255
255 / 253	224 / 224	192 / 192	160 / 158	128 / 127	96 / 95	64 / 63	32 / 31	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	129 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
255 / 255	224 / 222	192 / 192	160 / 159	128 / 127	96 / 92	64 / 63	32 / 31	130 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 126
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	131 / 130
255 / 255	224 / 223	192 / 192	160 / 158	128 / 127	96 / 95	64 / 63	32 / 31	128 / 126
32 / 31	64 / 63	96 / 94	128 / 126	160 / 156	192 / 191	224 / 222	255 / 255	128 / 126
32 / 31	64 / 62	96 / 94	128 / 127	160 / 160	192 / 192	224 / 223	255 / 255	132 / 130
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 126
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	128 / 127
32 / 31	64 / 63	96 / 94	128 / 127	160 / 157	192 / 192	224 / 223	255 / 255	133 / 131
32 / 32	64 / 62	96 / 94	128 / 126	160 / 162	192 / 192	224 / 223	255 / 255	128 / 127
32 / 31	64 / 63	96 / 95	128 / 126	160 / 159	192 / 190	224 / 222	255 / 255	128 / 126
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	134 / 132
32 / 30	64 / 63	96 / 92	128 / 126	160 / 160	192 / 191	224 / 223	255 / 253	128 / 127
255 / 252	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 255	128 / 128
224 / 222	192 / 192	160 / 158	128 / 125	96 / 95	64 / 63	32 / 31	128 / 127	135 / 134
224 / 221	192 / 189	160 / 159	128 / 127	96 / 95	64 / 62	32 / 31	0 / 0	128 / 127
224 / 221	192 / 192	160 / 158	128 / 128	96 / 95	64 / 62	32 / 31	0 / 0	128 / 126
255 / 255	255 / 253	255 / 255	255 / 255	255 / 255	255 / 253	255 / 255	255 / 255	136 / 135
224 / 221	192 / 192	160 / 158	128 / 127	96 / 95	64 / 63	32 / 31	128 / 126	128 / 127
224 / 221	192 / 191	160 / 158	128 / 126	96 / 94	64 / 62	32 / 30	128 / 126	128 / 127
224 / 222	192 / 192	160 / 159	128 / 127	96 / 94	64 / 61	32 / 30	0 / 0	137 / 136
255 / 252	255 / 255	255 / 255	255 / 253	255 / 253	255 / 255	255 / 253	255 / 255	128 / 128

3.3 Monitordarstellungsunterschiede

Die Beurteilung der Farbe erfolgte bisher nur in Final Cut. Sieht man sich die Farben in Adobe After Effects CS3 an, so erhält man aufgrund des Farbmanagements deutlich andere Farbwerte. Diese Farbveränderung bezieht sich aber lediglich auf die Darstellung am Computermonitor und hat keinen Einfluss auf den weiteren Workflow. Welchen Einfluss das Farbmanagement auf die Farben am Bildschirm hat, lässt sich am besten anhand des QuickTimePlayers veranschaulichen. Je nachdem welches Farbprofil im ColorSync Dienstprogramm ausgewählt wurde, misst man unterschiedliche Farbwerte. Damit Final Cut Videos im QuickTimePlayer vom Farbmanagement unbeeinflusst wiedergegeben werden können, gibt es unter „Einstellungen“ die Option „Final Cut Studio-Farbkompatibilität aktivieren“ (Die Wahl dieses Parameternamens, insbesondere mit der unten aufgeführten Erklärung, ist schon eine deutliche Verbesserung gegenüber der Parameterbezeichnung in Adobe After Effects!). Ist diese Option gesetzt, findet eine Gammakorrektur von 2.2 auf 1.8 statt und das Farbmanagement wird umgangen. Die folgende Tabelle gibt die Messwerte ohne und mit dieser Option wieder. Interessant ist z.B. hier der erste Grünwert, der ohne die Option als (20,255,18) und mit der Option als (0,255,0) angezeigt wird. Dieser Messwert zeigt deutlich, dass es durch das Farbmanagement zu einer deutlichen Verschiebung der Farbwerte kommt. Eine reine Gammakorrektur kann aus einem Rotwert von 0 keine 20 machen. Für diese Farbraumanpassung ist das verwendete Monitorprofil von ColorSync verantwortlich. Lädt man ein anderes Profil, bekommt man andere Farbwerte. Will man die Monitorfarbdarstellung zwischen Final Cut und After Effects miteinander vergleichen muss man auf die Wahl eines geeigneten Farbprofils im ColorSync Dienstprogramm achten. Die folgende Abbildung zeigt wieder das Fenster für die oben beschriebene Option:



Messtabelle 5: QuickTimePlayer ohne und mit Option

0 / 0	40 / 32	73 / 63	107 / 96	138 / 128	167 / 159	197 / 191	227 / 224	255 / 255
0 / 0	40 / 32	73 / 63	107 / 96	138 / 128	167 / 159	196 / 191	227 / 224	255 / 255
0 / 0	40 / 32	73 / 63	107 / 96	138 / 128	167 / 159	197 / 191	227 / 224	255 / 255
250 / 254	224 / 225	196 / 193	165 / 160	136 / 128	106 / 97	73 / 64	40 / 32	138 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	1 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	138 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	1 / 0	1 / 0	0 / 0	0 / 0	138 / 128
20 / 0	18 / 0	16 / 0	13 / 0	10 / 0	9 / 0	6 / 0	3 / 0	138 / 128
255 / 255	230 / 222	202 / 192	172 / 160	139 / 127	109 / 96	76 / 64	41 / 32	141 / 131
18 / 0	16 / 0	14 / 0	11 / 0	9 / 0	7 / 0	5 / 0	0 / 0	138 / 128
28 / 0	25 / 0	22 / 0	18 / 0	15 / 0	12 / 0	8 / 0	5 / 0	138 / 128
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	141 / 131
254 / 255	226 / 224	198 / 193	166 / 159	137 / 128	108 / 97	74 / 64	41 / 33	138 / 128
40 / 32	73 / 64	106 / 96	135 / 127	166 / 159	196 / 191	223 / 222	252 / 255	139 / 129
42 / 33	75 / 63	110 / 97	141 / 128	172 / 160	203 / 192	232 / 224	255 / 255	142 / 132
0 / 0	5 / 0	7 / 0	10 / 0	11 / 0	14 / 0	15 / 0	17 / 0	139 / 129
6 / 0	10 / 0	15 / 0	19 / 0	23 / 0	28 / 0	32 / 0	36 / 0	138 / 128
40 / 32	74 / 64	107 / 96	138 / 128	168 / 160	199 / 193	227 / 224	255 / 255	143 / 133
40 / 32	73 / 63	107 / 96	137 / 127	169 / 161	199 / 193	227 / 224	255 / 255	139 / 129
40 / 32	74 / 64	106 / 96	136 / 127	167 / 160	197 / 192	224 / 222	254 / 255	139 / 129
0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	144 / 134
41 / 33	74 / 64	106 / 95	136 / 127	169 / 161	198 / 193	226 / 224	253 / 254	138 / 128
253 / 254	252 / 254	253 / 255	252 / 255	252 / 255	251 / 255	251 / 255	251 / 255	137 / 127
227 / 224	198 / 192	167 / 159	138 / 128	108 / 97	74 / 64	41 / 33	141 / 128	145 / 135
225 / 222	198 / 192	168 / 160	139 / 129	107 / 96	73 / 63	40 / 32	9 / 0	138 / 128
227 / 224	200 / 193	168 / 159	140 / 129	109 / 96	77 / 64	45 / 31	26 / 0	137 / 127
255 / 255	254 / 254	255 / 255	255 / 255	254 / 254	255 / 255	255 / 255	255 / 255	145 / 135
226 / 222	200 / 193	168 / 159	139 / 128	108 / 95	78 / 65	44 / 31	138 / 127	138 / 128
226 / 222	199 / 192	169 / 159	140 / 127	110 / 95	80 / 64	50 / 32	139 / 127	138 / 128
226 / 224	197 / 193	164 / 160	132 / 128	98 / 96	58 / 63	8 / 33	0 / 0	146 / 137
254 / 254	255 / 255	254 / 255	253 / 254	252 / 253	254 / 255	254 / 255	254 / 255	139 / 129

4 Schlussfolgerung

Wie die Bilddaten im QuickTimeFormat interpretiert werden, wird von dem verwendeten Codec bestimmt. Die Farbabweichungen beim Datenaustausch zwischen Final Cut und After Effects CS3 lassen sich durch einen vom Codec verwendeten Gammawert von 2.2 erklären, der durch die Wahl der entsprechenden Option in After Effects CS3 auf 1.8 korrigiert werden kann und somit keine Auswirkungen auf das Bildmaterial mehr hat.

Darüber hinaus ist jede Farbraumkonvertierung mit einem Fehler von bis zu 2 Bit pro Farbkanal behaftet. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Summe der Abweichungen in der neuen Final Cut Pro Version 6.0.4 wesentlich geringer ist als bei der Consumer-Version Final Cut Express HD 3.5.1. Man sollte also beim Compositing darauf achten das man die neuste Softwareversion einsetzt und die Anzahl der Farbraumkonvertierungen so gering wie möglich hält. Zusätzlich könnte man evtl. auch die Farbtiefe des Materials so erhöhen, dass der Einfluss der Quantisierungsfehler innerhalb der Konvertierungsalgorithmen minimal wird.

Außerdem haben die Untersuchungen gezeigt, dass eine verlässliche Farbkorrektur in Final Cut nur auf einem externen kalibrierten Videomonitor durchgeführt werden sollte. Dies ist auch die Empfehlung bei der Nutzung von Final Cut Pro. Für After Effects CS3 gilt eigentlich das Selbe, obwohl hier auch aufgrund des verwendeten Farbmanagements ein Arbeiten auf einem entsprechend profilierten Computermonitor denkbar ist. Wichtig, bzw. zwingend erforderlich ist hierbei aber die richtige Profilierung des Monitors.

Literaturverzeichnis

Bergmann, L. / Schaefer, C.: *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Band 3, Optik. 10. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 2004

Ebeling, Adolf / Zobel, Reinhold: *Monitore kalibrieren und profilieren*, c't special Digitale Fotografie, 02/2008, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover, pp. 146 ff.

DIN 5033, Teil 1: Farbmessung; *Grundbegriffe der Farbmessung*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 5033, Teil 2: Farbmessung; *Normvalenz-Systeme*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 5033, Teil 3: Farbmessung; *Farbmaßzahlen*, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Foley, James D. Et al.: *Grundlagen der Computergraphik. Einführung, Konzepte, Methoden*. 1. Auflage, Addison-Wesley Publishing Company, Bonn, Paris [u.a.], 1994

Haferkorn, Heinz: *Optik - Physikalisch-technische Grundlagen und Anwendungen*. 4. neu bearbeitete Auflage, WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2003

Papula, Lothar: *Mathematische Formelsammlung für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 2., durchges. u. erw. Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 1988

Schmidt, Ulrich: *Professionelle Videotechnik*. 4., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2005

Yang Yang, Peng Yuhua, and Liu Zhaoguang: *A Fast Algorithm for YCbCr to RGB Conversion*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 53, Issue 4, Rosemont, IL, USA, November 2007, pp. 1490 ff.

Yun Q. Shi, Huifang Sun: *Image and Video Compression for Multimedia Engineering. Fundamentals, Algorithms, and Standards*. 1st Edition, CRC Press Inc., Boca Raton, London, New York, Washinton, D.C., 2000

Versicherung über die Selbständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 19. September 2008