

Niklas Lindschau
Fachbereich Medien

- eingereicht als Bachelorarbeit -

„ Vergleich einer digitalen und einer analogen Kinoka-
mera, unter Berücksichtigung der technischen und äs-
thetischen Ansprüche
der Werbe- und Filmindustrie.“

Erstprüfer

Prof. Dr.-Ing. Rainer Zschockelt

Zweitprüfer

Dipl. Kameramann Michael Schaufert

Hochschule Mittweida – University of Applied Science
Mittweida, 2009

„Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Teile, die wörtlich oder sinngemäß einer Veröffentlichung entstammen, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde noch nicht veröffentlicht oder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.“

Bibliographische Beschreibung und Referat

Lindschau, Niklas:

Vergleich einer digitalen und einer analogen Kinokamera, unter Berücksichtigung der technischen und ästhetischen Ansprüche der Werbe- und Filmindustrie.“ - 2009 – 73 S. Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Medien, Bachelorarbeit

Referat

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit den Unterschieden der ästhetischen Anmutung von digital und analog hergestellten Bildern. Dies wird untersucht anhand der ARRI 435 Xtreme Filmkamera und der ARRI D21 HD Digitalfilmkamera.

Diese Kameramodelle sind die führenden des jeweiligen Segments und kommen meistens in der Werbung oder bei High Budget Filmproduktionen zum Einsatz. Das hat bei der ARRI 435 Xtreme den Ursprung in der Kostenentstehung der Entwicklung des Filmmaterials und bei der ARRI D21 HD den Hintergrund der hohen Mieten bzw. der Kosten der aufwendigen Postproduktion.

Beide sind jedoch gerne in diesen Segmenten in Gebrauch, da das Produkt dieser Kameras enorm hochauflösend ist und somit prädestiniert für aufwendige Effektbearbeitung bzw. die Kinoauswertung. Am Ende dieser Arbeit soll eine verständliche Differenzierung stehen, welches dieser beiden Systeme welche ästhetische Ausstrahlung auf den Konsumenten hat und welches die messtechnischen Indikatoren dafür sind.

Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Beschreibung und Referat	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Vorwort.....	VIII
Einleitung.....	IX
1 Eingrenzung.....	10
1.1 Begriffliche Eingrenzung	11
2 Arriflex 435 Xtreme	13
2.1 Aufbau und Funktion der ARRI 435 Xtreme	15
3 Arriflex D21 HD	17
3.1 Aufbau und Funktion der Arriflex D21 HD	19
4 435 Xtreme vs. D21 HD	21
4.1 Mechanische Leistung.....	22
4.2 Auswertung der mechanischen Leistungsdarstellung	23
4.2.1 Rampen.....	23
4.2.2 Elektronische Spiegelblende	23
4.2.3 Linsen Mount	24
4.2.4 Verträgliche Temperaturen	24
4.2.5 Sound Level.....	24
4.2.6 Lens Data System	25
4.2.7 Gewicht mit Body und Viewfinder.....	26
4.2.8 Blendenumfang	27
4.2.9 Empfindlichkeit.....	27
4.2.10 HD Ausspielung	27
4.2.11 Auswertung.....	27

5	Filmformate	29
5.1	1:1,33 (TV, 4:3)	29
5.2	1:1,66 (Europäisches Kino)	30
5.3	1:1,78 (HDTV, 16:9)	30
5.4	1:1,85 (Amerikanisches Kino)	31
5.5	1:2,35 (Cinemascope)	31
6	Filmmaterial 35mm vs. Vollformat CMOS Chip 4:3	33
6.1	35mm Filmmaterial	34
6.1.1	Funktionsweise Farbfilm	35
6.2	CMOS Sensor	37
6.2.1	Funktionsweise CMOS Sensor	38
6.3	Auflösung	41
6.3.1	MÜF am Beispiel Filmmaterial	43
6.3.2	Auflösungsvermögen Vision3 250D 35mm Filmmaterial	45
6.3.3	Auflösungsvermögen des CMOS Sensors	46
6.3.4	Fazit	47
6.4	Kontrastumfang	49
6.5	Fazit	51
6.6	Farbtiefe	53
6.6.1	35mm Filmmaterial	54
6.6.2	CMOS Sensor	56
6.6.3	Fazit	58
7	Pixel vs. Korn	59
7.1	Filmkorn	59
7.1.1	Degraining	60
7.2	Pixel	61
8	Grundsätzliche ästhetische Diskussion	62
8.1	Film- Look vs. Elektronik- Look	66
8.2	Abschließendes Fazit	69
9	Literaturverzeichnis	71

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Arriflex 435 Xtreme	13
Abbildung 2 - Arriflex 435 Xtreme Body von vorne und von hinten ohne Zusatztechnik.....	14
Abbildung 3 - Greifersystem Arriflex 435 Xtreme	15
Abbildung 4 - Arriflex D21 HD Body ohne Zusatztechnik.....	17
Abbildung 5 - Arriflex D21 HD Body von hinten	18
Abbildung 6 - Arriflex D21 HD Body von vorne.....	18
Abbildung 7 - Tabelle zum Mechanikvergleich.....	22
Abbildung 8 - Sony SR Recorder SRW-1	24
Abbildung 9 - 4:3 Format.....	28
Abbildung 10 - Europäisches Kinoformat 1:1,66	29
Abbildung 11 - HDTV Format 16:9.....	29
Abbildung 12 - USA Kinoformat.....	30
Abbildung 13 - 1:2,35 Cinemascope Format.....	30
Abbildung 14 - Gestauchte anamorphote Aufnahme	32
Abbildung 15 - Entzerrte anamorphote Aufnahme	32
Abbildung 16 - Rollfilmkonfektionierung	33
Abbildung 17 - Schichtaufbau eines Farbnegativfilms: links unverarbeitet, rechts verarbeitet.....	35
Abbildung 18 - CMOS Sensor aus ARRI D21 HD	37
Abbildung 19 - Aufbau "Bayermaske"	38
Abbildung 20 - Testtafel für Schärfe	41
Abbildung 21 - Grafische Darstellung eines Microdensitometrischen scanns	42
Abbildung 22 - MFÜ von Kodak Vision3 250 D.....	44
Abbildung 23 - MÜF von Vision3 250D	44
Abbildung 24 - Graukeil	49
Abbildung 25 - Beispielaufnahme Kontrastumfang.....	51

Abbildung 26 - Spektrale Farbstoffdichte Vision3 250D	53
Abbildung 27 - Bsp. verschiedene Farbtiefen.....	56
Abbildung 28 - Theoretisches Farbspektrum CMOS Sensor	56

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich zuerst bei meinen Eltern dafür bedanken, dass sie mir diese Ausbildung ermöglicht haben und mich immer noch tatkräftig dabei unterstützen, sie abzuschließen.

Für dieses Thema habe ich mich entschieden, da es nicht nur für mich persönlich sehr interessant ist, sondern es - mit dem Ziel Kameramann zu werden - heutzutage unumgänglich ist, sich mit dieser Thematik intensiv auseinanderzusetzen. Umso besser ist es also, sich damit wissenschaftlich zu befassen, weil man während der nötigen Recherche sehr viel Fachliteratur verinnerlichen muss.

Auch möchte ich mich bei meinen beiden Prüfern, Herrn Prof. Dr.-Ing. Rainer Zschockelt und Herrn Dipl. Kameramann Michael Schaufert herzlich dafür bedanken, dass sie sich bereit erklärt haben, mit mir diese Arbeit zu bewältigen. Außerdem danke ich den äußerst hilfsbereiten Mitarbeitern der Studio Hamburg Filmtechnik und der Studio Hamburg Postproduktion für ihre Bereitschaft, mich an den Ergebnissen ihres 9xHD Systemvergleichs teilhaben zu lassen und mich nach Kräften zu unterstützen.

Einleitung

Der Vergleich einer digitalen und einer analogen Kinokamera, unter Berücksichtigung der technischen und ästhetischen Ansprüche der Werbeindustrie, ist das Thema der hier vorliegenden Ausarbeitung.

Im weiteren Verlauf möchte ich zuerst grundsätzlich die zu vergleichenden Systeme vorstellen und beschreiben.

Die Bestimmung der entscheidenden Einflüsse auf die Bildanmutung beider Systeme beansprucht den größte Anteil dieser Arbeit und wird auch mit Berücksichtigung der Präsentationsform ausgewertet. Ziel ist es aufzuzeigen, in welcher Art und Weise sich diese beiden unterschiedlichen Möglichkeiten, Filme bzw. Werbung herzustellen und zu präsentieren, beim Kinobesuch in der Ästhetik der Bilder äußern.

Warum in Bezug auf die Werbeindustrie? Das liegt zum einem an der Tatsache, dass dieser Industriezweig hohe Budgets hat und sich daher diese Systeme überhaupt leisten kann und zum anderen an der Auflösung, die diese Systeme generieren. Denn gerade in der Werbung wird viel mit visuellen Effekten gearbeitet, die ein qualitativ hochwertiges Basisprodukt benötigen, um den an sie gestellten Anforderungen gerecht zu werden.

1 Eingrenzung

Diese Arbeit bzw. die beschriebenen Systeme beziehen sich auf den aktuellen Stand der Technik. Daher muss die folgende Abhandlung als Momentaufnahme gewertet werden mit dem Stand Sommer 2009.

Die Arriflex D21 HD Digitalfilmkamera ist, unter dem Gesichtspunkt der Aufnahmemethodik, der Arriflex 435 Xtreme Filmkamera sehr ähnlich geworden. Damit ist unter anderem die Möglichkeit der Nutzung gleicher Objektive, oder dass die Arriflex D21 HD eine Spiegelumlaufblende eingebaut hat, gemeint. Aufgrund der Tatsache, dass beide Kamerasysteme den gleichen Strahlengang haben, ergeben sich logischerweise keine ästhetischen Differenzen. Daher werde ich in diesem Zusammenhang nicht näher darauf eingehen. Das ist längst nicht alles, denn man kann nahezu alle Zubehörartikel von ARRI¹, die für Filmkameras entwickelt und gebaut wurden, mit der Arriflex D21 HD verwenden, zusätzlich verfügt sie über einen optischen Sucher, was sie von den meisten anderen digitalen hochauflösenden Kameras unterscheidet.

Aufgrund dieser Annäherung entfallen viele der üblichen, offensichtlichen Differenzierungsgründe zwischen analogen- und digitalen Kinokameras. In dieser Arbeit werde ich diese überlappenden Eigenschaften nicht näher beschreiben. Auch die Thematik der unterschiedlichen Arbeits-, Produktions-, und Postproduktionsabläufe möchte ich nicht miteinbeziehen, ausgenommen die der Postproduktion, die unmittelbaren Einfluss auf die ästhetischen Eigenschaften der Bilder nehmen.

Die Kameras als solche sind, bis auf ein paar Einzelheiten wie Frame Rates² oder Handhabung, der Größe bzw. der Einsetzbarkeit bei

1 ARRI ist die Kurzbezeichnung und der Markenname der in München ansässigen Firmengruppe „Arnold & Richter Cine Technik GmbH & Co. Betriebs KG.“ die 1917 gegründet wurde. (http://www.arri.de/about_arri/history.html),

2 Frame Rate ist die Bildfrequenz der Einzelbilder die pro Sekunde aufgenommen werden. Diese ist von Kamera zu Kamera unterschiedlich variabel einstellbar.

bestimmten Witterungen, nicht maßgeblich verantwortlich für die Ästhetik der Bilder.

Es sind die Bausteine, die die durch das Objektiv gebrochenen Lichtstrahlen speichern bzw. aufnehmen und weitergeben zum Speichern, also das Filmmaterial bzw. der Chip.

Da diese Arbeit den Titel trägt: „Vergleich einer digitalen und einer analogen Kinokamera, unter Berücksichtigung der technischen und ästhetischen Ansprüche der Werbe- und Filmindustrie“, werde ich nicht auf die verschiedenen Signalaufnahmeoptionen der D21 HD eingehen, die, wie der Name der Kamera es vermuten lässt, auch Full HD ausgeben kann und auch noch andere Signale ausgibt. Nur das mit Film in Beziehung auf Auflösung, Farbtiefe und dynamischen Umfang vergleichbare ARRIRAW³ Format wird behandelt und beschrieben.

1.1 Begriffliche Eingrenzung

Wenn in dieser Arbeit der Begriff „Look“ verwendet wird, bezeichnet dies, wie Peter C. Slansky⁴ es in seinem Buch beschreibt, die Bildanmutung.

Mit „Film“ ist immer der fotochemisch zu entwickelnde Rollfilm gemeint. Digitalfilm hingegen meint die auf binären Zahlenabfolgen basierenden Datenströme der digitalen Kinokameras. Man kann dem Erzeugnis einer Digitalfilmkamera dieses Formats diese Bezeichnung zusprechen, nicht zuletzt da diese Kamera so eingestellt werden kann, dass keine eigenständige Gammakorrektur vorgenommen wird, sondern das Bildmaterial im Raw Format aufgenommen wird.

³ ARRIRAW ist ein unkomprimiertes Dateiformat in 12 bit.

⁴ Vgl. Slansky 2004, 94

Die Bedeutung des Begriffes „Wahrnehmen“ möchte ich, in Anlehnung an Rainer Guski, als selektiertes Ergebnis der kontinuierlichen Informationsaufnahme unserer Umwelt verwenden.⁵

„Ästhetik“ bedeutet per Definitionem:

“Ästhetik [grch. >Wahrnehmung] die, die Wissenschaft, die sich mit dem Schönen in allen seinen Erscheinungsformen befasst, d.h. sowohl mit dem Naturschönen als auch mit dem Kunstschönen und allen Unterarten z.B. dem Tragischen, Erhabenen, Komischen);[...]“⁶

In dieser Ausarbeitung soll der Begriff Ästhetik nicht als Wissenschaft verstanden werden, sondern als Teil des oben schon beschriebenen Informationsflusses, dessen Teilergebnisse der Wahrnehmung entsprechen.

⁵ vgl. Guski 1996, 1

⁶ Brockhaus Enzyklopädie, 1966, 810

2 Arriflex 435 Xtreme

Diese Filmkamera wurde 1994⁷, wobei die Xtreme Spezialisierung erst 2004⁸ eingeführt wurde, auf den Markt gebracht und erfreute sich größter Beliebtheit aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzfähigkeit im MOS⁹ Bereich.

The most versatile, robust and powerful MOS camera:

The ARRIFLEX 435 Xtreme is the workhorse of the film industry, the golden standard for 35 mm MOS camera work to be found on sets all over the world. Combining robust construction with a super steady movement, high speed and special in-camera effects, the ARRIFLEX 435 Xtreme is the most versatile MOS camera ever built. It is ideal for features, commercials, music videos, Steadicam or special effects work alike.“¹⁰



Abbildung 1 - Arriflex 435 Xtreme¹¹

⁷ http://www.arri.de/about_arri/history.html

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Arriflex_435

⁹ MOS kommt aus dem Englischen („Motion Only Shot“) und bedeutet, dass diese Kamera keine Schalldämmung hat.

¹⁰ http://www.arri.de/camera/35_mm_film/arriflex_435_xtreme.html#_blank

¹¹ Manual 435 Xtreme Anhang 1

Auf Abbildung 1 und Abbildung 2 bekommt man durch die Einzeichnungen einen kleinen Eindruck davon, wie komplex dieses Kameramodell ist (Wie die einzelnen Bezeichnungen lauten, ist dabei nicht entscheidend).

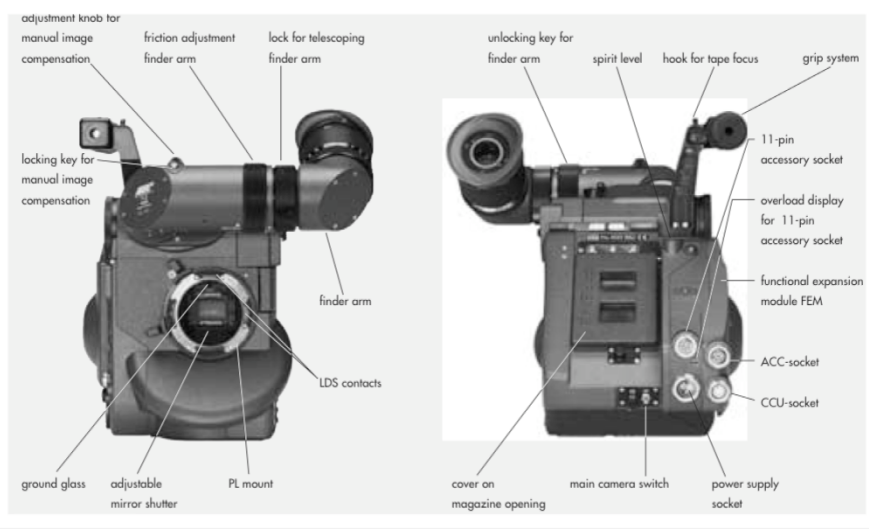


Abbildung 2 - Arriflex 435 Xtreme Body von vorne und von hinten ohne Zusatztechnik¹²

Die Arriflex 435 Xtreme ist eine sogenannte Stumme Kamera, was aber auch bedeutet, dass sie kleiner und leichter als tonfähige Kameras ist, da auf schalldämmende Maßnahmen verzichtet wurde. Dieses Modell kann Bildfrequenzen bis zu 150 Bilder in der Sekunde aufnehmen, was eine zusätzliche Geräuschentwicklung mit sich bringt.¹³

¹² Manual 435 Xtreme Anhang 1

¹³ Uhlig, 2007, 90

2.1 Aufbau und Funktion der ARRI 435 Xtreme

Die Funktionsweise von Filmkameras ist prinzipiell unverändert geblieben. Das Filmmaterial wird in ein Magazin eingelegt, das dann an die Kamera montiert wird, anschließend muss das Filmmaterial in das Greiferwerk eingefädelt werden.

Bei der 435 Xtreme wird das Filmmaterial in einer Schlaufe um das komplexe Schaltwerk oder auch Greiferwerk (Abbildung 3) gelegt. Wenn das Einlegen abgeschlossen ist, wird der Deckel aufgesetzt und der Filmtransport kann vonstatten gehen.

Dies ist auch dafür verantwortlich, dass das Filmmaterial für die Belichtung immer exakt an der gleichen Stelle vierundzwanzigmal pro Sekunde angehalten wird.

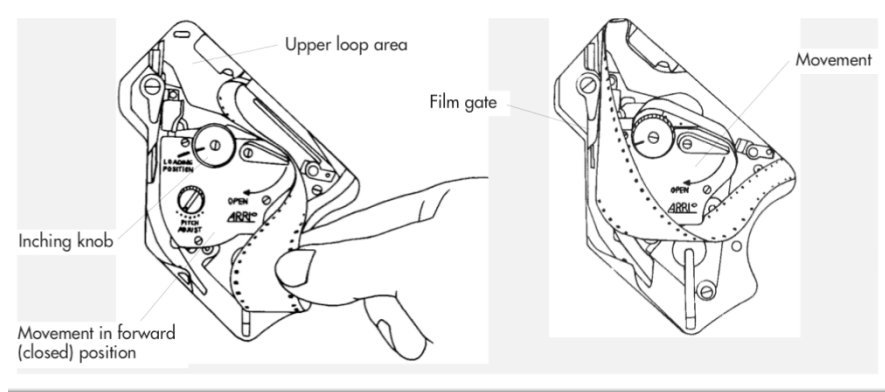


Abbildung 3 - Greifersystem Arriflex 435 Xtreme¹⁴

„An moderne Filmkameras werden große Erwartungen gestellt: Sie müssen eine stabile Verbindung zwischen den Teilen des Kamerasystems schaffen, lichtdicht sein, der Transport des Filmmaterials muss so genau sein, dass die Bildebene¹⁵ nicht verlassen wird, der Transport des Filmmaterials muss gleichmäßig und die Belichtung der einzelnen Bilder immer

¹⁴ Arriflex 435 Quick Guide, 9/97, Page 9

¹⁵ Die Bildebene ist der Bereich des optischen Systems einer Kamera, an dem eine scharfe Abbildung auf dem Film des fotografierten Objektes erfolgen soll.

an der gleichen Stelle erfolgen, da sonst Bildstandsfehler¹⁶ entstehen können.“¹⁷

Die ARRI 435 Xtreme ist im 9xHD Test mit einem dynamischen Umfang bis zu 15 Blenden angegeben und bis zu 800 ASA¹⁸ Empfindlichkeit.

¹⁶ Bildstandsfehler sind Intoleranzen des belichteten Feldes. In der Regel zittert das Bild in vertikaler Richtung.

¹⁷ Ulig, 2007, 89

¹⁸ 9xHD, 2009, 16

3 Arriflex D21 HD

Diese Kamera wurde 2008¹⁹, also 4 Jahre nach der ARRI 435 Xtreme, auf dem Markt etabliert und ist aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu Filmkameras eine lang erwartete technische Errungenschaft von ARRI.

„The ARRIFLEX D-21 HD is a film style digital camera that combines familiar high-end film style functionality, handling and creative options with the immediacy and economy of digital acquisition. The camera's bright optical viewfinder has zero delay, works without power and shows an image area outside the primary image, allowing operators to treat it as they would a 35 mm camera. The super 35-sized 4:3 sensor accommodates all image formats, including Mscope anamorphic 2.40:1, and exhibits the same depth of field as 35 mm film.“²⁰

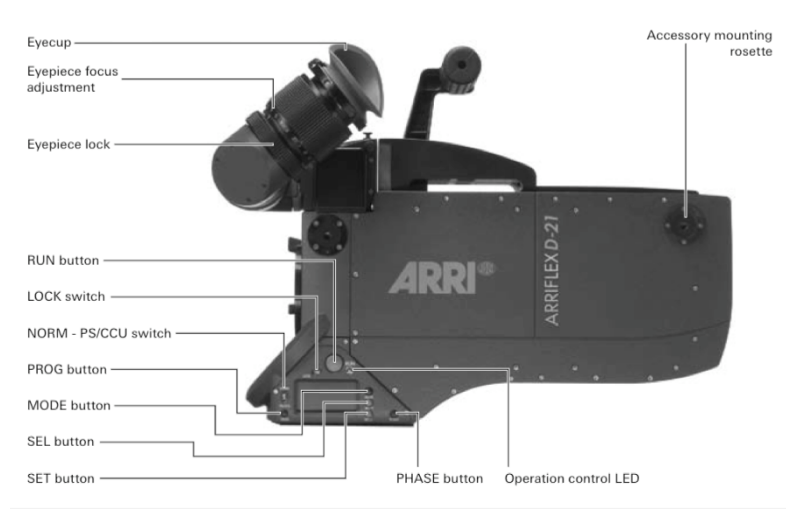


Abbildung 4 - Arriflex D21 HD Body ohne Zusatztechnik²¹

¹⁹ http://www.arri.de/about_arri/history.html

²⁰ http://www.arri.de/camera/35_mm_digital/arriflex_d_21hd.html#_blank

²¹ Manual D21 DH Anhang 3

Wie auf Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 zu sehen ist, sind die Möglichkeiten der Anschlüsse von Zusatztechnik in ähnlichem Umfang wie bei der 435 Xtreme gegeben.

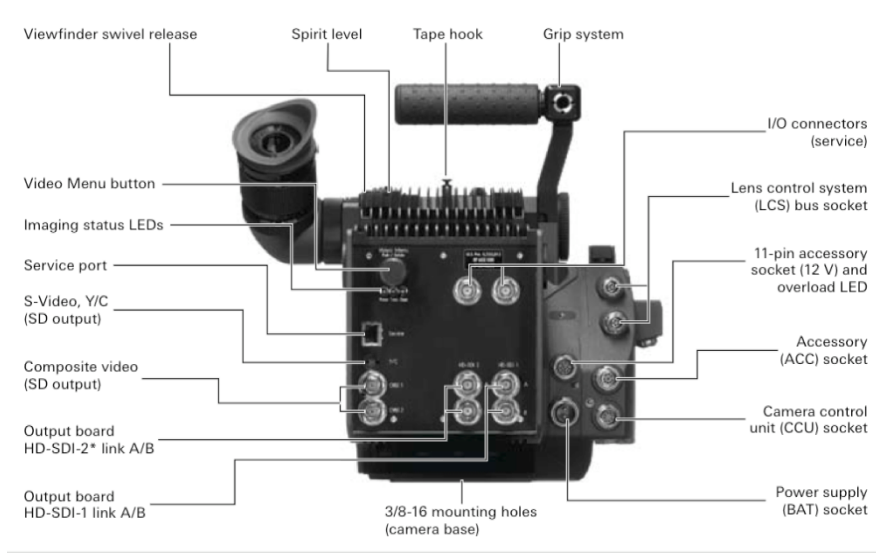


Abbildung 5 - Arriflex D21 HD Body von hinten²²

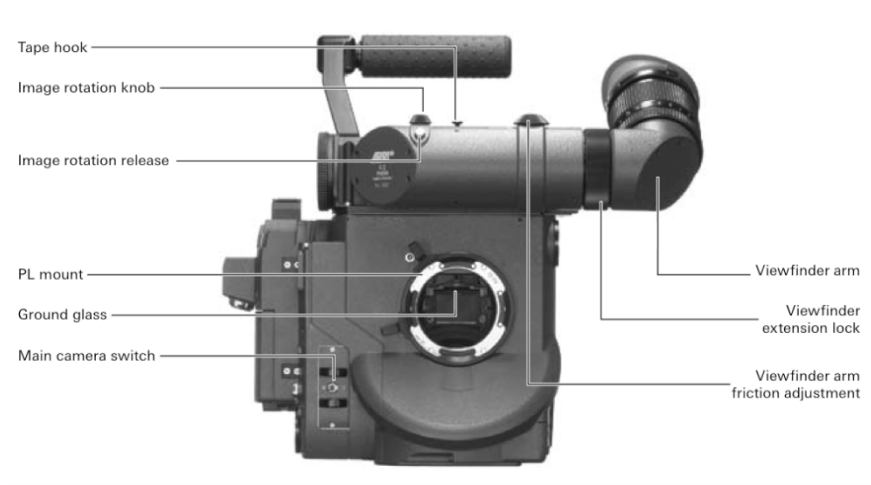


Abbildung 6 - Arriflex D21 HD Body von vorne²³

²² Manual D21 DH Anhang 3

²³ Manual D21 DH Anhang 3

3.1 Aufbau und Funktion der Arriflex D21 HD

Diese Kamera ist einer Filmkamera sehr ähnlich was das optische System und andere Feinheiten angeht.

An der Bildebene, auf der die Filmkamera das Bild erzeugt, wird nichts durch ein Greiferwerk bewegt, dort sitzt der Sensor. In diesem Fall handelt es sich um einen 4:3 CMOS Vollformat Chip. 4:3 ist das Format, welches die „Größe oder das Bildseitenverhältnis eines Filmbildes beschreibt.“²⁴

CMOS bedeutet:

„Complementary Metal Oxide Semiconductor“. [...] Die einzelnen Bildwandler, meist PN- Fotodioden, sind direkt mit der Signalverarbeitung verbunden. Das bedeutet, dass direkt im Chip Bildmanipulationen möglich sind [...] Außerdem ist jeder einzelne Pixel individuell auslesbar. Ein weiterer Vorteil der CMOS Wandler ist ihr Dynamikverhalten, sie erlauben einen Kontrast von über 15 Blendenstufen.“²⁵

Bei dem vom Verfasser oben angegebenen Blendenumfang handelt es sich wohl um eine übertragene Aussage, denn bei dem 9xHD Test des Studio Hamburg ist ein Blendenumfang von bis zu 11 Blenden²⁶ für die D21 HD ermittelt worden.

Vollformat bedeutet, dass der Chip so groß ist wie auch das 35mm Filmmaterial. Die Fläche des Chips ist somit im 1:1,375 Format (4:3) 20,9 x 15,2 mm. Je nachdem in welchem Format gedreht wird, ändern sich die Maße, da nicht alle Pixel belichtet werden. Bei einer 16:9 Aufnahme wären die zu belichtenden Pixel im 1:1,66 (16:9) Format auf einer Fläche von 20,9 x 12,6 mm abgebildet. Diese Größenangaben sind

²⁴ KODAK Motion Picture Film, 7/2001, 99

²⁵ Uhlig, 2007, 136

²⁶ 9xHD, 2009, 17

analog zu den Maßen beim Filmmaterial²⁷. Dazu folgt im Kapitel 5.1 eine Übersicht.

Die ausgegebenen Daten werden auf einem externen Rekorder gesichert und der Postproduktion übergeben.

²⁷ <http://www.digimage.de/zahlen.html>

4 435 Xtreme vs. D21 HD

Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, welche dieser beiden Kameras welche Eigenschaften haben, die das Arbeiten mit ihnen für den Kameramann und sein Team vereinfachen und bereichern.

Damit ist z.B. die Möglichkeit gemeint, Rampen²⁸ zu drehen oder Optiken mit Lens Data System²⁹ zu verwenden. Auch die Einsetzbarkeit bei verschiedenen Drehorten und Drehumständen soll unter diesen Gesichtspunkten beleuchtet werden.

Um einen kleinen Hardwarevergleich darzustellen, folgt unter 4.1 eine Übersicht, die auf die grundlegenden Eigenschaften eingeht, die durch ihre Auswirkungen auch die Ästhetik bzw. den Look beeinflussen können.

²⁸ Siehe 4.2.1

²⁹ Siehe 4.2.6

4.1 Mechanische Leistung

	435 Xtreme	D21 HD
Rampen	0.1 to 150 fps	(16:9): 1-30 fps (4:3): 1-25 fps
Elektronische Spiegelblende	Ja	Ja
Linsen Mount	54 mm PL	54 mm PL
Verträgliche Temperaturen	-20°C to +50°C	0°C to +40°C
Sound Level	MOS	Weniger als 20 dB(A) bei 24 fps
Lens Data System	Ja	Ja
Gewicht Body mit Viewfinder	6.5 kg	11.6 kg
Blendenumfang	bis 15 Blenden	bis 11 Blenden
Empfindlichkeit	800 ASA	200 ASA
HD- Ausspielung	Nein	Ja

Abbildung 7 - Tabelle zum Mechanikvergleich³⁰

In dieser Tabelle sind die Angaben von ARRI und die Testergebnisse des 9xHD Tests gegenübergestellt, die für diese Ausarbeitung relevant sind.

³⁰ vgl. http://www.arri.de/camera/35_mm_digital/arriflex_d_21.html#_blank
http://www.arri.de/camera/35_mm_film/arriflex_435_xtreme.html#_blank
9xHD, 2009, 16/17

4.2 Auswertung der mechanischen Leistungsdarstellung

Im Folgenden werden die einzelnen Punkte beschrieben und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die ästhetischen Mittel ausgewertet.

4.2.1 Rampen

Rampen werden die Aufnahmen genannt, die die Bildrate während der Aufnahme variieren. Das bedeutet, es entstehen Zeitlupen oder Zeitraffer. Diese können entweder aus der Normalgeschwindigkeit von 24p entstehen oder es wird aus einer Zeitlupe ein Zeitraffer bzw. umgekehrt.

Der Umstand, dass die ARRI 435 0.1 bis 150 Bilder pro Sekunde aufnehmen kann, bedeutet die Option einer 6 fachen Zeitlupe .

Die ARRI D21 HD kann hingegen nur 30 Bilder pro Sekunde aufnehmen, das entspricht nur fünf Extrabildern pro Sekunde. Natürlich kann man in der Postproduktion diese Zeitlupe noch intensivieren, allerdings nur mit einem Qualitätsverlust und auch nur begrenzt.

Die 150 Bilder der ARRI 435 im gleichen Maße in der Postproduktion zu strecken, wird auch keineswegs nur für Rampen benutzt, sondern findet seine Anwendung auch in handelsüblichen Zeitlupen, die durch die hohe Bildrate sehr schnelle Objekte wie einen fliegenden Pfeil aufnehmen und dabei auch zeigen können.

Demnach ist die ARRI 435 in dieser Disziplin der Sieger.

4.2.2 Elektronische Spiegelblende

Die ARRI D21 HD ist mit dem gleichen Viewfinder ausgestattet wie die ARRI 435 Xtreme. Dieser kann in beiden Kameras benutzt werden, auch wenn kein Strom angeschlossen ist. Daraus resultiert kein Vorteil für eines der beiden Kameramodelle.

4.2.3 Linsen Mount

Wie in der Einleitung schon beschrieben, ist es mit der ARRI D21 HD möglich, alle 35mm Objektive mit 54mm PL Mount zu verwenden. Also kristallisiert sich hier auch kein Vorteil für eines der beiden Kameramodelle heraus.

4.2.4 Verträgliche Temperaturen

Wie in der Abbildung 7 ersichtlich, verträgt die D21 HD keine Temperaturen unterhalb von 0°C, die 435 Xtreme allerdings kann bis zu -20°C eingesetzt werden. Das verschafft der 435 Xtreme einen großen Vorteil, denn viele Drehorte kommen für die D21 HD nicht in Frage. Damit ist nicht nur die Antarktis gemeint, auch die Möglichkeit, Szenen im Schneespiele zu lassen, wird damit zu einem unkalkulierbaren Risiko. Auch die 435 Xtreme kann „nur“ bis -20°C eingesetzt werden. Das bedeutet zwar, dass man in extremen Kältesituationen auch Probleme mit der Mechanik bekommen kann, allerdings lassen sich diese oft vor Ort beheben.

Die Temperaturobergrenzen dieser beiden Kameras sind nahezu gleich, nur ist auch hier wieder darauf hinzuweisen, dass bei der D21 HD ein Fehler aufgrund von Temperaturen und den einhergehenden Feuchtigkeiten ein elektronischer ist, der so gut wie nie am Set behoben werden kann.

Die 435 Xtreme geht also als Sieger aus dieser Runde hervor.

4.2.5 Sound Level

Die 435 Xtreme ist eine sogenannte MOS (Motion Only Shot) Kamera, das bedeutet, dass man mit ihr keine O-Ton fähige Kamera hat, die es zulässt, in einem ruhigen Zimmer einen Dialog ohne Störgeräusche aufzunehmen. Allerdings gibt es Dämmungseinrichtungen, sogenannte Blimps, die die Geräuscentwicklung minimieren. Sobald man mit der 435 Xtreme Rampen fährt, somit also höhere Bildfrequenzen erreicht werden, ist es nicht möglich, einen O-Ton aufzunehmen. Dementspre-

chend ist sie nicht O-Ton fähig³¹. Im Filmgeschäft bedeutet das, dass am Set zwei Kameras sein müssen, um die Dialoge mit einer O-Ton fähigen Kamera zu drehen. Die 435 Xtreme wird hingegen eher für Tricks wie Motion Control³², Kamerakranfahrten, Steadycamaufnahmen usw. verwendet.

Die D21 HD erreicht einen Geräuschepegel von bis zu 20 dB bei 24 Bildern in der Sekunde. Beim 9xHD Test ist von leichten Laufgeräuschen³³ die Rede. Daher ist es nicht nötig, eine andere Kamera für die Dialoge dabei zu haben, dadurch ist man flexibler beim Drehen.

Somit hat die D21 HD diese Runde für sich entschieden.

4.2.6 Lens Data System

Dieses System ermöglicht es dem ersten Assistenten, über seine ferngesteuerte Schärfenzieheinrichtung zu sehen, welche Blende eingestellt ist, wie groß der daraus resultierende Schärfenbereich ist, und wo er sich innerhalb dessen gerade bewegt. Diese Vorrichtung haben beide Kameras eingebaut, dadurch vereinfachen bzw. flexibilisieren sie die Arbeit des Teams und stützen die kreative Leichtigkeit.

³¹ vgl. 9xHD, 2009, 16

³² „[...] ermöglicht, dieselben Kamera- oder Objektbewegungen durch computergestützte Automatisierung in verschiedenen Aufnahmen genau zu wiederholen. In der Nachbearbeitung können die Aufnahmen zu einem Compositing zusammengeführt werden. [...]“

<http://de.wikipedia.org/wiki/Motion-Control-Fotografie>

³³ vgl. 9xHD, 2009, 17

4.2.7 Gewicht mit Body und Viewfinder

Die 435 Xtreme wiegt mit Viewfinder und ohne Magazin 6,5 Kg.³⁴ Die D21 HD wiegt mit Viewfinder und ohne Festplattenrekorder 11,6 Kg.³⁵. Das bedeutet zwar, dass die 435 Xtreme mit Magazin ein wenig mehr wiegt, allerdings immer noch weniger als die D 21 ohne den Festplattenrekorder, der für die ARRIRAW Aufnahme unabdingbar ist.

Dazu sind die Dimensionen der Systeme sehr interessant. Die D21 HD ist 39cm lang, 27cm breit und 30cm hoch.³⁶ Die 435 Xtreme ist 40cm lang, 25cm breit und 33cm hoch.³⁷ Diese Werte umfassen Viewfinder, aber nicht Magazin und Objektiv. Sie sind kaum unterschiedlich in ihren Dimensionen, allerdings muss bei der D21 HD für die ARRI-RAW Aufnahme ein externer Rekorder³⁸



Abbildung 8 - Sony SR Recorder SRW-1

(SR Recorder SRW-1)³⁹ angeschlossen werden, was dem Drehkomfort nicht zuträglich ist.

Diese Zahlen sagen aus, dass es in engen Räumen wie Autos schwerer ist, mit der D21 HD Handkameraeinsätze zu haben. Auch ist es für den Operator eine größere körperliche Belastung, länger mit ihr zu arbeiten, als mit der 435 Xtreme. Da bei der 435 Xtreme keine Kabel nötig sind, um mit ihr zu drehen, hat sie gegenüber der D21 einen Vorteil, da sie flexibler einzusetzen ist.

³⁴ http://www.arri.de/camera/35_mm_film/arriflex_435_xtreme.html#_blank

³⁵ http://www.arri.de/camera/35_mm_digital/arriflex_d_21.html#_blank

³⁶ http://www.arri.de/camera/35_mm_digital/arriflex_d_21.html#_blank

³⁷ http://www.arri.de/camera/35_mm_film/arriflex_435_xtreme.html#_blank

³⁸ http://www.hdcompare.com/DDRs%20and%20VTRs/Sony_SRW-1_lg.jpg

³⁹ 9xHD, 2009, 17

4.2.8 Blendenumfang

Die 435 Xtreme hat mit 15 zeichnenden Blenden einen größeren dynamischen Umfang als die D21 HD mit 11 zeichnenden Blenden. Sie ist in dieser Kategorie die führende Kamera.

Was das für die Ästhetik des Bildes bedeutet, bzw. welches der Grund dafür ist, wird in Abschnitt 6.4 geklärt werden.

4.2.9 Empfindlichkeit

Auch hier hat die 435 Xtreme einen Vorteil, denn sie ist mit 800 ASA doppelt so empfindlich wie die D21 HD mit 200 ASA.

Dadurch wird das Spektrum der Einsetzbarkeit bei schwierigen Lichtsituationen für die D21 HD eingeschränkt.

4.2.10 HD Ausspielung

Dass die D21 HD eine HD Ausspielung hat, ist sehr gut, allerdings bringt das nur den Vorteil, dass man auf einem Monitor das Bild besser kontrollieren kann.

Die 435 Xtreme hat eine PAL Ausspielung, was das erzeugte Bild nicht in sehr hoher Auflösung präsentiert. Da aber der Kameramann dazu ausgebildet wurde, sein Bild im Sucher zu überprüfen, ist der Vorteil, der daraus resultiert ein kleiner, der allerdings nicht ganz problemlos ist.

Es können z.B. Kunden am Set ein hochauflösendes Bild präsentiert bekommen, womit sie meist glücklicher sind. Allerdings wirft diese Möglichkeit viele Diskussionspunkte auf, die in der Regel Zeit kosten und Zeit ist am Set ein knappes Gut.

4.2.11 Auswertung

In diesem Vergleich hat die 435 Xtreme in fünf von zehn Punkten besser abgeschnitten als die D21 HD. Die D21 HD hat in drei von zehn Punkten ein besseres Ergebnis erzielt und bei zwei Punkten war Gleichstand.

Abschließend lässt sich sagen, dass diese Kameras zwar den gleichen Sektor bedienen, allerdings in verschiedenen Anwendungsgebieten. Die 435 Xtreme ist spezieller als die D21 HD, da sie mehr kann und in einem größeren Feld einsetzbar ist und nicht zuletzt robuster ist, Zeitlupen mit bis zu 150 Bildern aufnehmen kann und völlig ohne zusätzlich verkabeltes Gerät einsetzbar ist.

In einem Studio, in dem keine Flexibilität des Systems erforderlich ist, z.B. bei einem Werbefilm der aus zwei Einstellungen besteht und bei dem O-Ton mitaufgezeichnet werden muss, hat die D21 HD einen klaren Vorteil. Dreht man allerdings einen Film, in dem Fahraufnahmen erforderlich sind, viel in Handkameraeinstellung gedreht wird und einige Szenen im Schnee spielen, ist die 435 Xtreme die einzusetzende Kamera.

Auch die Empfindlichkeiten dieser Systeme wirken sich deutlich auf die Kameraarbeit aus, denn da die D21 HD deutlich unempfindlicher als die 435 Xtreme ist, wird verhältnismäßig mehr Licht am Drehort benötigt.

Das ausschlaggebende Argument für oder gegen eine dieser Kameras ist aus den betrachteten Fakten jedoch die Fähigkeit der 435 Xtreme, die hohen Bildfrequenzen aufnehmen zu können. Wenn solche Aufnahmen gedreht werden, ziehen sie sich meistens durch den Film hindurch und die D21 HD kann starke Zeitlupen nicht in hoher Qualität generieren. Dabei ist die Qualität in diesem Segment sehr wichtig.

Daher ist mein Fazit, dass die kreative Freiheit des Kameramannes mit der 435 Xtreme deutlich besser unterstützt wird, als mit der D21 HD.

Aus diesen Gründen wird es im Folgenden in dieser Arbeit nicht mehr primär um die Systeme, mit denen die Bilder hergestellt werden, gehen, sondern um die eigentlichen Bildgeneratoren und deren verschiedenen Formate. Das ist zum einen das Filmmaterial, welches durch die 435 Xtreme läuft und zum anderen der CMOS Sensor der D21 HD und deren Eigenschaften bzw. Einflüsse auf das Bild.

5 Filmformate

Filmformat meint in der Regel das Seitenverhältnis (engl. aspect ratio) des aufgenommenen Bildes. Durch die verschiedenen Formate entstehen verschiedene Auflösungspotentiale.

Diese Formate haben sich historisch entwickelt und wurden durch internationale Normen festgelegt. Die wichtigsten Normungen sind SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers), ISO (International Standard Organization) und ANSI (American National Standards Institute).

Je nach Normung können die einzelnen Formate geringfügige Abweichungen innehaben.⁴⁰ All die im Folgenden genannten Formate lassen sich mit beiden Kameratypen erzeugen.

5.1 1:1,33 (TV, 4:3)

Dieses Verhältnis entspricht genau dem herkömmlichen Fernsehformat, wie es rechts in der Grafik⁴¹ zu sehen ist. Es wurde auch nach dessen Vorbild entwickelt, was natürlich die filmkompositorische Ästhetik beeinflusste. Es war damals das Stummfilmformat. Eine



Abbildung 9 - 4:3 Format

kurze Zeit lang wurde nach der Einführung der Tonspur neben dem Bild auf dem Negativ ein fast quadratisches Bild aufgezeichnet (1:1,37/ 3:2). Einige Jahre später verkleinerte die Academy („AMPAS“, Academy for Motion Picture, Arts and Science), die auch den Oscar verleiht, das innerhalb des potentiellen Bildfeldes tatsächlich benutzte Bildfeld, um so wieder zum 1:1,33 Format zu gelangen.

⁴⁰ Vgl. Uhlig, 2007, 29 und Monaco, 2002, 104

⁴¹ [http://en.wikipedia.org/wiki/Aspect_ratio_\(image\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Aspect_ratio_(image))

Noch heute wird in vielen Film- Lehrbüchern dieses Format auf den Goldenen Schnitt der klassischen Kunst und Architektur zurückgeführt, eine mystische Zahl, die sich oft in der Natur wiederfinden lässt. Dabei errechnet sich der Goldene Schnitt aus $a/b=b/(a+b)$, was einem Höhen-/ Seitenverhältnis von 1:1.618 entspricht. Das kommt dem Europäischen Breitwandformat nahe, allerdings nicht dem 1:1,33 Format.⁴²

5.2 1:1,66 (Europäisches Kino)

Lange Zeit wurden europäische Kinofilme in diesem Format⁴³ gedreht, allerdings tendieren die europäischen Produktionen mittlerweile zu Breitwandproduktionen (1:1,85, 1:1,78 1:2,35).



Abbildung 10 - Europäisches Kinoformat 1:1,66

5.3 1:1,78 (HDTV, 16:9)

HDTV bedeutet High- Definition Television und ist ein relativ neues Format (rechte Grafik)⁴⁴. Bei gleicher Bildhöhe ist dieses Format breiter als das herkömmliche Fernsehformat. Dadurch werden mehr Informationen im Bild vermittelt.⁴⁵

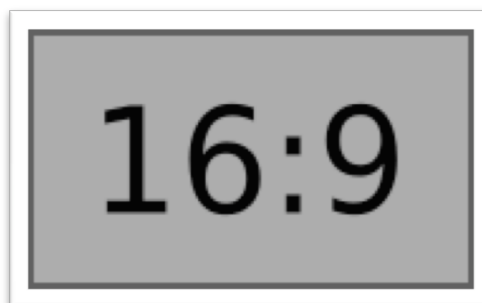


Abbildung 11 - HDTV Format 16:9

⁴² Vgl. Uhlig, 2007, 29 und Monaco, 2002, 104

⁴³ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Filmaspectratios.jpg>

⁴⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aspect-ratio-16x9.svg>

⁴⁵ Vgl. Uhlig, 2007, 29

5.4 1:1,85 (Amerikanisches Kino)

Dieses ist das klassische Amerikanische Kinoformat (rechte Grafik)⁴⁶. Als das Fernsehen zunehmend populärer wurde, haben die Filmproduzenten damals für die Kinobesucher ein neues Breitwandformat etabliert, dessen Wirkung sich im Kino besonders gut entfalten konnte und kann.



Abbildung 12 – USA Kinoformat

Bei diesem und den unter 5.2 und 5.3 beschriebenen Formaten werden auf dem Negativ vorhandene Bildinformationen abgekascht, was bedeutet, dass sie nicht belichtet werden. Dadurch verliert man theoretisch vorhandene Auflösung.

Bei 1:1.85 hat man einen Auflösungsverlust von 36 Prozent.⁴⁷

5.5 1:2,35 (Cinemascope)

Der Trend zu breiteren Bildern brachte auch dieses Format hervor. Das ursprüngliche Seitenverhältnis war 1:2,55, pendelte sich dann aber auf 1:2,35 und 1:2,40 ein.



Abbildung 13 - 1:2,35 Cinemascope Format

Wie in 5.4 beschrieben, würde beim Abkaschen der oberen und unteren Bildbereiche auf dieses Format enorm viel Auflösung verloren gehen.

1953 kam der erste Cinemascope Film in die Kinos, „The Robe“, produziert von Twentieth Century Fox. Die zur Aufnahme verwendeten

⁴⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Aspect-ratio-1.85x1.svg>

⁴⁷ Vgl. Uhlig 2007, 30 und Monaco, 2002, 106

Objektive sind anamorphotisch, wie auch die zur Projektion verwendeten Linsen der Projektoren. Das bedeutet, das Bild wird bei der Aufnahme um ca. die Hälfte in der Breite gestaucht (Abbildung 13⁴⁸), somit das ganze Negativ belichtet und bei der Projektion um den gleichen Faktor wieder entzerrt (Abbildung 14⁴⁹).

Damit hat man in der Vertikalen zwar die normale Bildinformation, allerdings werden in der Horizontalen das Korn und die Bildfehler auf das Doppelte vergrößert.

Zusätzlich sind anamorphotische Objektive sehr komplizierte optische Systeme, die teurer vertriehen werden und gar nicht in der Vielfalt wie sphärische (nichtanamorphotisch) Objektive zu haben sind.



Abbildung 14 - Gestauchte anamorphote Aufnahme



Abbildung 15 - Entzerrte anamorphote Aufnahme

⁴⁸

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0c/Anamorphic_lens_illustration_with_stretching.jpg

⁴⁹ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/8/86/Cinemascope-Projektion.jpg>

6 Filmmaterial 35mm vs. Vollformat CMOS Chip 4:3

In diesem Kapitel soll es um die bildgenerierenden Bausteine, somit also die wichtigsten Teile für die Ästhetik der Bilder dieser Kameras, gehen.

Zuerst wird kurz die Funktionsweise des Filmmaterials bzw. die eines CMOS Sensors erläutert anschließend werden die Eigenschaften hinsichtlich Auflösung, Farbtiefe, Kontrastumfang und möglicher Bildfehler beschrieben und mit Blick auf die Ästhetik ausgewertet.

In diesem Kapitel stehen die Kameras nicht mehr im Vordergrund, da sie als Träger dieser Bildaufnahmeverfahrenstechniken auswechselbar sind.

Wie schon beschrieben sind die optischen Bildverarbeitungsprozesse dieser Kameras homogen, denn sie können mit dem gleichen optischen System erzeugt werden, d.h. den gleichen Objektiven, der gleichen Spiegelumlaufblendentechnik und dem gleichen optischen Sucher.⁵⁰ Also kann das, was am Bildfenster ankommt, identisch sein.

⁵⁰ Siehe: 4.2.2/ 1/

6.1 35mm Filmmaterial

Filmmaterial bzw. Rollfilm hat eine über hundertjährige Geschichte. Thomas Alva Edison erfand mit George Eastman den EASTMAN Transparentfilm, einen Streifen durchsichtiges Cellulosenitrat, das mit einer Schwarzweiß- Emulsion beschichtet war. Sie verwendeten eine stark modifizierte Kodak Stehbildkamera, um den ersten Kinofilm zu produzieren. 1893 wurde dieser mit dem zusätzlich von ihnen entwickelten Abspielapparat (dem Kinetoskop) auf der Weltausstellung in Chicago gezeigt.⁵¹

Es gibt verschiedene Rollfilmkonfektionierungen wie rechts in der Grafik⁵² zu sehen ist. Innerhalb dieser Konfektionierungen wie 8mm (nicht abgebildet), 16mm, 35mm, 70mm und 70mm IMAX (hiermit ist die Breite des Filmmaterials inkl. der Perforationen gemeint), sind verschiedene Formate vorhanden.

Diese Formate haben sich in der Genese des Films entwickelt und etabliert. Da diese Ausarbeitung, nur den 35mm Film behandelt, werde ich auf die anderen Konfektionierungen nicht näher eingehen.

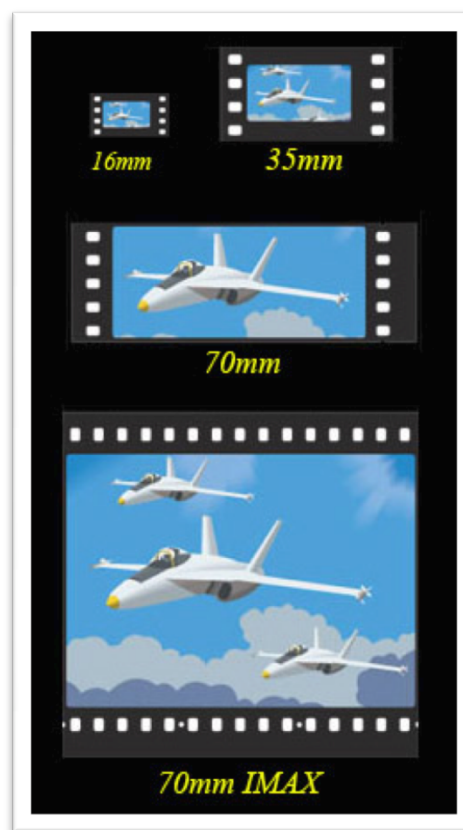


Abbildung 16 - Rollfilmkonfektionierung

⁵¹ Vgl. Kodak Motion Picture Film, 2001, 4

⁵² <http://sprec000.xardas.lima-city.de/Digicam5.html>

6.1.1 Funktionsweise Farbfilm

Farbnegativfilme haben unterschiedliche Emulsionsschichten, die nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung aus den Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb in Verbindung mit ihren Komplementärfarben die Wiedergabe aller Farben erreichen.

Es sind drei Emulsionsschichten, die aus Silberhalogeniden in Verbindung mit Farbkupplern bestehen.⁵³

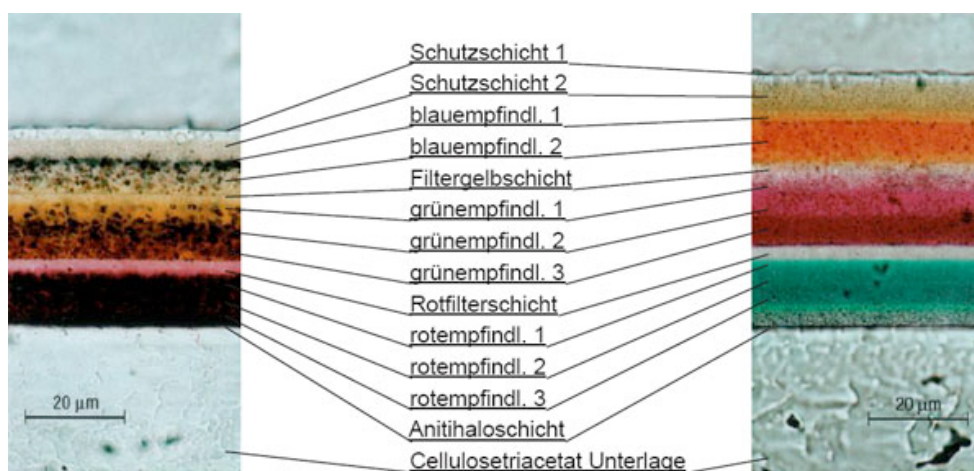


Abbildung 17 - Schichtaufbau eines Farbnegativfilms: links unverarbeitet, rechts verarbeitet⁵⁴

- Oberste Schicht: empfindlich (sensibilisiert) für blaues Licht, kuppelt bzw. wird Gelb
- Mittlere Schicht: empfindlich (sensibilisiert) für grünes und blaues Licht, kuppelt bzw. wird Magenta
- Unterste Schicht: empfindlich (sensibilisiert) für rotes und blaues Licht, kuppelt bzw. wird Cyan

„Zwischen der oberen und der mittleren farbsensibilisierten Schicht liegt eine Filterschicht, die Gelbfiltersperrschicht, die den Blau- und Violettanteil des einfallenden Lichtes ausfiltert.“⁵⁵

⁵³ Vgl. Uhlig, 2002, 19

⁵⁴ <http://www.univie.ac.at/fotografie/aufnahme/farbfilm.htm> bzw. Folienserie des Fonds der Chemischen Industrie, Nr.26, „Fotografie“, Frankfurt/Main, 1999

⁵⁵ <http://www.univie.ac.at/fotografie/aufnahme/farbfilm.htm>

Dadurch wird verhindert, dass blaues Licht in die tieferen Bereiche der Emulsion vordringt. Während der Belichtung absorbieren die anderen Farbschichten Teile des Lichtspektrums der benachbarten Schichten, das sind sogenannte Belichtungsfehler, deren Resultat Nebendichten sind.

Diese Nebendichten ergeben mit den Hauptdichten der jeweiligen Filterschichten die sogenannten Summendichten. Um diesen Effekt einzudämmen, sind die unteren beiden Emulsionsschichten eingefärbt, dies bewirkt auch die orangebraune Färbung von Farbfilmmaterialien.

Die mittlere grünempfindliche Schicht ist leicht gelblich gefärbt, die untere rotempfindliche leicht orange. Farbfehler beim Positivfilm lassen sich dadurch neutralisieren. Andererseits erfährt der Farbnegativfilm durch die Nebendichten eine Farbraumerweiterung, die wichtig für die Bildanmutung ist.⁵⁶

Farbfilme sind entweder für Kunstlicht (3200 Kelvin) sensibilisiert, oder aber für Tageslicht (5600 Kelvin). Die Möglichkeit durch entsprechende Spektralfilter die Lichtfarbe anzupassen, besteht unter geringem Verlust an Lichtintensität.

⁵⁶ Vgl. Uhlig, 2002, 19/20 und http://141.28.126.80/davt/wiki/SS08_1:Hauptseite

6.2 CMOS Sensor

Die Idee der CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)- Sensoren, jeden Bildpunkt separat zu verdrahten und somit ansprechen bzw. auslesen zu können, entstand schon früh.

Bereits in den 70er Jahren kamen Theorien zu derartig funktionierenden Sensoren auf. Leider gab es keine Kompetenzen, die zu einer effektiven Herstellung der dazu erforderlichen Schaltungen erforderlich gewesen wären. Wegen der anfänglich nur schlecht verkleinerbaren Ausleseelektronik lag der Füllfaktor, also der Anteil der lichtempfindlichen Fläche an der Gesamtfläche eines Pixels, bei nur 30 Prozent, d. h. die Ladungsausbeute war gering (somit auch die erzielbare Signalstärke), was zu einem schlechten Signal-Rausch-Verhältnis führte und sich in starkem Bildrauschen bei schlechter Lichtempfindlichkeit äußerte.

Dies und weitere Komplikationen waren auch die Hauptgründe für die Bedeutungslosigkeit dieser Technologie bis Ende der 80er Jahre.⁵⁷⁵⁸



Abbildung 18 - CMOS Sensor aus ARRI D21 HD

⁵⁷ Göhring, 2002, 15

⁵⁸ http://de.wikipedia.org/wiki/Active_Pixel_Sensor

6.2.1 Funktionsweise CMOS Sensor

CMOS Chips bestehen aus einer bestimmten Anzahl von neutralen Sensoren, die einfach nur die Helligkeit an einem bestimmten Pixel messen. Bei der D21 HD sind es 2880 x 2160⁵⁹ Pixel (4:3) im ARRIRAW Modus.⁶⁰

Diese „[...] Bildsensoren haben die Fähigkeit, eine Vielzahl von Verarbeitungsschritten und Kontrollfunktionen, die über das Sammeln von Photonen deutlich hinausgehen, parallel auszuführen bzw. direkt auf dem Chip zu implementieren. [...] Die bekanntesten CMOS – Architekturen basieren auf „Aktiven Pixel Sensoren“ (APS) Technologien, bei denen sowohl die Fotodiode als auch die Ausleseelektronik für jeden Pixel kombiniert vorkommen. Dies erlaubt, das Ladungspaket, das auf der Fotodiode gesammelt wird, noch im Pixel auszuwerten und in eine Spannung umzuwandeln, um sie dann in fortlaufenden Spalten und Zeilen zum Analogsignalprozessor des Chips weiterzuleiten. Somit enthält jeder Pixel (oder jedes Bildelement) zusätzlich zur Fotodiode noch eine Vielzahl von Transistoren, die die gesammelten Elektronenladungen in eine messbare Spannung umwandeln. Im weiteren zeitlichen Verlauf des Auslesevorgangs wird die Fotodiode neugestartet und die Spannung auf den vertikalen Spaltenbus übertragen. Das daraus resultierende Feld ist mit einem organisierten Schachbrett mit metallischen Auslesebussen vergleichbar, das an jeder Kreuzung eine Fotodiode mit Signalverarbeitungselektronik enthält. Der Bus leitet die Leseanfrage an die Fotodioden weiter und bringt die Ausleseinformation zurück zum Analogdekoder und –prozessor, der sich entfernt vom Aufnahmefeld auf dem Chip befinden kann.

Diese Technik erlaubt es, jeden Pixel des Feldes direkt zu adressieren und auszulesen. [...]“⁶¹

⁵⁹ http://www.arri.de/camera/35_mm_digital/arriflex_d_21.html#_blank

⁶⁰ <http://www.movie-college.de/filmschule/kamera/cmoschips.htm>

⁶¹ Göhring, 2002, 15/ 16

Die Möglichkeit die einzelnen Pixel auszulesen, impliziert auch die Möglichkeit bestimmte Teile des Sensors auszulesen. Das wird auch RIO (Region of Interest) genannt.⁶²

Die oben erwähnten neutralen Sensoren erzeugen lediglich ein Schwarzweiß-Bild. Um mit einer Ein-Chip Kamera Farben aufnehmen zu können, hat der CMOS Chip eine "Bayermaske".

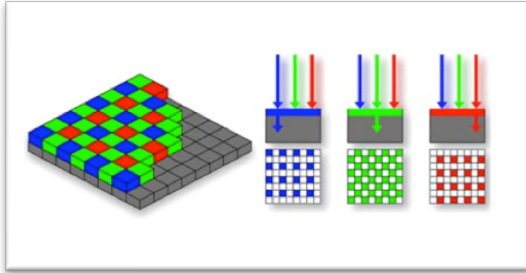


Abbildung 19 - Aufbau "Bayermaske"

grüne und blaue Filter abwechseln. Die grünen Filter sind dabei zeilenweise um einen Pixel verschoben. Diese spezielle Anordnung geht auf einen Mitarbeiter der Firma Kodak namens Bayer zurück. Deshalb spricht man auch von der "Bayermaske".

Erst die Bildbearbeitungshardware und -software der Kamera, im Falle der ARRI D21 HD ist es die AIT (ARRI Imaging Technology), errechnet mit Hilfe eines Debayering Algorithmus und anderen Hardwarekomponenten anhand der unterschiedlich gefilterten RGB Anteile der jeweiligen Pixel ein Farbbild.

Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn in ARRIRAW aufgezeichnet wird, sondern nur wenn - wie dies es voraussetzt - das Bild vor der Speicherung schon komprimiert wurde.⁶³

Vor jeden Pixel auf dem Sensor ist ein winziger roter, grüner oder blauer Filter gelegt. Die Anordnung dieser Farbfilter ist dabei so festgelegt, dass sich in einer Zeile rote und grüne, in der nächsten

⁶² Uhlig, 2007, 137

⁶³ <http://www.movie-college.de/filmschule/kamera/cmoschips.htm>

6.2.1.1 ARRIRAW

Bei ARRIRAW Aufnahmen muss ein unkomprimierter 12 bit raw bayer Datenstrom, den man als digitales Negativ verstehen kann, von dem CMOS Sensor auf eine externe Festplatte transferiert werden.

ARRI Entwickler fanden einen Weg, dies über eine dual-link HD-SDI Verbindung zu verwirklichen. Diese Verbindung wird ARRIRAW T-Link (Transport Link) genannt. Durch diese Innovation kann jeder Rekorder, der unkomprimierte dual- HD-SDI Datenströme aufnehmen kann, ARRIRAW aufnehmen.

Die Eigenschaften dieser Verbindungen sind durch die SMPTE 372M festgelegt auf eine maximale Datenrate von 2.97 Gb/s. Die SMPTE 372M Norm definiert zusätzliche Eigenschaften des durch zwei USB Kabel (das eine ist hierbei Link A und das andere Link B) zu schicken den Signals. Durch diese Links werden die RGBA Informationen transferiert.

RGBA steht für Rot, Grün, Blau und einen Alphakanal. Technisch wird dies auch 4:4:4:4 (R'G'B'+A)/10 bit genannt. ARRIRAW T-Link verteilt die 12 bit raw Bayer Daten so, dass sie durch den RGBA Datenkanal transferiert werden können. Während dieses ganzen Prozesses bleiben die generierten Daten unkomprimiert.

U.a. mit dem ARRIRAW Image Converter (AIC), der kostenlos von ARRI angeboten wird, lassen sich die unkomprimierten Daten ansehen, bearbeiten und in nahezu jedes Dateiformat konvertieren.⁶⁴

⁶⁴ Anhang 5/ 2008-09-10_ARRIFLEX_D_21_D_21_HDBrochure
<http://archiv.arri.de/arriraw/index.html>

6.3 Auflösung

„Das Auflösungsvermögen ist eines der kennzeichnenden Merkmale für die Bild- oder Abbildungsgüte eines optischen Systems, beziehungsweise einer optisch- fotografischen (kinematografischen oder fernsehtechnischen) Abbildungskette oder deren einzelner Glieder. Unter dem AV versteht man die Fähigkeit eines Bildaufzeichnungssystem, eng benachbarte Objekteinheiten getrennt wiederzugeben.“⁶⁵

Dies wird mit Hilfe von fotografischen Auflösungsstafeln oder Testvorlagen (siehe Abbildung 20⁶⁶) geprüft. Die parallelen Linien auf der Tafel sind voneinander durch Zwischenräume getrennt, die genauso breit sind wie sie selber. Die Tafel enthält eine abgestufte Reihe von Liniengruppen, die sich gegenüber der nächsten größeren oder der nächsten kleineren um einen konstanten Faktor unterscheiden.

Das Auflösungsvermögen wird durch visuelle Einschätzung der Zahl der noch als Linien erkennbaren Linien je mm bestimmt.⁶⁷

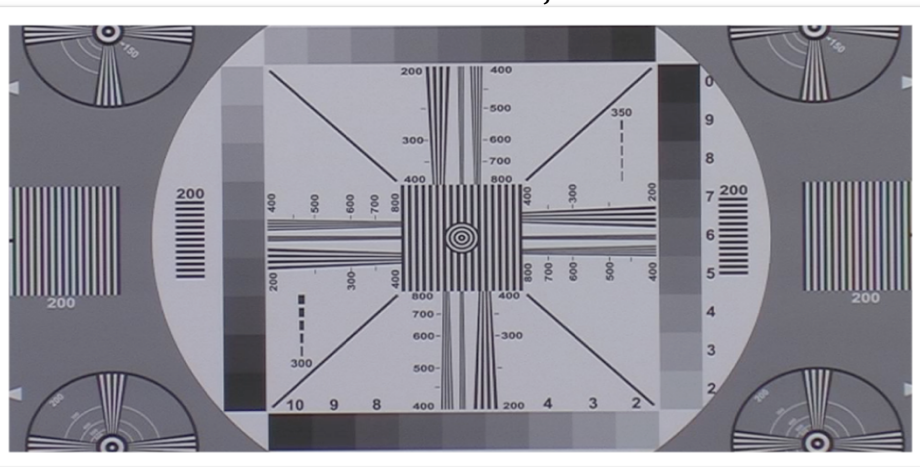


Abbildung 20 - Testtafel für Schärfe

⁶⁵ Mehnert, 1971, 392

⁶⁶ <http://www.hennek-homepage.de/video/test169.jpg>

⁶⁷ Vgl. Kodak Motion Picture Film, 2001, 26

Das Auflösungsvermögen der Systeme ist von mehreren Einflüssen abhängig.

Beim Filmmaterial z.B. ist ein großer Faktor die Empfindlichkeit. Das Korn bzw. die Silberhalogenid-Kristalle werden mit zunehmender Empfindlichkeit (ASA oder ISO) größer und mit abnehmender ASA feiner. Auch wichtig ist, ob die Aufnahme über- oder unterbelichtet ist oder wie der Objektkontrast ist, denn daraus resultieren Auflösungsabweichungen.

Die bestimmte Auflösung hängt in der oben beschriebenen Messmethode mit dem gewählten Objektiv zusammen, allerdings wird dies hier nicht beachtet, sondern nur das, was das Aufnahmemedium in der Lage ist an Auflösung zu generieren. Dazu gibt es bei Filmmaterial eine andere Messmethode des Auflösungsvermögens, welches in 6.3.1 beschrieben wird.

Um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen, wird sich an die angegebenen 200 ASA der D21 HD im 9xHD⁶⁸ Test gehalten und die Empfindlichkeit des Filmmaterials, die variabel wählbar ist, angepasst. Aus diesem Grund werde ich Kodak Vision3 250D Material in diesem Vergleich betrachten und weil der CMOS Sensor der D21 HD auf 5600 Kelvin eingestellt ist, wie das Daylight Material auch.

Es wird davon ausgegangen, dass die Bedingungen für beide Systeme optimal sind. Dadurch wird eine gemeinsame Basis geschaffen.

⁶⁸ 9xHD, 2009, 17

6.3.1 MÜF am Beispiel Filmmaterial

Die Messmethode, mit der das Auflösungsvermögen von Filmmaterial bestimmt wird, ist die Modulationsübertragungsfunktion (MÜF).

„Die Modulationsübertragung eines Films kennzeichnet seine Fähigkeit, Bilddetails verschiedener Größe wiederzugeben. Durch die Modulationsübertragungs-Kurve wird beschrieben, wie der Film komplexe räumliche Detailfrequenzen reproduziert. Im Physikalischen Sinn bewerten die Messungen den Einfluss der Lichtstreuung in der Emulsion auf das Bild.“⁶⁹

Unter genau festgelegten Bedingungen wird eine Reihe von speziellen Testvorlagen auf einem Filmstreifen aufbelichtet. Nach der Entwicklung wird das Negativ mit einem Microdensitometer gescannt. Dabei entsteht folgende Grafik (Abbildung 21⁷⁰):

„Aus den Messungen ist der Verlust an Bildkontrast bei zunehmend höheren Frequenzen ersichtlich wenn die Details kleiner werden. Wenn der Testfilm mit dem Microdensitometer ausgemessen wird, werden die Dichten als Belichtungswerte interpretiert, die Berechnung ergibt die effektive Modulation (M_i) des Bildes. Der Modulationsübertragungsfaktor ist dann das Verhältnis der Modulation des entwickelten Bildes zu der Modulation der Testvorlage. [...]

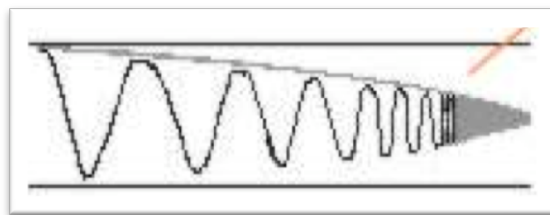


Abbildung 21 - Grafische Darstellung eines Microdensitometrischen scanns

⁶⁹ Kodak Motion Picture Film, 2001, 38

⁷⁰ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/0/08/MBq_MTF.jpg

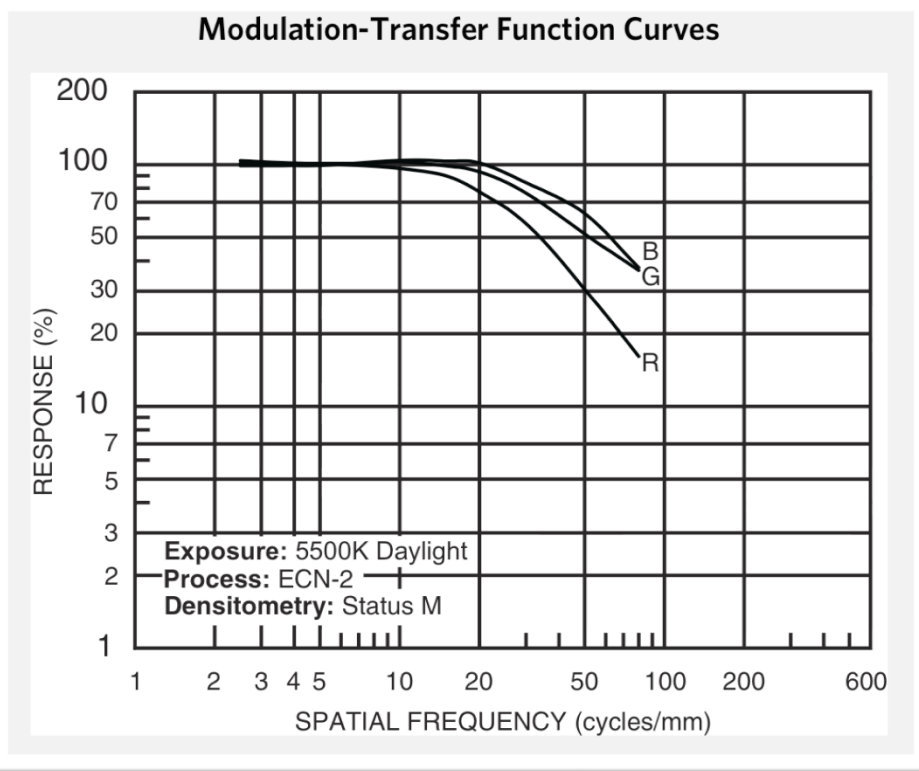


Abbildung 22 - MFÜ von Kodak Vision3 250 D⁷¹

Dieses in Prozent angegebene Verhältnis ergibt in logarithmischer Form die senkrechte Achse des Diagramms (Abbildung 22), auf der waagerechten Achse wird die Raumfrequenz der Testvorlage in Linienpaaren pro Millimeter angegeben.“⁷²

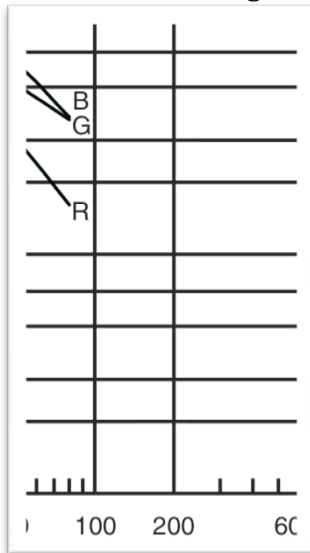
Messungen der Modulationsübertragung können auch für andere Komponenten wie Objektive, Kameras, Kopiermaschinen usw. durchgeführt werden.

⁷¹ Aus 250_D_Datasheet/ Anhang 6

⁷² Kodak Motion Picture Film, 2001, 38

6.3.2 Auflösungsvermögen Vision3 250D 35mm Filmmaterial

Um zu errechnen, wie hoch das Auflösungsvermögen dieses Materials ist, werde ich zunächst errechnen, wie viele aufbelichtete Zeilen auf der Horizontalen des gesamten Materials aufgenommen werden können.



Wie hier in der Grafik⁷³ ersichtlich, kann dieses Material auf einem Millimeter 80 Linienpaare abbilden. Das bedeutet, dass auf einer Breite von 20,9mm,⁷⁴ was dem zu belichtenden Material im 4:3 Format entspricht, 1672 Linienpaare abgebildet werden können. Das sind 3344 einzelne Linien, in der Abfolge schwarz, weiß, schwarz, weiß, usw. in der horizontalen Ebene.

In der Vertikalen würden wir so bei 15,2mm im 4:3 Format auf 1216 Linienpaare, also 2432 einzelne Linien kommen.

Abbildung 23 - MÜF von Vision3 250D

⁷³ Aus 250_D_Datasheet/ Anhang 6

⁷⁴ Siehe 3.1

6.3.3 Auflösungsvermögen des CMOS Sensors

Beim CMOS Sensor wird die maximale Auflösung anders errechnet. Wie bei der MÜF schon beschrieben, geht es um die Fähigkeit, Linienpaare pro Millimeter zeichnen zu können. Wenn man jetzt davon ausgeht, dass ein Pixel genau einer Linie entspricht, hat man die maximale Fähigkeit des CMOS Sensors, eine Linie genau zu definieren.

Denn würde ein Pixel eine weiße und eine schwarze Linie aufzeichnen, würde er einen Grauton aufnehmen. Also müssen wir errechnen, wieviele Pixel auf einem Millimeter vorhanden sind und diese Zahl durch zwei teilen, um zu wissen, wie viele Linienpaare maximal aufzuzeichnen sind.

Im ARRIRAW Format nimmt die D21 HD 2880⁷⁵ horizontale Pixel auf 20,9 mm auf. Das bedeutet, dass auf einem Millimeter 137,8 einzelne Zeilen aufgenommen werden können und somit auf einem Millimeter 68,9 Linienpaare. In der Vertikalen ist das genauso, nur dass sich die aufzuzeichnenden Einzellinien bei 15,2mm auf 2160 belaufen.

⁷⁵ 2008-09-10_ARRIFLEX_D_21_D_21_HDBrochure/ Anhang 5

6.3.4 Fazit

Das Filmmaterial hat also eine Gesamtauflösung, wenn man die aufzeichnenden Linien überträgt, von 8132608 „Pixeln“. Die D21 HD kann mit ihrem Chip 6220800 Pixel generieren. Das bedeutet, dass das Auflösungsvermögen des CMOS Sensors 76,4920% des Filmmaterials beträgt. Das wiederum sagt aus, dass das Filmmaterial um 23,507% höher auflösend ist als der CMOS Sensor, also fast ein Viertel mehr Details als der Sensor aufnehmen kann.

Das lässt z.B. für die Postproduktion mehr Möglichkeiten offen, das Bild zu bearbeiten, verschieben, vergrößern usw.

Das Auflösungsvermögen wird in diesen Dimensionen von der Wahl der Objektive stark beeinflusst. Viele Objektive sind gar nicht in der Lage, derartig feine Strukturen aufzunehmen und schränken dadurch das Auflösungs Pensum ein.

„Die Anzahl der Pixel eines Sensors bzw. eines Datenstroms scheint als bloße Zahl, ähnlich der Leistung eines Automotors, eine höchst suggestive Wirkung zu haben, so dass sie die prinzipiellen – und auch sichtbaren – Unterschiede zwischen dem rasterlosen Film und der gerastert arbeitenden Elektronik in den Hintergrund zu drängen droht“⁷⁶

Durch die Schichttiefe des Filmmaterials ist die Auflösung und die Schärfe des Bildes in alle räumliche Richtungen gleich gegeben. Dadurch entsteht ein räumlich isotropes Bild, welches bei der Überschreitung der Auflösungsgrenze auch in alle räumlichen Richtungen gleichermaßen unscharf wird. Das wirkt sich homogenisierend auf die Wiedergabe von Konturen, Spitzlichtern usw. aus.

⁷⁶ Slansky, 2004, 98

Digitale Bilder haben aufgrund ihres orthogonalen Rasters nur zwei räumliche Ebenen, die vertikale und die horizontale. Das führt zu einer markanteren Wahrnehmung von eventuellen Unpässlichkeiten des Signals.⁷⁷

⁷⁷ Slansky, 2004, 98

6.4 Kontrastumfang

„Die Retina des menschlichen Auges ist im Gegensatz zum Film fähig, sich sowohl einem großen Spektrum von Helligkeiten anzupassen, wie auch zwei nahe beieinander liegende Helligkeitswerte differenzieren zu können. In beider Hinsicht ist Film ein beschränktes Medium. Das Helligkeitsspektrum, vom reinen Weiß zum reinen Schwarz, das ein Filmmaterial festhalten kann, wird als Belichtungsspielraum (<<latitude>>)[...] bezeichnet.“⁷⁸

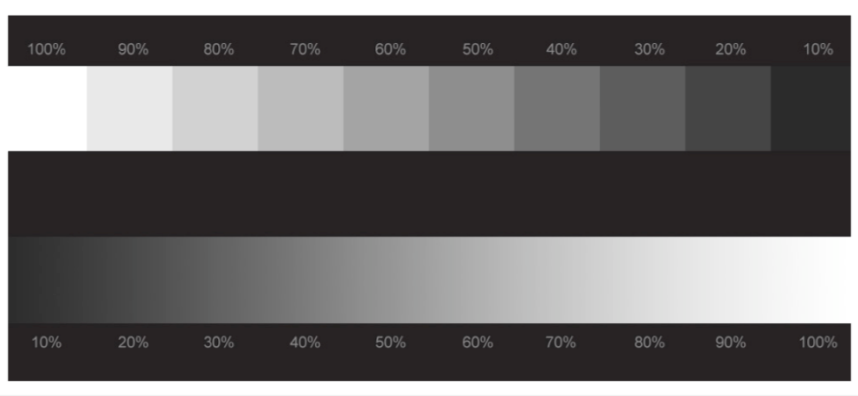


Abbildung 24 - Graukeil

Er wird ermittelt, indem sogenannte Grautafeln aufgezeichnet werden. Wenn dieser Graukeil mehr Abstufungen hätte, würde ab einem bestimmten Maß der logarithmischen Helligkeitsdopplung mit der Kamera kein Differenzierungspotenzial mehr erkenntlich sein. Jedes dieser Kästchen entspricht einer Blende, es repräsentiert immer eine Helligkeitsverdopplung zum nächsten Kästchen.

Der Kontrastumfang, dynamischer Umfang oder Belichtungsspielraum dieser Kameras bzw. deren bilderzeugenden Elementen, wurde in dem 9xHD Test des Studio Hamburg gemessen und beschrieben. Hier wurden bei der ARRI 435 mit dem Kodak Vision3 250 D Material bis zu 15 zeichnende Blenden (1:32768 Objektkontrast) gemessen und bei

⁷⁸ Monaco, 2002, 116

der ARRI D21 HD mit dem CMOS Sensor bis zu 11 zeichnende Blenden (1:2048 Objektkontrast)⁷⁹.

Diese bloße Ergebnisadaption wird in diesem Fall ausreichen, denn die Erklärung der sensitometrischen⁸⁰ Vorgänge bzw. deren eigenständige Umsetzung würde den Rahmen dieses Unterpunktes und der Ausarbeitung sprengen.

⁷⁹ 9xHD, 2009, 16/ 17

⁸⁰ Sensitometrie ist die Wissenschaft, die sich mit der Messung der Reaktion fotografischer Emulsionen unter dem Einfluss des Lichtes befasst.

6.5 Fazit

Dadurch, dass das Filmmaterial in der Lage ist, einen größeren Blendenumfang zu generieren, hat es Vorteile dem CMOS Sensor gegenüber. Diese äußern sich für den Kameramann so, dass bei der Aufnahme eines Objektes mit großen Helligkeitsunterschieden keine oder eine minimierte Gefahr besteht, dass extreme Bereiche des Spektrums „absaufen“⁸¹ oder „ausbrennen“⁸².

Bereiche die ausbrennen oder absaufen, sind nicht im Bildsignal enthalten und somit verschwunden. Das bedeutet, dass der Kameramann, wenn ihm nur ein kleiner Dynamikumfang zur Verfügung steht, viel genauer mit Licht arbeiten muss, als bei Verfügbarkeit eines großen Dynamikumfangs. Auch Produktionskosten können durch den Mehraufwand an Lichttechnik steigen.

Zusätzlich kostet es auch Zeit, sein Bild genau auszumessen, da es erforderlich ist, wirklich das komplette Helligkeitsspektrum des Bildes zu kontrollieren.



Abbildung 25 - Beispielaufnahme Kontrastumfang

⁸¹ Bedeutet, dass dunkle Bereiche, die außerhalb des Blendenumfangs liegen, obwohl sie grau sind, schwarz aufgezeichnet werden.

⁸² Bedeutet, dass helle Bereiche, die außerhalb des Blendenumfangs liegen, obwohl sie eine Färbung haben, weiß aufgezeichnet werden.

In dieser Grafik (25⁸³) ist ersichtlich, welches die Konsequenzen eines geringeren Dynamikumfangs sind. In der Postproduktion lassen sich über Maskierungen einzelne Bereiche aufhellen bzw. abdunkeln. Dies kann nur innerhalb des vom Material vorgegebenen Helligkeitsbereiches funktionieren. Also gilt: Je mehr Informationen in einem Material vorhanden sind, desto sicherer produziert man.

Dazu muss gesagt werden, dass von den 15 bzw. 11 Blendenstufen bei einer Übertragung auf eine Kinokopie nur 7 Blendenstufen übertragen werden. Daher spricht man auch von einem Belichtungsspielraum.⁸⁴

⁸³ <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/1/16/Sch%C3%A4rfemuster14.jpg>

⁸⁴ Slansky, 2004, 104

6.6 Farbtiefe

Unter diesem Punkt soll versucht werden zu eruieren, welches dieser beiden Systeme einen größeren Farbdetailreichtum besitzt.

Der Mensch kann Farben nicht in ihrer vollen spektralen Vielfalt sehen, er reduziert spektrale Farben auf die drei Grundfarben: Rot, Grün, Blau. Diese drei Grundfarben sind aber für Mensch, Film und Sensor unterschiedlich, einen konkreten bzw. vergleichbaren Faktor zu finden, ist keine leichte Aufgabe, denn wie beispielweise unter 6.3 und 6.4 versuche ich die analoge Welt des Filmmaterials messbar an die der digitalen Datenströme anzukoppeln.

Bei dem Thema Farbtiefe gibt es Komplikationen, denn das vom Filmmaterial wiedergegebene Farbspektrum liefert selbst in seinen Nuancen keine Anhaltspunkte zur Kategorisierung in objektiv messbare Größen. Das wird im nächsten Unterpunkt vertieft.

6.6.1 35mm Filmmaterial

In den Schichten der Emulsion des Filmmaterials sind - wie schon beschrieben - Farbkuppler eingebaut. Sie können durch Mischung das in Abbildung 26⁸⁵ dargestellte Farbspektrum wiedergeben. An diese Farbkuppler werden hohe Anforderungen gestellt.

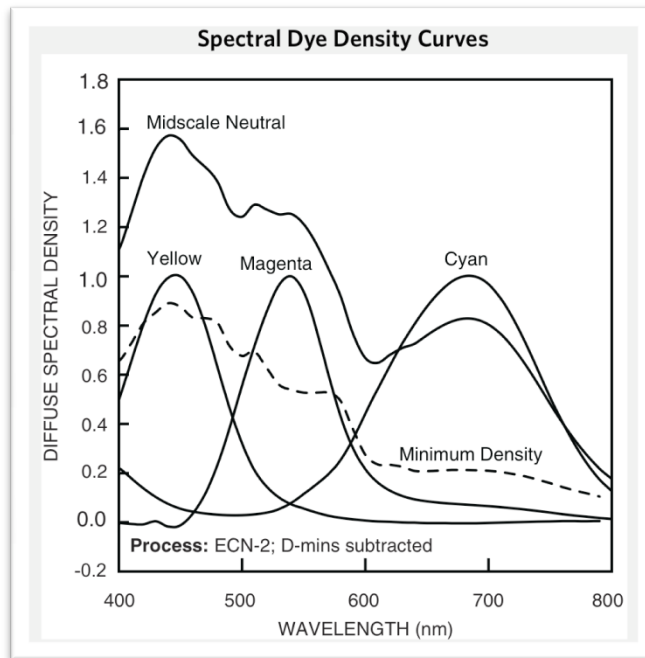


Abbildung 26 - Spektrale Farbstoffdichte Vision3 250D

- „1. Die mit dem Entwickleroxida-tionsprodukt entstehenden Farben müssen dem System der subtraktiven Farben angehören.
2. Die entstehende Farbe muss möglichst komplementär zur Schichtempfindlichkeitsfarbe sein.
3. Die Kuppler müssen diffusionsfest sein.
4. Die Kuppler dürfen sich beim Lagern des unbelichteten Films nicht spontan zersetzen.
5. Die Kuppler dürfen die photographischen Eigenschaften der Silberbromidemulsion nicht verändern, d.h. keinen Einfluss ausüben auf Lichtempfindlichkeit und deren Stabilität, auf Gradation, Schleierfreiheit, Haltbarkeit der latenten Bilder und Entwickelbarkeit.

⁸⁵ Aus 250_D_Datasheet/ Anhang 6

6. Die Kuppler dürfen durch vorausgehende photographische Behandlungen nicht verändert werden.
 7. Die Kupplungsgeschwindigkeiten der drei verwendeten Farbbildner eines Films sollten möglichst gleich groß sein.
 8. Die entstehenden Farbstoffe dürfen durch photographische Lösungen nicht verändert werden, vor allem nicht irreversibel.
 9. Die resultierenden Farbstoffe sollten möglichst widerstandsfähig sein gegen UV, Licht, Wärme und Chemikalien, d.h. sie sollten optimale Echtheit besitzen.
- Die Einhaltung dieser Bedingungen, besonders der unter 9. aufgeführten, ist sehr schwierig.⁸⁶

Aus dieser Liste ist erkennbar, wie genau die über hundertjährige Forschung⁸⁷ und Entwicklung zum Thema Farbnegativ-Film Normen geschaffen hat, um einen standardisierten Umgang mit ihm möglich zu machen.

Bei dem Farbraum stellt es sich jetzt so dar, dass es keine Möglichkeit gibt, die Abstufungen zwischen den einzelnen Farben in Zahlen auszudrücken. Die Farbaufnahme bzw. die Wiedergabe ist organisch und schier unendlich in ihren Nuancen (Bei der Wiedergabe hat diese Aussage nur ihre Richtigkeit, wenn analog projiziert wird.).

Die Varianten der Farbmischung der unterschiedlichen Farbkuppler sind nicht wie bei digitalen Bildern in dem Rahmen der zur Verfügung stehenden Bits eingebettet, sondern theoretisch in unendlicher Vielfalt gegeben. Nach einer Digitalisierung von Filmmaterial ist die Farbtiefe des Materials davon abhängig, mit wieviel Bits der Import in welches Farbordnungssystem stattfindet. Filmscanner können das mit bis zu 48 Bits, also 16 Bits pro Kanal.⁸⁸

⁸⁶ Mühlemann, 2001/ 02, 48/ 49

⁸⁷ Mühlemann, 2001/ 02, 10/ ff

⁸⁸ <http://www.filmscanner.info/Farbtiefe.html>

6.6.2 CMOS Sensor

Ein Bild besteht aus vielen einzelnen Bildpunkten. Ein Bild der ARRI D21 HD hat bei dem Format 4:3 2880 einzelne Pixel in jeder Zeile. Insgesamt gibt es 2160 Zeilen, sodass das Bild eine Auflösung von 6220800 einzelnen Bildpunkten hat.

„Jeder einzelne Punkt des Bildes kann eine eigene Farbe haben. Bei einem einfachen Schwarz/Weiß-Bild gibt es für jeden Bildpunkt entweder den Zustand schwarz oder weiß. In einem einzigen Bit (Inhalt Null oder Eins) kann also für einen Bildpunkt gespeichert werden, welche Farbe der Pixel hat. Man spricht deshalb von einer Farbtiefe von 1.

Je mehr Bits man für einen einzelnen Bildpunkt zur Verfügung hat, desto mehr Farbtöne können für den Pixel unterschieden werden. Reserviert man für jeden Pixel 8 Bits im Speicher, so können $2^8 = 256$ Farbtöne dargestellt werden.“⁸⁹

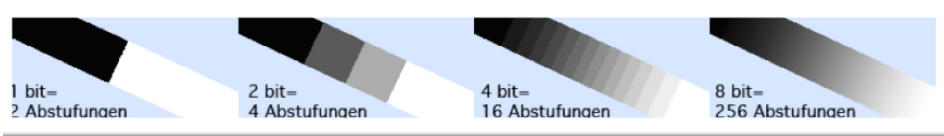


Abbildung 27 - Bsp. verschiedene Farbtiefen

Bei einem von der D21 HD aufgenommenen Bild mit einer Farbtiefe von 12 Bits pro Farbkanal, also einer Farbtiefe von 36 Bits, können demnach 2^{36} Farbtöne unterschieden werden. Das sind 68 719 476 736 verschiedene Farbtöne pro Kanal.

Der digitale Farbraum definiert hierbei den Zusammenhang zwischen Zahlenwert und wahrnehmbarer Farbe. Das wird durch die Definition der Grundfarben R/ G/ B vorgenommen.

⁸⁹ <http://www.filmscanner.info/Farbtiefe.html>

Wie auf der Abbildung 28⁹⁰ ersichtlich kann ein CMOS Sensor einen größeren Spektralbereich aufnehmen als Filmmaterial⁹¹.

Allerdings ist der Signalbereich zwischen 780- und 1100 Nanometer irrelevant und wird mittels eines Infrarotfilters (IR DämpfungsfILTER) „abgeschnitten“.

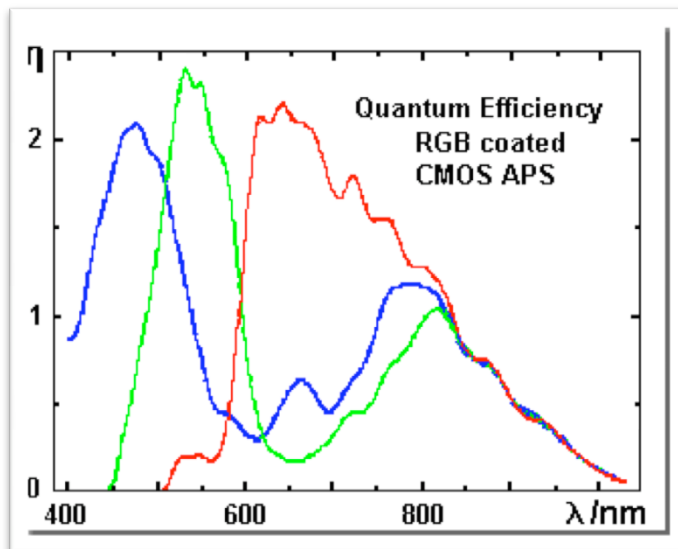


Abbildung 28 - Theoretisches Farbspektrum CMOS Sensor

⁹⁰ <http://www.fen-net.de/walter.preiss/d/slomoinf.html>

⁹¹ Siehe Abbildung 26

6.6.3 Fazit

Der CMOS Sensor kann zwar einen größeren Farbraum aufzeichnen als das Filmmaterial, allerdings sind die Abstufungen zwischen den Farben innerhalb des von beiden Medien darstellbaren Farbbereichs beim Filmmaterial feiner.

Im analogen Film sind entstehende Farben durch die in der Emulsion enthaltenen Farbstoffe eindeutig definiert. Im Hinblick auf die Abbildungsgenauigkeit von z.B. Hauttönen verspricht das ein der Realität mehr entsprechendes Produkt.

In einer digitalen Bilddatei sind nur Zahlen enthalten, die die theoretisch vorhandene Farbe definieren, aber keine unmittelbare reale Bedeutung besitzen. Ein Bildsensor funktioniert die Farberfassung linear, das heißt, es erfolgen keine Verschiebungen zu Gunsten bestimmter Farbanteile⁹². Dadurch ist die digitale Bildverarbeitung etwas Statisches, Technisches und Naturabstraktes. Farbe hat im digitalen Sektor keinen intrinsischen Bezug zur Realität.

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass in der heutigen Zeit die analog gedrehten Filme digitalisiert werden und anschließend wieder ausbelichtet. Das bedeutet, dass die Farbräume assimiliert werden, denn Filmmaterial wird meistens nicht mit einer höheren Bit-Tiefe als 12 Bit pro Kanal wieder auf Filmmaterial aufgespielt und diese Bit-Tiefe hat das generierte Material der D21 HD auch.

⁹² Kloock, 2008, 249

7 Pixel vs. Korn

Im Folgenden wird die wahrnehmbare Wirkung von Korn und Pixel beschrieben und verglichen. Dazu wird kurz erklärt, was das sog. Filmkorn, inkl. seiner Besonderheiten überhaupt ist.

7.1 Filmkorn

Zunächst erfolgt die begriffliche Erklärung von Korn und Körnigkeit. Diese beiden Begriffe beschreiben zwei unterschiedliche Methoden zur Bewertung der Bildstruktur in Bezug auf die Diskussion über die Verteilung von Silber- oder Farbstoffverteilung, was allgemein meist als Körnung bezeichnet wird.

„Korn“ (engl. *graininess*):

Bei Vergrößerung (Kino) hat der Zuschauer den Eindruck eines gewissen „Korns“ des Bilder, also die willkürliche Verteilung punkartiger Strukturen der Silber- oder Farbstoffe.

„Körnigkeit“ (engl. *granularity*) :

Die willkürliche punkartige Verteilung der Silber- oder Farbstoffstruktur kann mittels Mikrodensitometer objektiv gemessen werden. Dadurch wird ein Maß der Körnigkeit ermittelt.

Die Positionen der Farbstoffwolken an den Stellen des ausgewaschenen Silbers verändern sich während der Entwicklung nicht. Es entstehen keine Wanderungen oder physikalische Ballungen der Farbstoffwolken.

Der Rezipient nimmt körnige Strukturen zwar wahr, allerdings erkennt er nicht notwendigerweise die einzelnen Silberteilchen (zwischen 0,0002 und 0,002 mm).⁹³

Die Größe der Silberteilchen bzw. des Korns ist abhängig von der Empfindlichkeit des Filmmaterials. Dabei gilt, je empfindlicher das Filmmaterial ist, desto größer ist das Korn. Die Körnigkeit des Filmmaterials kann ab bestimmten Dimensionen zu Sendeproblemen heranwachsen.

⁹³ Kodak Motion Picture Film, 2001, 21

7.1.1 Degraining

Die komprimierten, digitalisierten Materialien können durch die Kompression Artefakte aus Kornansammlungen bilden (meist in einfarbigen Flächen), die im Gegensatz zum Korn als sehr störend empfunden werden, da sie nicht natürlich aussehen. Abgesehen davon kann ein Kameramann durch herrschende Lichtverhältnisse dazu gezwungen sein, ein sehr empfindliches Material zu wählen, was zu Anschlussproblemen der Körnigkeit zur Szene davor führen kann.

Auf der IBC 2008 hat die kanadische Firma „Digital Film Central“ einen Prototypen einer völlig neuen Degrainingsoftware vorgestellt. In Zusammenarbeit mit ARRI (Weiterentwicklung und Markteinführung) wird diese neue Software (ARRI RELATIVITY) ab Sommer 2009 auf den Markt kommen. Allen bekannten Noise- und Grainreduktoren gegenüber reduziert ARRI RELATIVITY Korn und Rauschen bei differenzier-tem Einsatz nahezu artefaktfrei.

„Auch bei extrem schwierigen Lichtsituationen kann das Bild entweder nur konreduziert, völlig geglättet oder aber zusätzlich mit neuem feineren 35 mm Korn versehen werden, um den gewollten lebendigen Filmcharakter, den Filmlook, nicht zu verlieren. Die Software analysiert die Kornstruktur des Bildes (die Textur) und verwendet eine völlig neue, sehr aufwendige Bewegungsanalyse (Motion Analysis), deshalb sind sonst häufige Fehler wie z.B. Nachzieheffekte oder „stehendes“ Korn in den Bildern nicht vorhanden. Eine Reihe konfigurierbarer, temporärer und spatialer Filter erkennt und reduziert das Filmkorn, wobei Details und Schärfe erhalten bleiben.“⁹⁴

⁹⁴ 9xHD, 2009, 31

7.2 Pixel

Die in diesem Vergleich auf der anderen Seite stehenden Pixel haben andere Eigenschaften und daraus resultierende Notwendigkeiten des Umgangs mit ihnen.

„Rastergraphiken“ (pixelbasierte Bilder) haben im Gegensatz zum Filmmaterial keine Textur, bis auf das aus den Pixeln entstehende Raster selber. In diesen Auflösungsdimensionen ist das nicht als Textur wahrnehmbar. Daraus resultiert auch die Meinung, digitale Bilder seien starr und kühl in ihrem Look.

Probleme kommen dadurch bei der Vermischung von digitalen Effekten und Filmmaterial auf. Denn wenn eine Animation erstellt und anschließend in das Filmmaterial eingefügt wird, hat sie kein Korn. Das führt dazu, dass wenn das digitale Material nicht im gleichen Maße der Körnung an das Filmkorn angepasst wird, der Konsument dies sofort bemerkt und als störend empfindet. Denn das menschliche Auge analysiert unterbewusst ein Bild auch auf seine Materialität.⁹⁵ Deswegen wird viel Zeit in der Postproduktion aufgewendet, um das „Korn“ hineinzurechnen.

Dieser Problematik und auch der, dass Filmkorn zu den Sehgewohnheiten der Konsumenten gehört und somit hinzugefügt werden muss, kann der in 7.1.1 beschriebene Degrainer abhelfen.

⁹⁵ Slansky, 2004, 219

8 Grundsätzliche ästhetische Diskussion

Bis zu diesem Punkt wurden zuerst die beiden Kameramodelle mit ihren technischen Eigenschaften gegenüber gestellt und anschließend verglichen. Im Anschluss wurde auf die bilderzeugenden Elemente der Systeme eingegangen und in Bezug auf ihre lookbestimmenden Eigenschaften untersucht und verglichen.

Die zugrunde liegenden Frage- oder Aufgabenstellung verschiebt sich, denn die ästhetischen Ansprüche der Film- und Werbeindustrie richten sich nach der Bedürfnisstruktur der Konsumenten. Wenn überhaupt, denn:

„Die allgemeine Diskussion über die Digitalisierung des Films kreist(e) um die Ontologie des fotografischen Bildes, um ein Für und Wider von >>Mimesis<< und >>Simulation<<, von Materialität und Immaterialität. Ideologische und ethische Argumente präg(t)en die Kontroversen. Dem gegenüber fällt auf, dass die verschiedenen immanenten Bildqualitäten zwar unter Kameralenten und Regisseuren erörtert werden, darüber hinaus jedoch kaum Beachtung finden.“⁹⁶

Die rein technischen Anforderungen an Kameras dieser Industrien bedienen die Systeme gleichermaßen. Beide haben als Ergebnis ein genügend auflösendes, farbbereichbreites und kontrastreiches Bild.

Ob die eine Kamera 150 Bilder pro Sekunde aufnehmen kann oder nicht, ist in diesem Fall zwar wichtig, da die Kameras verglichen wurden, aber die Frage nach der Ästhetik des Bildes wird dennoch aufnahmeseitig durch das Potential des Sensors und des Filmmaterials beantwortet.

Da es wie eingangs beschrieben in diesem Falle die Film- und Werbeindustrie ist, sind hauptsächlich die ihr zur Verfügung stehenden Mittel entscheidend.

⁹⁶ Klock, 2008, 248

Die ästhetischen Überlegungen sind gedacht in Bezug auf die Rezeption der Bilder im Kino, denn es besteht ein großer Unterschied in der Wahrnehmung der Ästhetik von Kinobildern und solcher, die für Bildschirme gedacht sind.

„Ähnlich wie ein Maler drei Schritte zurücktritt, um die Gesamtwirkung seines Bildes zu überprüfen, sind die einzelnen Bildelemente, ihr Arrangement, die Strukturen und Muster des Bildes und ihr Verhältnis zueinander bei einem größeren Abstand deutlicher zu erkennen, als wenn man direkt davor steht. Gerade Aspekte wie Kantenstrukturen, Texturen, Kontrastverhältnisse und Farbverhältnisse kommen auf diese Weise viel deutlicher zur Geltung“⁹⁷

Ohne Zweifel besteht ein direkter Zusammenhang zwischen technischen und ästhetischen Innovationen.

Kubrick z.B. konnte Szenen seines Filmes „Barry Lyndon“ nur von Kerzen beleuchtet drehen, da er von der Nasa entwickelte Objektive umbauen ließ. Diese waren so lichtempfindlich, dass er die Szenen nach seinen ästhetischen Vorstellungen umsetzen konnte.⁹⁸

„Die Mittel der Kommunikation verändern im Verlauf des neunzehnten Jahrhunderts das Verhalten der Menschen, ihr Denken und ihr Empfinden [...] Viele Künstler [...] haben sich von den dramatischen Neuerungen inspirieren lassen und sie miteinbezogen.“⁹⁹

Um den künstlerisch/ästhetisch richtigen Weg wird immer und beim Film besonders gerungen.

⁹⁷ Slansky, 2004, 220

⁹⁸ Dettweiler, 2007, 253

⁹⁹ Braun und Joerges 1994, 212/ 213

Hier gibt es sehr unterschiedliche Sicht- und Betrachtungsweisen, wobei zwei gegensätzliche Ansichten abschließend zitiert werden:

„Sofern man glaubt seinen Augen trauen zu dürfen – und haben Photographie und Film nicht grade dies immer verlangt? – scheint die Situation eindeutig: Nach einer Vorgeschichte unsinnlicher Daten und abstrakter Algorithmen haben die digitalen Medien nun die Stufe der sinnlichen Anschauung erreicht; die Computer haben sich der Bilder bemächtigt und damit ein Erbe angetreten, das von der bildenden Kunst auf die Photographie und von der Photographie auf den Film übertragen war.“¹⁰⁰

Andere Autoren denken da anders:

„Für einige Vertreter meiner Generation gehören elektronische Medien – das Fernsehen und die digitalen Medien – überhaupt nicht zur Geschichte des Kinos. Auf dieser Seite der Trennlinie der theoretischen Auseinandersetzung stehen all jene, für die das fotografische Bild heilig ist, für die Zelluloid die Basis eines 150-jährigen visuellen Erbes darstellt, das weder geplündert noch entwertet, verfälscht oder überhaupt verändert werden darf. Jean Douchet - ein angesehener Kritiker in der Tradition von Andre Bazin - ist der Ansicht, dass der Verlust der indexikalischen Bindung an das Reale im digitalen Bild eine massive Bedrohung des visuellen Erbguts und des cinephilen Universums darstellt, als dessen Hüter er sich versteht. In seiner radikalsten Ausformung ist Multimedia für Douchet ein Revival alter futuristischer und fantastischer Obsessionen von Geschwindigkeit und Kinetik, jener oberflächlichsten Art von Aktivismus, welche die digitalen Effekte nutzt wie ein Kinderspielzeug und dabei, so Douchet, das sublime Gesicht der siebten Kunst zu einer Fratze verunstaltet.“¹⁰¹

¹⁰⁰ Paech, 1994, 297

¹⁰¹ Klock, 2008, 43

Diese Kontroverse soll nicht abschließend bewertet, aber die verschiedenen Ansätze aufgezeigt und möglichst objektiv beurteilt werden, welches System, das pixelbasierte oder das chemiebasierte, welche Eigenschaften hat, die durch wahrnehmbare Aspekte der Ästhetik die Rezeption beeinflussen.

Die Wahrnehmung der Ästhetik wird durch viele einzelne Bildbestandteile bzw. Parameter bestimmt. Der Anteil eines solchen Parameters und wie er sich dadurch auf die Bildanmutung auswirkt, ist abhängig vom Bildinhalt.

8.1 Film- Look vs. Elektronik- Look

„Film- Look bzw. Elektronik- Look ist die Summe derjenigen sichtbaren Unterschiede zwischen den beiden Medien, die bei gleicher technischer Bildqualität noch wahrnehmbar sind.“¹⁰²

Der Sensor ist ein starrer, das Licht aufnehmender, es in seine Rot-, Grün- und Blauanteile zerlegender und diese in feste Bildpunkte abspeichernder Bildgenerator. Beim Film ist das anders, die in den Emulsionsschichten enthaltenden Silberkristalle bzw. Farbstoffwolken bekommen in der Bildabfolge keinen festen Punkt in einem Raster zugeordnet. Die „Bildpunkte“ verändern sich je nach Kornlage 24mal in der Sekunde, die Bildpunkte tanzen bei der Projektion förmlich über die Leinwand.

Digitalen Bildern wird oft eine hyperreale Wiedergabe des gefilmten Objekts vorgeworfen.¹⁰³ Wenn man mit der D21 HD eine gleichmäßig ausgeleuchtete Wand abfilmt, wird das Bild bei der Betrachtung wie eine gleichmäßig gefärbte Fläche, wie ein Foto, aussehen. Filmt man das gleiche Szenario mit einer Filmkamera, so wird allein durch die minimalen Abweichungen des Bildstandes und der chemischen Zusammensetzung der Emulsionen in Bezug auf Farbentstehung, Kornposition und Helligkeit schon eine einfarbige Fläche zum Leben erweckt, indem sich innerhalb des Bildes durch diese feinen Abweichungen „etwas“ bewegt.

Nach dieser Feststellung könnte man behaupten, dass das technische „Eigenleben“ (Fehler) der Emulsion gegenüber einem gleichförmig stehenden Bild das Auge des Rezipienten dauerhaft minimal stimuliert. Es wirkt wie ein Lebenszeichen des Mediums selbst, solange diese technischen Fehler unterhalb einer sonst als Störung empfundenen Schwelle liegt.¹⁰⁴

¹⁰² Slansky, 2004, 95

¹⁰³ Kloock, 2008, 249

¹⁰⁴ Slansky, 2004, 101

Dieser Stimulus wird auch durch die Dunkelphasen, die von Tom Tykwer in einem Interview „Mystischer Zwischenraum“ genannt¹⁰⁵ wurden, bei der Projektion verstärkt.

„[...] Alexander Kluge sagte in einem Interview: >> Es gibt Dinge, die können sie nicht nachmachen [...] In der Hälfte der Zeit, die sie im Kino verbringen, ist es dunkel. 1/48- Sekunde des Films ist belichtet, 1/48- Sekunde ist dunkel. Die Information beim Film steckt in den Lücken zwischen den Bildern. Ich glaube aber, dass der Körper, das Gehirn das wahrgenommen hat. [...].<< Der Medientheoretiker Marshall McLuhan dachte ähnlich und prägte den Spruch >>The Medium ist the Message<< Damit ist gemeint, dass jedes Medium seine Botschaft auf eine ihm immanente Weise verbreitet. [...] Die Medien, die vom Zuschauer eine aktive sinnliche Antizipation verlangen, nannte McLuhan >>heiß<<. Sie stehen im Gegensatz zu den sogenannten >>kalten Medien<<, die vom Zuschauer eine mentale Ergänzung einfordern.“¹⁰⁶

Film ist räumlich isotrop und zeitlich anisotrop, dies ist nicht allein das Resultat aus den oben beschriebenen Eigenschaften, sondern diese rhythmisch oder arrhythmisch auftretenden „Fehler“ entstehen auch bei der Entwicklung, denn auch diese ist leichten Schwankungen unterworfen. Digitaler Film ist genau das Gegenteil, zeitlich isotrop und räumlich anisotrop.¹⁰⁷

Die Bildanmutung bezieht sich daher auf die Beschaffenheit des verwendeten Materials. Sie könnte auch als Wesen der Aufnahme im Sinne einer Aura verstanden werden. Vielleicht ist durch die Isotropie und die Vielschichtigkeit des Filmmaterials mehr Raum zur Aufnahme der Aura einer Szene vorhanden, sodass im Gegensatz zu dem

¹⁰⁵ Kloock, 2008, 326

¹⁰⁶ Kloock, 2008, 240

¹⁰⁷ Slansky, 2004, 101

„zweidimensionalen“ Sensor mehr Aura, Gefühl, oder Seele transportiert werden kann.

„Das synthetische Bild repräsentiert nicht das Reale, es lässt keine optische Spur, keine Aufzeichnung irgendeiner Sache sehen, die dagewesen und dies jetzt nicht mehr ist, sondern erzeugt ein logisch- mathematisches Modell, das weniger die phänomenale Seite des Realen beschreibt als die Gesetze, die es beherrschen. Was dem Bild vorangeht, ist nicht der Gegenstand (die Dinge, die Welt...), das abgeschlossene Reale, sondern das offensichtlich unvollständige und approximative Modell des Realen, also seine durch reine Symbole formalisierte Beschreibung. [...] Das neue Bild legt nicht mehr durch die augenblickliche Einschreibung des Lichts Zeugnis vom Realen ab und es reflektiert es auch nicht, sondern es bezeugt eine Interpretation dieses Realen, die mit der Sprache ausgearbeitet und von ihr gefiltert ist.“¹⁰⁸

¹⁰⁸ Paech, 1994, 302

8.2 Abschließendes Fazit

Ob der Kameramann mit einer digitalen Kinokamera oder einer Filmkamera arbeiten möchte, ist eine Frage der Fähigkeiten und dessen, was er mit seinen Bildern ausdrücken möchte. Wie in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt, hat jedes dieser Systeme spezifische technische Eigenschaften und verschiedene ästhetische Grundbedingungen, die sich unweigerlich auf das Produkt, den Film, auswirken.

Die Digitalisierung wird sich auf Dauer durchsetzen, dafür ist auch anscheinend die Sehnsucht nach Fortschritt zu groß. Dadurch werden sich auch die Berufsbilder der Filmschaffenden verändern. Ein Kameramann wird in Zukunft nicht mehr gesamtgestalterisch einen Film betreuen und bildlich formen. Dieses Aufgabenfeld wird mehr und mehr in die Postproduktion abwandern und den Kameramann als Techniker, der ein sauberes, den Bedürfnissen der Effektbearbeitung angepasstes Produkt filmt, zurück lassen.

Schaut man sich Filme wie „Herr der Ringe“, „Harry Potter“ oder „Sin City“ an, wird deutlich, wie viele der Bestandteile der Bilder im Computer generiert werden. An modernen Computerspielen kann man sehen, wie realistisch und umfassend die Möglichkeiten moderner Systeme sind.

Diejenigen, die die Maschinerie Film finanzieren, nämlich die Konsumenten, können im Gegensatz zu Filmschaffenden (auch hier nur manche) nicht zwischen den verschiedenen, im marginalen Bereich befindlichen Unterschieden der beiden Aufnahmemedien differenzieren.

Heutzutage ist einer der größten Faktoren Geld. Die Produzenten versuchen überall zu sparen, und am meisten Geld lässt sich durch die Verringerung der Produktionskosten einsparen. Wenn der Wechsel vollzogen ist und alle Distributions- sowie Produktionswege digitalisiert sind, wird die technische Komponente im Vergleich zur analogen günstiger sein. Dazu müssen sich aber die Normen einpendeln und die digitalen Kameras im Verleih günstiger werden.

Aber auch das wird geschehen, wenn sich der Markt erstmal orientiert hat und die Stückzahlen der verkauften Systeme in die Höhe gehen. Wir befinden uns derzeit in der Phase des Wettrüstens, in der jeder Hersteller immer neuere und bessere Produkte auf den Markt bringt, um seine Konkurrenz zu übertreffen.

Irgendwann wird diese Entwicklung abgeschlossen und die digitale Bilderzeugung ihrer Definition nach an der Spitze der Entwicklung angekommen sein. Damit ist auch die Frage nach Dateiformaten und adäquaten Speichermedien gemeint.

Man könnte sagen, dass wenn die digitale Technik auf dem heutigen Stand der analogen ist, die oben beschriebene Entwicklung vollzogen sein wird. Unter diesem Aspekt ist es doch sehr interessant, dass die digitalen Techniken darauf bedacht sind, wie Film auszusehen und wie Film zu funktionieren. Doch wie lange das dauert, ist noch immer unklar und kann von vielen Faktoren beeinflusst werden.

Schon in den 80-er Jahren wurden erste Stimmen laut, der Film wäre tot, darauf warten die Filmschaffenden dieser Welt aber heute noch.

Es ist nur schade, dass ein so kunstvolles Medium, welches von Zeit zu Zeit den Eindruck vermittelt, auch ein gewisses Eigenleben zu besitzen, durch kühle, mathematische Korrektheit ersetzt werden wird.

9 Literaturverzeichnis

Bücher:

Slansky, Peter C.: Digitaler Film – digitales Kino. Band 33. Konstanz 2004. ISBN 3-89669-431-6

Gusky, Rainer: Wahrnehmen- ein Lehrbuch. Stuttgart; Berlin; Köln: Kohlhammer, 1996. ISBN 3-17-011845-5

Brockhaus Enzyklopädie. in Zwanzig Bänden: 17. Auflage. Wiesbaden 1966.

Matthias A. Uhlig: Manual der Filmkameratechnik. 1. Auflage. Waschow, 2007. ISBN-13: 978-3-9807533-1-9

KODAK Motion Picture Film: 7. Auflage. England, 2001. ISBN 0-87985-477-4 (USA)

Studio Hamburg Synchron und Postproduction GmbH: 9xHD Systemvergleich. 1. Auflage. Hamburg. 2009.

Monaco, James: Film Verstehen. Sonderausgabe August 2002. Hamburg. ISBN 3-499-61433-2

Göhring, Daniel: CCD kontra CMOS. 12.08.2002. Institut für Technische Informatik. Humboldt Universität zu Berlin

Mehnert, Hilmar: Filmfotografie/ Fernsehphotografie. 1. Auflage. Leipzig 1971 . Lizenz-Nr.: 110-210/313/71.

Regula Anklin-Mühlemann, PD Dr. R. Gschwind: Script zur Vorlesung Farbphotographie. Institut für Medienwissenschaften Abteilung für Bild- und Medientechnologien Universität Basel. (Anhang 7)

Braun, I. und Joerges, B.: Technik ohne Grenzen. Frankfurt am Main. 1994.

Dettweiler, Marco: Die technische Kunst des Films. Kempten. 2007.
ISBN: 978-3-89785-580-9

Paech, Joachim: Film, Fernsehen, Video und die Künste. Stuttgart; Weimar, 1994. ISBN 3-476-00994-7

Klook, Daniela: Zukunft Kino *THE END OF THE REEL WORLD*. Marburg, 2008. ISBN: 978-3-89472-483-2

Internet – Nachschlagewerke u.ä.

ARRI

<http://www.arri.de>

Stand: 2009, Aufgerufen am 30.07.2009

Wikipedia:

http://141.28.126.80/davt/wiki/SS08_1:Hauptseite

Stand: 2009, Aufgerufen am 20.07.2009

Digimage:

<http://www.digimage.de>

Stand 2009, Aufgerufen am 01.08.2009

<http://sprec000.xardas.lima-city.de/Digicam5.html>

Stand 2009, Aufgerufen am 08.08.2009

<http://www.univie.ac.at/>

Stand 2009, Aufgerufen am 09.08.2009

<http://www.movie-college.de>

Stand 2009, Aufgerufen am 10.08.2009

<http://www.convida.at>

Stand 2009, Aufgerufen am 10.08.2009

<http://www.hennek-homepage.de/video/bildqualitaet.html>

Stand 2009, Aufgerufen am 12.08.2009

<http://www.fen-net.de>

Stand 2009, Aufgerufen am 15.08.1009

Anhänge (Auf der DVD):

Anhang 1:

Arriflex 435 Advanced Instruction Manual

Anhang 2:

Arriflex 435 Quick Guide

Anhang 3:

Arriflex D-21/ D21-HD Instruction Manual

Anhang 4:

Digitalkameratechnologien/ Eine vergleichende Betrachtung/ CCD kontra CMOS/ Daniel Göhring/ 2002

Anhang 5:

Arriflex D-21/ D21-HD/ The Film Style Digital Cameras

Anhang 6:

KODAK VISION3 250D Color/ Negative Film 5207 / 7207 / SO-207

Anhang 7:

Script zur Vorlesung Farbphotographie/ Dr. R. Gschwind/ WS 2001/02

Anhang 8:

Data Sheet Arriflex D21 HD/ September 2008