

HDR – High Dynamic Range

Neue Herausforderungen in der Postproduktion durch
HDR

Diplomarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades
Dipl.-Ing. für technisch-wissenschaftliche Berufe

am Masterstudiengang Digitale Medientechnologien an der
Fachhochschule St. Pölten, **Masterklasse TV- und Videoproduktion**

von:

Julia Böhm, BSc

dm151544

Betreuer und Erstbegutachter: Dipl.-Ing.(FH) Mario Zeller

Zweitbegutachter: FH-Prof. Dipl.-Ing. Lars Oertel

Sankt Pölten, 25.09.2017

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift

Kurzfassung

Die Diplomarbeit beschreibt die Thematik High Dynamic Range. Um das Format zu verstehen, wird ein grober Überblick über die grundlegenden Kenntnisse der Medientechnik geschaffen. Ein großes Kapitel befasst sich mit Videoformaten und -codecs die derzeit in der Produktion, Postproduktion und Distribution genutzt werden. Insbesondere die Thematiken Bildauflösung, Seitenverhältnis und Bildwiederholungsrate werden erklärt. Des Weiteren wird darauf eingegangen, wie Farben in der Videotechnik funktionieren, welche Farbmodelle es gibt und wie diese definiert sind.

Ein weiterer großer Themenblock ist die Videokompression. Die verlustfreie Kompression, wie beispielsweise die variable Längenkodierung, die Huffman- und die arithmetische Kodierung werden erklärt. Auch auf die verlustbehaftete Kompression wird eingegangen. Unter anderem wird die Redundanzreduktion, also die Unterscheidung zwischen Interframe- und Intraframe-Kodierung, und die Irrelevanzreduktion beschrieben.

Es wird detaillierter auf einen Standard Interframe-Videocodec eingegangen, bei dem der Encoder und dessen Arbeitsschritte genauer erklärt werden. Außerdem wird ein Überblick über die Videokompression mit MPEG gegeben, unterteilt in MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264 und H.265. Die Standard-Videocodecs und -Videoformate werden mittels einer Tabelle aufgelistet und kurz beschrieben beziehungsweise verglichen.

Anschließend wird auf die Thematik HDR eingegangen. Unter anderem wird die Dynamic Range beschrieben und ein Vergleich zwischen Standard Dynamic Range und High Dynamic Range wird aufgestellt. Ein wichtiger Punkt sind auch die diversen ITU-R-Empfehlungen wie BT.709, BT.2020 und BT.2100.

Im Kapitel fünf wird ein kurzer Überblick einer HDR-Video-Pipeline gegeben. Der Arbeitsablauf von der Bilderfassung über die Kompression bis hin zur Bildwiedergabe wird beschrieben.

Des Weiteren wird der aktuelle Stand von HDR sowohl in der Produktion, Postproduktion und Distribution präsentiert. Beispielsweise werden HDR-fähige Videoaufnahmegeräte wie Kameras und Recorder vorgestellt. In Bezug auf die Postproduktion werden die HDR-Formate Dolby Vision, HDR10, HDR10+ und Hybrid Log-Gamma erklärt. Es wird auch auf die HDR-Kompatibilität diverse

Videoverarbeitungsprogramme, wie beispielsweise Premiere Pro CC und Final Cut X, eingegangen. Es gibt eine Auflistung einiger HDR-fähige Fernsehgeräte, die derzeit auf dem Markt zu finden sind. Aber auch auf Set-Top-Boxen und Streaming-Boxen wie beispielsweise von Netflix oder Apple TV wird eingegangen. Die letzten zwei großen Kapitel befassen sich mit HDR im Fernsehen und auf Video-On-Demand-Plattformen, also der aktuelle Stand von HDR.

Abstract

The topic of this master thesis is High Dynamic Range. To understand this subject an overview about basic knowledge of media technology is given. A big part of the script will also describe video formats and codecs that are currently common in production, postproduction and distribution. Especially resolution, aspect ratio and frame rate is explained, as these are essential for the main topic. Furthermore, the necessity of colours in video technology and the colour models is made clear.

Another big thematic block is video compression. The lossless compression like the variable length coding, the Huffman- and the arithmetic coding are avowed. To the counterpart, the lossy compression is also referred. Amongst other things the redundancy reduction, the difference between interframe- and intraframe-coding and also the irrelevancy reduction are depicted.

The encoder and its operational steps of a standard interframe-codec are more accurate characterized. An overview of video compression in the MPEG-format is divided into MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.264 and H.265. A chart will show and compare the standard video codecs and video formats.

Following to that detail is going into HDR. Parts of this topic are dynamic range and a comparison of standard dynamic range and high dynamic range, amongst the ITU-R-recommendations like BT.709, BT.2020 and BT.2100.

Chapter five shows an overview of a HDR pipeline and the workflow from the image capture over the compression to the image display.

The current stand of HDR in production, postproduction and distribution and HDR-capable video recorders are presented. Referred to postproduction HDR-formats for example Dolby Vison, HDR10, HDR10+ and Hybrid Log-Gamma are explained. There is detailed information about HDR compatible video processing software for instance Premiere Pro CC and Final Cut X. A list of HDR-ready television sets, set-top-boxes and streaming devices like Netflix or Apple TV that are currently for sale is given. The last two chapters are focused on the current status of HDR in combination with broadcasting and video-on-demand-platforms.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	II
Kurzfassung	III
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Thematik und Problemstellung	2
1.2 Motivation	3
1.3 Ziele, Forschungsfragen und Hypothesen	4
1.4 Gliederung der Arbeit & Methodik	4
2 HDRI – High Dynamic Range Image	6
2.1 Die HDR-Revolution	8
3 Digitale Videoformate & -codecs	10
3.1 Bildauflösung	11
3.1.1 Gängigste Videoauflösungen	11
3.2 Farbe	12
3.2.1 Additive und Subtraktive Farbmischung	12
3.2.2 Primär- und Sekundärfarben	12
3.2.3 Farbsystem	13
3.2.4 Farbraum	14
3.2.5 CIE-Modell	15
3.2.6 RGB-Modell	15
3.2.6.1 Farbraum sRGB & AdobeRGB	15
3.2.7 YUV-Modell	15
3.2.7.1 $Y P_b P_r$ & $Y C_b C_r$	16
3.2.8 CMYK-Modell	16
3.2.9 HSV- & HSB-Modell	16
3.2.10 Farbtiefe	16
3.3 Seitenverhältnis	18
3.3.1 Klassische Seitenverhältnisse	18
3.3.2 Pixelseitenverhältnis	19
3.4 Bildwiederholungsrate	19
3.4.1 Conventional Definition Television (CDTV)	20
	<hr/>
	VI

3.4.2	Digital Television Categories (DTV)	20
3.4.2.1	Standard Definition Television	20
3.4.2.2	High Definition Television	20
3.5	Zeilensprungverfahren und Vollbildverfahren	21
3.5.1	Vereinigung der Halbbilder – Deinterlacing	23
4	Videokompression	24
4.1	Verlustfreie Kompression	24
4.1.1	Variable Längenkodierung (VLC – Variable Length Coding)	25
4.1.1.1	Huffman-Kodierung	25
4.1.1.2	Arithmetische Kodierung	27
4.1.2	Lauf­längen­kodierung (RLE – Run Length Encoding)	28
4.2	Verlustbehaftete Kompression	28
4.3	Redundanzreduktion	29
4.3.1	Intraframe-Kompression / Räumliche Redundanzreduktion	30
4.3.1.1	Subsampling	30
4.3.2	Interframe-Kompression / Zeitliche Redundanzreduktion	31
4.4	Irrelevanzreduktion	31
4.4.1	Chroma Subsampling / Farbunterabtastung	32
4.5	Standard Interframe Videocodec	33
4.5.1	Motion Estimator	34
4.5.2	Inter / Intra Switch	34
4.5.3	DCT	34
4.5.4	Quantiser	34
4.5.5	VLC / Variable Length Coding	35
4.5.6	IQ und IDCT	35
4.5.7	Konstante und variable Bitrate	35
4.5.8	Durchschnittliche Bitrate	36
4.6	Videokompression mit MPEG	36
4.6.1	MPEG-1	36
4.6.1.1	Bilderordnung / I-, P- und B-Frames	37
4.6.1.2	Videostruktur	39
4.6.1.2.1	Group of Pictures	39
4.6.1.2.2	Das Bild	39
4.6.1.2.3	Makroblocks	39
4.6.2	MPEG-2	40
4.6.2.1	Profile und Levels	40

4.6.3	MPEG-4	41
4.6.4	H.264 / MPEG-4 Part 10	42
4.6.5	H.265 / HEVC	43
4.7	Standard-Videoformate	43
4.8	Standard-Videocodecs	44
4.8.1	Verlustbehaftete Videocodecs	44
4.8.2	Verlustfreie Videocodecs	45
5	HDR	46
5.1	Allgemein	46
5.2	Dynamic Range	46
5.2.1	Größenordnungen / Stops	48
5.2.2	SDR versus HDR	51
5.2.2.1	SDR / LDR	51
5.2.2.2	HDR	52
5.2.3	Tone Mapping / Dynamikkompression	53
5.2.4	Gammakorrektur	54
5.2.5	ITU-R-Empfehlungen	54
5.2.5.1	CIE 1931	55
5.2.5.2	ITU-R-Empfehlung BT.709 / Rec. 709	55
5.2.5.3	ITU-R-Empfehlung BT.2020 / Rec. 2020	56
5.2.5.4	ITU-R-Empfehlung BT.2100 / Rec. 2100	56
5.3	Verwendung von HDR	58
5.4	HDR-Video Pipeline – kurzer Überblick	59
5.4.1	Bilderfassung	60
5.4.2	Bildkompression	60
5.4.3	Bildwiedergabe	61
6	UHD versus HDR	63
7	HDR in der Produktion	65
7.1	Sony	65
7.2	Panasonic	66
7.3	Blackmagic Design	66
7.4	Atomos	67
7.5	HDR-Produktions-Workflow	67
7.6	Veränderung Workflow	68
8	HDR in der Postproduktion	70
8.1	Codecs und Formate	70
8.1.1	HDR10	71

8.1.2	Dolby Vision	72
8.1.3	HLG	73
8.1.4	HDR10+	74
8.2	Videobearbeitungsprogramme	74
8.2.1	Premiere Pro CC	74
8.2.2	Final Cut Pro X	75
8.2.3	Final Cut 7	75
8.2.4	Avid Media Composer	75
8.2.5	Blackmagic Design: DaVinci Resolve	75
8.3	Workflow	76
9	HDR in der Distribution	78
9.1	HDR-Fernseher	78
9.1.1	Samsung	78
9.1.2	Sony	79
9.1.3	LG	79
9.1.4	Philips	79
9.2	Set-Top-Box & Streaming-Box	79
9.2.1	Apple TV	79
9.2.2	Amazon Fire TV	80
9.2.3	Google Chromecast Ultra	80
9.2.4	Roku Ultra	81
9.2.5	Nvidia	81
9.2.6	UHD-Blu-ray-Player	81
9.2.7	X-Box One S	81
10	HDR im Broadcasting-Bereich	82
10.1	Sky	82
10.2	ProSiebenSat.1 & RTL Deutschland	82
11	Video-On-Demand	83
11.1	Netflix	83
11.2	Maxdome	83
11.2.1	MovieLabs	84
11.3	Amazon Video	85
11.4	YouTube	85
12	Fazit	87
13	Literaturverzeichnis	89
	Abbildungsverzeichnis	98
	Tabellenverzeichnis	100
	Anhang	101
A.	Experteninterview Bernhard Widtmann	101

1 Einleitung

Die Mehrheit an digitalen Bildern und digitalem Videomaterial erfasst nur einen Bruchteil der visuellen Information des realen Bildes. Unser Auge ist zu viel mehr fähig, als die Information, die uns nach der digitalen Videoaufnahme präsentiert wird. Die digitale Reproduktion der realen Welt ist somit nicht annähernd so detailliert und qualitativ hochwertig, wie unser Auge es durch die Realität gewohnt ist (Myszkowski u. a., 2008, S. 5).

Das Problem hierbei ist nicht die Auflösung des Bildes, da die heutigen Videokameras Bilder mit sehr hoher Pixelzahl aufzeichnen können. Kameras sind sogar in der Lage, mehr Pixel aufzuzeichnen, als unsere Bildschirme darstellen können. Das Problem ist die begrenzte Farbskala und die begrenzte Dynamik (Kontrast), welche einerseits durch die Videoaufnahme in der Kamera entstehen, andererseits durch die Speicherung der Datei in diverse Videoformate. Solche Bilder werden meist als SDR (Standard Dynamic Range) oder LDR (Low Dynamic Range) bezeichnet. SDR steht somit für Videomaterial, welches nur einen geringen Dynamikbereich wiedergeben kann (Myszkowski u. a., 2008, S. 5).

Es gibt unterschiedlichste SDRI-Formate (Standard Dynamic Range Image), wie beispielsweise BMP (Windows Bitmap), JPEG (Joint Photographic Experts Group) und TIFF (Tagged Image File Format), die heutzutage jedoch bereits veraltet sind. Diese wurde entworfen, um die Anzahl an Informationen zu speichern, die die Mehrzahl an Displays wiedergeben konnte. Diese waren bis zur Jahrhundertwende hauptsächlich CRT-Monitore (Cathode Ray Tube). Doch heutzutage gibt es weitaus bessere Bildschirme, wie zum Beispiel LCD- (Liquid Crystal Displays), LED- (Light Emitting Diode), OLED- (Organic Light Emitting Diode) und QLED-Monitore (Quantum Dot Light Emitting Diode), die eine viel breitere Farbskala und einen größeren Dynamikbereich wiedergeben können als CRT-Bildschirme (Myszkowski u. a., 2008, S. 5).

Die meisten digitalen Bilder verwendeten nur 265 Helligkeitsstufen für den jeweiligen Farbkanal. Diese Farbtiefe reicht meist nicht aus, um die in der natürlichen Szenerie vorkommenden Helligkeitsunterschiede wiederzugeben. Der geringe Kontrastumfang und der limitierte Farbbereich von SDR, der auf drei 8 Bit Farbkanäle beschränkt ist, ist nicht ausreichend, um in der anstehenden

Entwicklung der Bildaufnahme, Verarbeitungs-, Speicher- und Wiedergabetechnologie mitzuhalten (Myszkowski u. a., 2008, S. 5).

HDR (High Dynamic Range) überschreitet die Begrenzung von Bildinformationen und speichert Farbdaten mit höherer Präzision. Es werden 32 Bit pro Farbkanal angegeben. HDR liefert eine Genauigkeit, die die Fähigkeit des menschlichen Auges übersteigt und damit steigt die Qualität des Bildes. Somit ist es durch HDR möglich, die in der realen Welt gefundenen Farben, die vom menschlichen Auge wahrgenommen werden können, zu repräsentieren (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

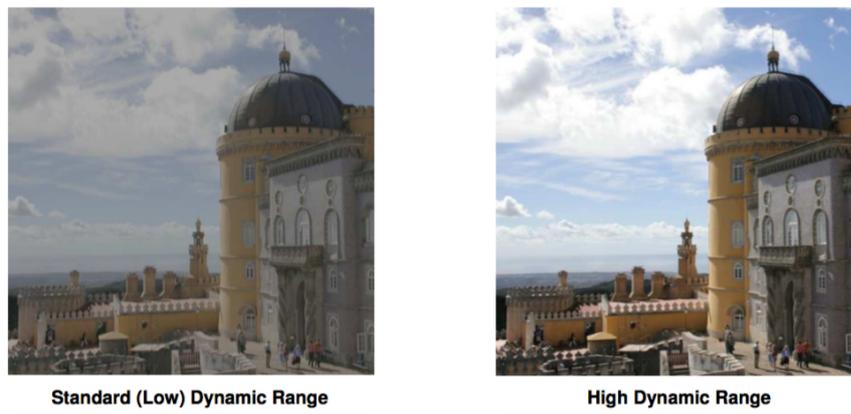


Abbildung 1. Beispiel SDR und HDR.

1.1 Thematik und Problemstellung

Immer mehr Firmen wagen den Schritt in Richtung HDR. So beispielsweise die Video-On-Demand-Plattform Netflix, die seit Mitte 2016 mehrere Filme und Serien in diesem Format anbietet. Hierbei handelt es sich derzeit meist noch um Eigenproduktionen. Auch der Anbieter Amazon Video bietet seinen Kunden HDR-Videos, und das in Verbindung mit UHD (Ultra High Definition). Bei UHD handelt sich um ein Format, das in der Bildauflösung größer ist als das gängige HD-Bild (High Definition). Jedoch findet HDR nicht nur Verwendung in Verbindung mit dem UHD-Format, sondern das HD-Footage wird mittels HDR sozusagen upgradet. Als Footage wird in der Film- und Videoproduktion der ungeschnittene Film beziehungsweise das ungeschnittene Video bezeichnet.

Auch der Elektronikkonzern Sony hat sich im April 2017 dazu entschlossen zahlreiche Geräte aus der Produktpalette, wie Kameras und Monitore, HDR-fähig zu machen. Der Konkurrent Samsung bietet seit 2016 einige HDR-fähige Fernsehgeräte an. Auch die Online-Plattform YouTube setzt mittlerweile schon auf das qualitativ hochwertigere Format. Zu diesem Zeitpunkt ist es möglich, Videos mit HDR-Technologie hochzuladen und zu verbreiten.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass HDR in der Video- und Fernsehproduktion immer relevanter wird.

Der Umstieg von SDR auf HDR wäre außerdem auch noch kostengünstiger als zum Beispiel das Upgrade von High Definition auf Ultra High Definition.

Der Umstieg von HD auf UHD wäre ein sehr kostspieliger Vorgang, da von der Wahl des Equipments, über die Produktion, bis hin zur Postproduktion und Distribution einiges beachtet und geändert werden müsste. Beispielsweise braucht es UHD-fähige Kameras und der Workflow bei der Produktion muss angepasst werden, da UHD deutlich größere Datenmengen produziert als HD-Footage. In der Postproduktion werden leistungsstärkere Rechner benötigt, Speichermedien mit höherer Kapazität, und das Endprodukt ist höchstwahrscheinlich um einiges größer, als es in HD-Format gewesen wäre.

Das Format HDR bringt natürlich auch einige Änderungen mit sich, so werden HDR-fähige Kameras benötigt und auch die Datenrate der Videos steigt. Jedoch wäre ein Umstieg auf HDR um einiges effizienter, weil der Workflow und das Equipment nicht gänzlich ausgetauscht werden müssen, sondern lediglich ein Upgrade auf HDR notwendig ist.

Ein neues Format bringt jedoch auch neue Herausforderungen mit sich welche in der Produktion, Distribution und besonders in der Postproduktion liegen. Es werden neue Codecs benötigt, die mit dem HDR-Footage kompatibel sind. Schnitt- und Bearbeitungsprogramme müssen mit den neuen Formaten und Codecs funktionieren. Außerdem braucht es einen neuen Workflow, beispielsweise muss eine Kombination von HDR- und HD-Material in einer Schnittsequenz möglich sein.

1.2 Motivation

HDR wird in der Video- und Fernsehbranche immer relevanter. Einige Fernsehsender und Video-On-Demand-Plattformen wagen bereits den ersten Schritt, beziehungsweise planen erste Schritte in diese Richtung. Auch die Elektrokonzerne und Produktionsfirmen passen sich an, HDR-fähige Produkte wie Fernseher und Monitore, aber auch Kameras werden produziert und Produktionsfirmen sowie Konsumentinnen und Konsumenten kaufen und nutzen diese Produkte.

Die Konsumentin und der Konsument der Unterhaltungsindustrie stehen im Elektromarkt vor einer großen Wahl an diversen Fernsehgeräten. Versprochen wird ihnen hierbei beste Qualität, entweder gelöst durch UHD, HDR oder der Kombination aus beidem. Während herkömmliche Fernseher 256 Helligkeitsstufen (8 Bit) darstellen können, muss ein HDR-Standard-Fernseher

1024 Helligkeitsstufen (10 Bit) wiedergeben können. Jedoch gibt es heutzutage noch kaum Fernsehsender, die HDR oder UHD senden. Die Konsumentin und der Konsument kaufen somit Endgeräte, deren Technik sie letztendlich nicht richtig ausschöpfen können, da es noch nicht genug Videomaterial in diesen Formaten gibt.

Langsam aber doch kommt der Wandel in Richtung qualitativ hochwertiger Bilder, nämlich UHD und HDR.

1.3 Ziele, Forschungsfragen und Hypothesen

Diese Arbeit behandelt das Thema High Dynamic Range. Um diese Thematik zu verstehen, werden die grundlegenden Kenntnisse der Videoformate und –codecs beschrieben sowie auf die Grundkenntnisse der Videokompression eingegangen.

Ziel dieser Arbeit ist es, HDR von Grund auf zu verstehen und herauszufinden, wie sehr sich das Format bereits in der Medienbranche integriert hat, in wie weit sich der Workflow in Produktion, Postproduktion und Distribution dadurch ändert und wie sich der Umgang mit HDR entwickeln wird.

Die zentralen Forschungsfragen, die sich aus der bisher beschriebenen Problematik ergeben, sind:

1. Welche technischen Unterschiede ergeben sich durch die Einführung von HDR-Workflows in Produktion, Postproduktion und Distribution?
2. Welche Unterschiede ergeben sich in Bezug auf Codecs bei dem Einsatz für HDR?
3. Welche Eigenschaften muss ein Codec haben, um mit einem HDR-Workflow kompatibel zu sein?
4. Welche unterschiedlichen Schnittsysteme unterstützen HDR?

Meine Hypothese ist, dass sich immer mehr Equipment- und Produktionsfirmen auf HDR spezialisieren werden und auch Fernsehsender und Video-On-Demand-Plattformen den Schritt in diese Richtung wagen werden. Ich denke, dass HDR eine optimale Lösung zur Qualitätssteigerung ist und ein Wandel von HD auf HDR viel effizienter ist als lediglich auf UHD umzusteigen.

1.4 Gliederung der Arbeit & Methodik

Das erste Kapitel beginnt mit den grundlegenden Kenntnissen von HDR. Dabei wird ein kurzer Überblick geschaffen, was High Dynamic Range ist und wie das Format funktioniert. Um die Thematik HDR zu verstehen, werden die Grundkenntnisse der Videocodecs und –formate sowie die Videokompression

erklärt (welche in Kapitel drei und vier beschrieben werden). Die dafür verwendete Fachliteratur stammt aus dem Bereich der Medientechnik.

Anschließend wird auf die Thematik HDR eingegangen. In Kapitel fünf wird das Format HDR genauer erläutert. Auch die Verwendung von HDR und ein kurzer Überblick der HDR-Pipeline werden in diesem Kapitel behandelt.

In Kapitel sechs werden die Unterschiede von Ultra High Definition und High Dynamic Range erläutert. Kapitel sieben, acht und neun beschreibt die Thematik HDR in Produktion, Postproduktion und Distribution. Um den aktuellen Stand des Formates zu beschreiben, wurden vor allem Onlinerecherchen durchgeführt. Es wurden zwei Experteninterviews durchgeführt.

Einerseits mit Valentin Gstöttenmayr, einem selbstständigen Coloristen, der seit vielen Jahren in der Medienbranche tätig ist. Des Weiteren wurde Bernhard Widtmann befragt. Er ist Media Architect der Maxdome GmbH, ein Unternehmen der ProSiebenSat. 1 Media SE.

In Kapitel zehn geht es um den derzeitigen Stand von HDR in der Fernsehbranche und Kapitel elf gibt einen Überblick über den aktuellen Stand von HDR auf Video-On-Demand-Plattformen.

2 HDRI – High Dynamic Range Image

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, wie ein digitales Bild entsteht, beispielsweise durch Kameras, einem Scanner oder auch durch die Erstellung mittels Computerprogrammen. Während ihrer Lebensdauer wird das digitale Bild einer Reihe von Veränderungen unterzogen. Zuerst werden die Bilder mittels einer bestimmten Technik erstellt, anschließend auf einem digitalen Medium gespeichert, eventuell über einem Bildbearbeitungsprogramm bearbeitet und letztendlich auf einem Monitor angezeigt. Im Augenblick gibt es einen Trend zur Herstellung und Verwendung von Bildern mit höherer Auflösung (Reinhard u. a., 2010, S. 1).

Derzeit werden die meisten Farbbilder mit einem Byte pro Pixel für jeden der roten, grünen und blauen Farbkanäle dargestellt. Mit drei Bytes pro Pixel können jedem Pixel mehr als 16,7 Millionen verschiedene Farben zugeordnet werden. In Bearbeitungsprogrammen ist dieser Punkt meist als „*Millionen von Farben*“ angegeben. Das klingt nach einer beachtlichen Summe an Farben, jedoch ist zu bedenken, dass es immer nur 256 Werte für jeden der roten, grünen und blauen Komponenten jedes Pixels gibt (Reinhard u. a., 2010, S. 1).

256 Werte pro Farbkanal sind meist unzureichend, um eine Szene darzustellen. Ein Beispiel ist in der Abbildung 1 sichtbar. Bei dem linken Bild handelt es sich um ein 8 Bit Bild. Es ist deutlich erkennbar, dass der Außenbereich des Bildes, der See, stark überbelichtet ist und viel Information verloren geht. Bei dem rechten Bild ist sowohl der Innenbereich, als auch der Außenbereich deutlich sichtbar. Hierbei handelt es sich um ein HDR-Bild. Je nach Wiedergabegerät kann der Unterschied der Qualität der beiden Bilder noch mehr variieren (Reinhard u. a., 2010, S. 2).



Abbildung 2. SDR versus HDR.

Wird ein Bild in HDR aufgenommen, dann jedoch mit einem bestimmten Format oder Codec komprimiert, um das Bild auf ein bestimmtes Wiedergabegerät anzupassen, geht Information und Qualität verloren. Mehr zum Thema Videoformate und -codecs sowie die Videokompression wird im Kapitel zwei „Videoformate & -codecs“ sowie Kapitel drei „Videokompression“ beschrieben. Der Wertebereich, der durch ein herkömmliches Bild erhalten wird, beträgt etwa zwei Größenordnungen die als Byte für jeden der roten, grünen und blauen Kanäle pro Pixel gespeichert werden. Um ein Bild beispielsweise zu drucken, muss der Dynamikbereich verringert werden, da dies nur bis zu einer bestimmten Grenze möglich ist. Um also den Effekt der Verringerung eines HDR-Bildes in einem darstellbaren Bereich zu simulieren, wird das Bild im dynamischen Bereich reduziert (Reinhard u. a., 2010, S. 5).

In Abbildung 3 ist rechts ein SDR-Bild sichtbar, also ein Bild mit acht Bit pro Farbkanal pro Pixel. Das gleiche Bild ist auf der linken Seite zu sehen, jedoch reduziert auf 4 Bit pro Farbkanal pro Pixel. Hierbei ist zu erkennen, dass eine geringere Zahl an Bit zu einem visuellen Qualitätsverlust führt (Reinhard u. a., 2010, S. 6).



Abbildung 3. SDR Bild: 4 Bit versus 8 Bit.

Obwohl für einige Szenen 8 Bit pro Farbkanal genug ist, gibt es unzählige Situationen in denen 8 Bit nicht ausreichen.

Die SDR-Standards wurden an die Bedürfnisse der Büro- oder Displaybeleuchtungsbedingungen angepasst. Wenn wir auf einen Computerbildschirm blicken, arbeitet unser visuelles System mit einer Mischung aus Tageslicht, auch photopisches Sehen genannt, und einer gedimmten Lichtversion oder Dämmerungssehen, der sogenannte mesopische Bereich, also der Übergangsbereich von Tages- und Nachtsehen. Diese Unterscheidung ist wichtig, da diese zwei Arten unterschiedliche Leistungen aufweisen und zu einer unterschiedlichen Farbwahrnehmung führen. HDR kann Bilder von Luminanzbereichen darstellen, die sowohl den photopischen als auch den mesopischen Bereich abdecken und so eine Unterscheidung zwischen ihnen ermöglicht. Ein Unterschied dieser Arten ist der Eindruck von Buntheit. Menschen neigen dazu, Objekte die hell erleuchtet sind bunter zu betrachten. Dies ist ein Phänomen, dass der Hunt-Effekt genannt wird. Um die Farbigkeit eines Bildes zu optimieren, müssen digitale Bilder Informationen über die tatsächlichen Luminanzwerte der ursprünglichen Szene bewahren. Das war jedoch bei der herkömmlichen Bearbeitung nicht möglich (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

Reale Szenen sind nicht nur heller und bunter als die digitale Reproduktion, sondern enthalten auch einen viel höheren Kontrast. Traditionelle Bildgebungen, im Gegensatz zu HDR, sind nicht in der Lage, solche kontrastreichen Szenen darzustellen. Außerdem können kaum visuelle Phänomene, wie die Sonne oder leuchtende Lampen, dargestellt werden (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

2.1 Die HDR-Revolution

HDRI gewinnt in der Videobranche immer mehr an Relevanz und beeinträchtigt sehr viele Bereiche der digitalen Bildgebung. Die steigende Nachfrage nach HDRI ist durch die Entwicklung von HDR-Bildschirmen entstanden. Denn das bewies, dass die Visualisierung von Farb- und Helligkeitsbereichen nahe der realen Welt möglich ist. Videospieldesignerinnen und Videospieldesigner sowie Grafikkartenanbieterinnen und -anbieter waren die ersten, die HDRI nutzten. Heutzutage nutzt nahezu jede Entwicklerin und jeder Entwickler von Videospielen dieses Format, um die virtuellen Bilder so realitätsgetreu wie möglich zu machen. Auch Spezialeffekte werden in der Postproduktion mittels HDR-Technik geschaffen (Myszkowski u. a., 2008, S. 9).

High-End-Kameras bieten bereits eine deutlich höhere Dynamik an, als die heutigen Displays überhaupt wiedergeben können. Dieser Dynamikbereich geht jedoch durch die Aufnahme und somit durch die Speicherung in der Kamera

verloren, oder durch etwaige Kompressionsverfahren während der Aufnahme. Um die Parameter zu behalten, muss mit dem HDR-Format gearbeitet werden. Neben dem Einfluss auf bestehende Bildtechnologien hat High Dynamic Range das Potenzial die gängigen Methoden zur Verarbeitung, Wiedergabe und Speicherung von Bilddaten zu beeinflussen. Die immer stärker werdende Nachfrage von HDR hat großen Einfluss auf Geräte, die zur Aufnahme und Wiedergabe von Videos genutzt werden sowie auf die Videocodecs und -formate die auf dem Markt sind (Myszkowski u. a., 2008, S. 9).

Um High Dynamic Range zu verstehen wird in dem nachfolgenden dritten Kapitel „*Videoformate & -codecs*“ und in Kapitel vier „*Videokompression*“ die grundlegenden Kenntnisse der Videotechnik erklärt.

3 Digitale Videoformate & - codecs

Ein Videoformat erklärt, wie Videodaten auf einem Datenträger aufgezeichnet werden oder aufgezeichnet wurden. Somit bezeichnet das Format die audiovisuellen Spezifikationen eines Videos, nämlich die Bildauflösung und das zusammenhängende Seitenverhältnis, die Bildwiederholungsrate, die Farbtiefe sowie die Tonspur (Reimers, 2008, S. 68).

Die Videokompression legt das Verfahren fest, in dem die Daten des Videos komprimiert werden. Bei der Kompression handelt es sich um einen Vorgang, bei dem die Menge der digitalen Daten reduziert oder verdichtet wird, damit das Signal simpler zu speichern oder zu übertragen ist. Denn weniger Daten bedeutet eine einfachere Übertragung dieser Daten. Um Videodateien in einem bestimmten Dateiformat beziehungsweise in eine bestimmte Video-Containerdatei zu speichern, werden im digitalen Bereich Videocodecs benötigt (Reimers, 2008, S. 68).

Ein Codec setzt sich aus den Wörtern *Encode* (Enkodierung) und *Decode* (Dekodierung) zusammen und ist technisch betrachtet ein Algorithmen-Paar, das digitale Daten enkodiert oder dekodiert. Auf der einen Seite gibt es immer einen Encoder und auf der anderen Seite einen Decoder als Gegenstück (Filmpuls, 2017).

Ein Codec kann sowohl kodieren als auch dekodieren, also beispielsweise ein Videosignal komprimieren und es anschließend bei der Wiedergabe wieder zu dekomprimieren. Eine Kompression hilft dabei Datenmengen einzusparen, jedoch ist mit einem möglichen Qualitätsverlust der Bilder zu rechnen. Je nach Komprimierungsverfahren kann es zu keinen bis zu stark sichtbaren Bildfehlern kommen (Gugel, 2005).

Fernsehnormen wie HDTV (High Definition Television), PAL (Phale-Alternating-Line) und NTSC (National Television Systems Comittee) legen die Videoformate fest, die in der Unterhaltungsindustrie verwendet werden. Jedoch sind die Normen PAL und NTSC heutzutage veraltet und werden nicht mehr genutzt (Reimers, 2008, S. 68).

3.1 Bildauflösung

Die Bildauflösung ist ein Maß für die Bildgröße einer Rastergrafik und wird durch die Anzahl der Zeilen (Höhe) und Spalten (Breite), oder durch die Anzahl der Bildpunkte einer Rastergrafik, angegeben. Hierbei wird zwischen Pixel- und Vektorgrafiken unterschieden. Wenn sanfte Farbabstufungen, wie weiche Schatten oder feine Details aus tausenden abweichenden Farbwerten gebraucht werden, sind Pixel geeignet. Somit basieren Bildbearbeitungs- und Videoprogramme sowie technische Geräte, wie Videokameras, Monitore und Drucker auf das Konzept der Pixelgrafik (Waldruff, 2004, S. 4).

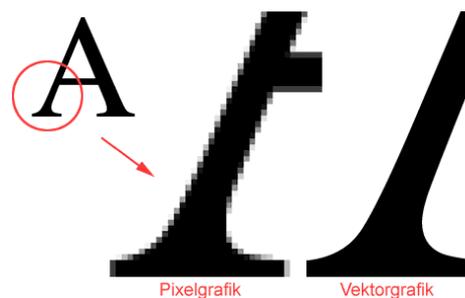


Abbildung 4. Pixelgrafik versus Vektorgrafik.

Pixelgrafiken kennen nur eine Art von Einheit, nämlich den Pixel (picture element). Es wird eine Matrix benötigt, um die Pixel anzuordnen. Dabei handelt es sich um ein Schema, indem Pixel für Pixel als Zeile die Bildbreite (horizontal) und Zeile für Zeile die Bildhöhe (vertikal) definiert wird (Waldruff, 2004, S. 3).

Die Bildauflösung wird errechnet indem die Pixelanzahl des Bildes pro Zeile mit der Pixelanzahl des Bildes pro Spalte multipliziert wird. Beispielsweise ergibt die Bildgröße von 1920 Pixel (Breite) und 1080 Pixel (Höhe) eine Gesamtpixelzahl von 2.073.600 Pixel. Je höher die Pixelmenge, desto kontinuierlicher und detaillierter lassen sich schräge Linien, Rundungen und Details darstellen (Waldruff, 2004, S. 3).

3.1.1 Gängigste Videoauflösungen

Tabelle 1 zeigt die gängigsten Videoauflösungen. PAL ist ein Verfahren zur Farbübertragung beim analogen Fernsehen. Es wurde mit dem Ziel entwickelt, störende Farbton-Fehler automatisch zu kompensieren. Die standardisierte Videoauflösung von PAL ist 544 x 576 Pixel. NTSC ist ein US-amerikanische Institution, ähnlich dem PAL-Verfahren, die ein Farbübertragungssystem für analoge Fernsehsignale festlegte (C. A. Poynton, 2012, S. 136).

HD720 und HD1080 werden als HD bezeichnet, wobei HD720 eine Auflösung von 1280 x 720 Pixel bedeutet und HD1080 eine Breite von 1440 Pixel und eine Höhe von 1080 Pixel aufweist (C. A. Poynton, 2012, S. 41).

Bei der umgangssprachlich oft genannten HD-Auflösung handelt es sich meist um Full HDTV, das eine Größe von 1920 x 1080 Pixel ermöglicht. Ultra High Definition (UHD) bezeichnet ein Format, das zwei Bildauflösungen umfasst, nämlich 4K und 8K. UHD 4K weist eine Auflösung von 3840 x 2160 Pixel auf und 8K ermöglicht eine Bildauflösung von 7680 x 4320 Pixel (C. A. Poynton, 2012, S. 41).

Name	Breite	Höhe	Seitenverhältnis
PAL	544	576	4:3 & 16:9
NTSC	544	480	4:3 & 16:9
HD720	1280	720	16:9
HD1080	1440	1080	4:3
Full HDTV	1920	1080	16:9
UHD 4K	3840	2160	16:9
UHD 8K	7680	4320	16:9

Tabelle 1. Gängige Videoauflösungen.

3.2 Farbe

Farbe basiert auf Frequenzen. Jede Farbe hat ihre eigene spezifische Frequenz in einem sichtbaren Spektrum und ihre spezifische Wellenlänge. Die Wellenlänge bezieht sich auf die Frequenz, je höher die Frequenz, desto kürzer die physikalische Länge der Welle (Weise, 2007, S. 57).

3.2.1 Additive und Subtraktive Farbmischung

Es gibt zwei Möglichkeiten um Farbe wahrzunehmen. Einerseits können die Lichtfrequenzen addiert werden, was als additive Farbmischung bezeichnet wird. Die Kombinationen der Primärfarben ergeben weißes Licht, wie beispielsweise das Sonnenlicht. Andererseits gibt es die subtraktive Methode die bei Printmedien verwendet werden. Hierbei werden alle Farben subtrahiert, außer den Farben die gesehen werden (Weise, 2007, S. 57).

3.2.2 Primär- und Sekundärfarben

In jedem Farbsystem werden bestimmte Farben als Primärfarben bezeichnet. Die Definition von Primärfarbe ist, dass sie nicht durch eine Mischung anderer Farben erstellt werden kann, wie zum Beispiel Rot, Grün und Blau (RGB). Rot

kann nicht durch Mischung von Grün oder Blau kreiert werden. Ein Farbsystem kann aus mehr als drei Farbwerten bestehen und diese Farben können frei gewählt werden (Weise, 2007, S. 58).

Abbildung 5 verdeutlicht die Mischung von Primär- und Sekundärfarben.

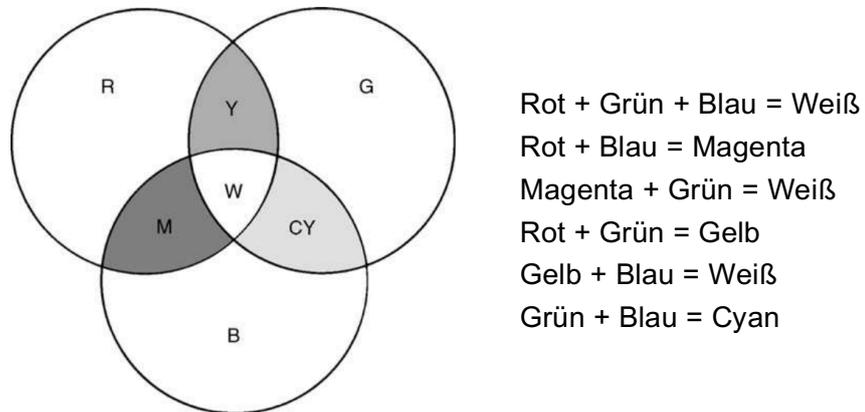


Abbildung 5. Mögliche Mischung der Primär- und Sekundärfarben.

3.2.3 Farbsystem

Das Farbsystem beschreibt die Verwendung eines bestimmten Farbraumes und definiert die dreidimensionale Basis, in der der Farbraum dargestellt wird. In den frühen 1950er Jahren versuchten unterschiedliche Gruppen, wie der NTSC (National Television System Committee), dem Fernsehsignal Farbe hinzuzufügen. Die einfachste Lösung wäre gewesen, die Farbinformation dem monochromen Signal zu addieren, jedoch hätte das die doppelte Menge an Farbspektrum benötigt, was nicht möglich war. Die Lösung war das Hinzufügen der Farbe innerhalb der 6 MHz Bandbreite, um die Kompatibilität beizubehalten. PAL (phase alternate line) und SECAM (sequential couleur avec memoire) wurden aufgrund des NTSC-Farbsystems erfunden (Weise, 2007, S. 59).

Eine Kamera erzeugt während der Aufnahme drei primäre Farbsignale, nämlich Rot, Grün und Blau, die sogenannten RGB-Farben. Diese Signale können zur Übertragung und Speicherung weiterverarbeitet werden. Für die Kompatibilität mit dem Schwarz-Weiß-Video wird ein neuer Satz von Signalen mit unterschiedlichem Farbraum erzeugt. Diese werden als Farbsysteme bezeichnet. Die drei Standards sind NTSC, PAL und SECAM (Ghanbari, 2011, S. 10).

Die Grundprinzipien dieser Systeme sind sehr ähnlich. Der Farbraum in PAL wird durch YUV dargestellt, wobei Y für die Luminanz steht und U (Blau) und V (Rot) die beiden Farbkomponenten darstellen. Der Basis YUV-Farbraum kann aus gamma-korrigierten RGB-Komponenten erzeugt werden:

$$Y = 0,299R' + 0,587G' + 0,114B'$$

$$U = -0,147R' - 0,289G' + 0,436B' = 0,492 (B' - Y)$$

$$V = 0,615R' - 0,515G' - 0,100B' = 0,877 (R' - Y)$$

(Ghanbari, 2011, S. 10)

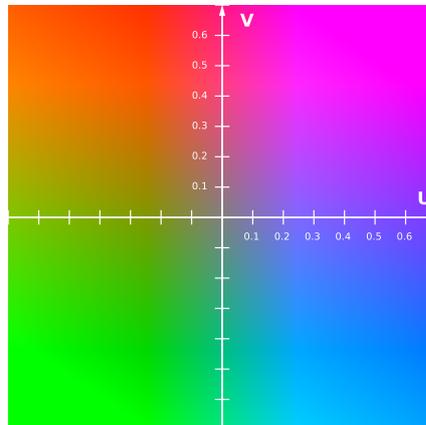


Abbildung 6. YUV-Farbmodell, Y-Wert = 0,5; gezeigt im RGB.

Im PAL-System beträgt die Luminanz-Bandbreite normalerweise 5 MHz, jedoch im PAL-System-I, genutzt im Vereinigten Königreich, beträgt sie 5,5 MHz. Die Bandbreite (Breite des Intervalls in einem Frequenzspektrum) jeder Farbkomponente beträgt nur 1,5 MHz, weil das menschliche Auge weniger empfindlich auf die Farbauflösung ist. Aus diesem Grund werden in den meisten Bildverarbeitungsprogrammen die Entscheidungen über die Art der zu kodierten oder nicht kodierten Blöcke aufgrund der Luminanzkomponente vorgenommen. Diese Entscheidung wird dann auf die entsprechenden Farbkomponenten ausgedehnt. Bei höherwertigen Videos wie beispielsweise HDTV können die Luminanz- und Chrominanzkomponenten die gleiche Bandbreite haben. Dennoch werden die Entscheidungen aufgrund der Luminanzkomponente getroffen. Chrominanz bezeichnet ein Signal mit Informationen über die Farbart (Ghanbari, 2011, S. 11).

Jeder ursprüngliche analoge Standard hatte seine eigene Methode, um Farbinformationen zu verarbeiten. Mit den neuen digitalen Videostandards definierte die ISO (Internationale Organisation für Normung) Farbkodierung zum internationalen Standard CCIR 601. Später wurde der Name zu ITU-R 601 umbenannt, nach der International Telecommunications Union (Weise, 2007, S. 129).

3.2.4 Farbraum

Das Farbsystem gibt keine Information wie ein bestimmtes Rot, Grün oder Blau aussehen soll. Dafür ist der Farbraum zuständig. Ausgehend von dem standardisierten Ausgangsfarbraum, der alle für das menschliche Auge

sichtbaren Farbtöne (CIE-Lab-Farbraum) berücksichtigt, können diverse Farbräume definiert werden. Jede farbgebende Methode hat ihren eigenen Farbraum (Beitinger, 2011b).

Ein Farbraum beruht auf einem Farbmodell und es existieren fünf wesentliche Modelle, die sich in untergeordnete Modelle unterteilen: CIE, RGB, YUV, CMYK und HSB.

3.2.5 CIE-Modell

Das CIE 1931XYZ (CIE – Commission internationale de l'éclairage) war der erste Versuch um einen fundierten Farbraum zu schaffen und basiert auf der Messung des menschlichen Farbwahrungsvermögens. Dabei handelt es sich um den Farbbereich, der vom menschlichen Auge wahrgenommen wird (Reinhard u. a., 2010, S. 34).

3.2.6 RGB-Modell

Beim standardisierten Fernsehfarbsystem wird ein drei additives Primärfarbsystem verwendet, nämlich Rot, Grün und Blau. Hierbei schafft eine Kombination von zwei Primärfarben eine Sekundärfarbe (Weise, 2007, S. 59).

Dieses Modell wird für jedes System verwendet das Licht mischt um Farben zu generieren, beispielsweise Bildschirme und Kameras. Die Mischung der Farben Rot, Grün und Blau ergibt Weiß (Pender, 2012, S. 26).

3.2.6.1 Farbraum sRGB & AdobeRGB

Der Farbraum AdobeRGB wurde speziell für die Druckindustrie geschaffen, wo am Ende der Druck in CMYK-Farben bevorsteht. sRGB wurde an die Möglichkeiten vorhandener Monitore angeglichen. Generell sind diese Farbräume sehr ähnlich, wobei sRGB keine Farbe enthält, die nicht auch über AdobeRGB dargestellt werden könnte. AdobeRGB hat somit einen deutlich größeren Farbraum, besonders im blaugrünen Bereich. Wenn ein Bild von AdobeRGB zu sRGB konvertiert wird, geht in den stark gesättigten Farben Zeichnung verloren (Beitinger, 2011a).

3.2.7 YUV-Modell

Wie bereits beschrieben wird das Farbmodell beim analogen Farbfernsehen nach den Normen PAL und NTSC verwendet. Dabei werden die zwei Komponenten Luminanz Y und Chrominanz, dass aus den zwei Unterkomponenten U und V besteht, zur Darstellung der Farbinformation verwendet (C. Poynton, 2002, S. 567).

3.2.7.1 YP_bP_r & YC_bC_r

YP_bP_r ist eine anders skalierte Version von YUV, was in der Digitalform meist als YC_bC_r verwendet wird. Dieses Modell ist in der Videokompression weit verbreitet, wie beispielsweise bei MPEG (Biebeler, 2013, S. 13).

3.2.8 CMYK-Modell

Das CMYK-Modell basiert auf der subtraktiven Farbmischung. Hierbei werden Farben durch die Reflexion des Lichtes auf ein Objekt oder auf eine Oberfläche kreiert. Das reflektierte Licht bestimmt welche Farben wir sehen, wenn das Objekt betrachtet wird. Die drei Primärfarben sind Cyan, Magenta und Gelb. Diese drei Farben addiert ergeben, im Gegensatz zum RGB-Modell, Schwarz. Das K steht für die Schwarzwerte in dem Bild (Pender, 2012, S. 27).

3.2.9 HSV- & HSB-Modell

Beim HSB-Farbraum werden die Farben mit Hilfe des Farbwerts (im englischen: hue), der Farbsättigung (im englischen: saturation) und des Hellwerts (im englischen: brightness) definiert. Diese Methode reicht sehr nahe an die Art, wie das menschliche Augen Farben wahrnimmt. Der Farbwert steht für den Farbton des Bildes, also beispielsweise Rot. Die Sättigung definiert die Farbwirkung, also Wertigkeiten wie Buntheit und Farbtintensität. Die Helligkeit beschreibt wie dunkel oder hell ein Objekt erscheint (Pender, 2012, S. 27).

Beim HSL-Farbraum wird zum Farbton und zur Sättigung die Luminanz zu Dreidimensionalität ergänzt (C. A. Poynton, 2012, S. 28).

3.2.10 Farbtiefe

Jedes digitale Bild setzt sich ausschließlich aus Pixel zusammen und jeder einzelne Pixel steht für eine bestimmte Farbinformation, welche sich aus einer Mischung der Farben Rot, Grün und Blau ergibt. Die Farbtiefe, oft auch Bittiefe genannt, bestimmt die maximale Anzahl an Farben die in einem Bild gespeichert werden können. Also die Anzahl der möglichen Farben pro Pixel. In Abbildung 7 sind Beispiele von Abstufungen zu sehen (Pender, 2012, S. 25).

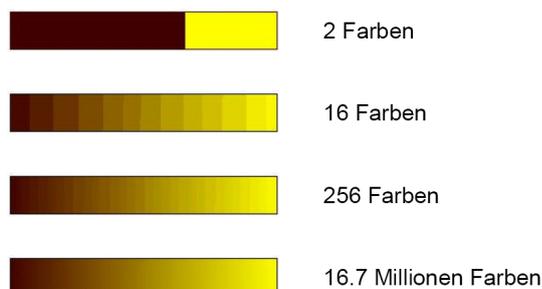


Abbildung 7. Beispiel Farbtiefe Abstufungen.

Stehen beispielsweise bei einem Bild zwei Farbwerte zur Verfügung, dann sind exakt nur diese beiden Werte verwendbar. Wird mehr Farbe gebraucht, müssen mehr Farbwerte zur Verfügung gestellt werden. Je mehr Farben benutzt werden, desto höher ist die Farbtiefe. Ein Computer arbeitet mit Bit und Bytes (= 8 Bit). 1 Bit kann die Binärzahlen 0 und 1 darstellen, die bestimmten Farbwerten zugewiesen wird, beispielsweise 0 für Schwarz und 1 für Weiß. Ein 1 Bit Bild kann somit nur die Farben Schwarz und Weiß darstellen (Pender, 2012, S. 25).

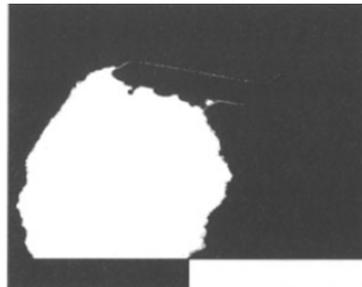


Abbildung 8. 1 Bit, Schwarzweißbild.

Werden mehr Farbinformationen benötigt, müssen zusätzliche Abstufungen geschaffen werden, indem ein weiteres Bit pro Pixel hinzugefügt wird. Somit sind beispielsweise 00 für Schwarz, 01 für Dunkelgrau, 10 für Hellgrau und 11 für Weiß möglich (Waldruff, 2004, S. 9).

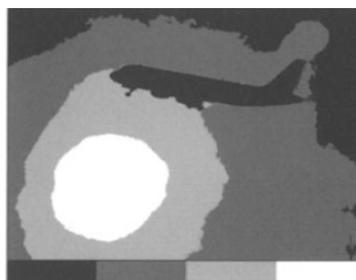


Abbildung 9. 2 Bit, Graustufenbild mit 4 Farbstufen.

Das beschriebene Verfahren kann unendlich weitergeführt werden, bis die gewünschte detaillierte Auflösung erreicht ist. Mit jedem weiteren Bit ist eine Verdoppelung der Farbanzahl möglich. Daher wird die Farbtiefe auch Bittiefe genannt, da der Computer binär rechnet und die Farbanzahlmöglichkeiten somit durch Verdoppelungsstufen bestimmt werden. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, und 8 Bit ermöglichen somit 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 und 256 Farben beziehungsweise Farbabstufungen (Waldruff, 2004, S. 10).



Abbildung 10. 8 Bit, Graustufenbild mit 256 Farbstufen.

Ein Bild mit 24 Bit ermöglicht somit 16 Millionen Farben. Je größer die Farbtiefe, desto größer der Speicherbedarf. Wenn die Farbtiefe eines Bildes reduziert wird, also beispielsweise von 24 Bit RGB-Farben zu 256 Farben, wird eine Palette aus der Kombination der Farben erstellt, um die Originalfarbe jedes Pixels zu simulieren (Pender, 2012, S. 25).

3.3 Seitenverhältnis

Das Seitenverhältnis (Aspect Ratio) ist simpel gesagt das Verhältnis der Breite zur Höhe eines Bildes. In der Regel wird immer das Verhältnis der Breite zur Höhe angegeben, im Kino jedoch wird die Höhe zur Breite berechnet. Das liegt daran, dass sich die Größe der Leinwand in den Kinos seit Jahrzehnten nicht mehr geändert hat. Jedoch in der Fernsehgeschichte gab und gibt es verschiedene Formate mit unterschiedlichsten Seitenverhältnissen. Im Kino blieb das Bezugsmaß immer die Höhe, im Fernsehen wurde immer die Bildschirmbreite als Referenzwert betrachtet (C. A. Poynton, 2012, S. 3).

Bei Bildschirmen erfolgt die Angabe des Seitenverhältnisses meist als Bruch $N:M$, also dem Verhältnis Breite zur Höhe. Beispielsweise $16:9$, das Seitenverhältnis bedeutet eine Breite von 16 Teilen und eine Höhe von 9 Teilen. Im Kino wird $M:N$, also Höhe zu Breite verwendet (C. A. Poynton, 2012, S. 15).

3.3.1 Klassische Seitenverhältnisse

Das Ursprungsformat des Kinos und des 35-mm-Films ist $4:3$. Dieses Seitenverhältnis wurde über das Kino hinaus für den Fernsehmarkt genutzt. Beim analogen Fernsehen sowie beim deutschen PAL- und US-amerikanischen NTSC-Farbfernsehen war jahrzehntelang $4:3$ das einheitliche Format. Aufgrund damaliger technischer Neuerungen wurde ab 1990 das Format $16:9$ als neues Standardformat etabliert. Dieses Seitenverhältnis gilt bis heute als TV-Standard (C. A. Poynton, 2012, S. 5).

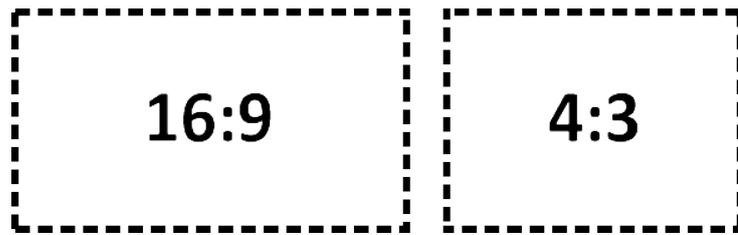


Abbildung 11. 16:9 versus 4:3.

3.3.2 Pixelseitenverhältnis

Das Pixel Aspect Ratio (PAR, Pixelseitenverhältnis) gibt das Verhältnis von Breite zu Höhe eines einzelnen Bildpunktes (Pixel) des Ausgabemediums an. Auf Computerbildschirmen sind Pixel standardmäßig quadratisch (PAR 1:1) (Weise, 2007, S. 124).

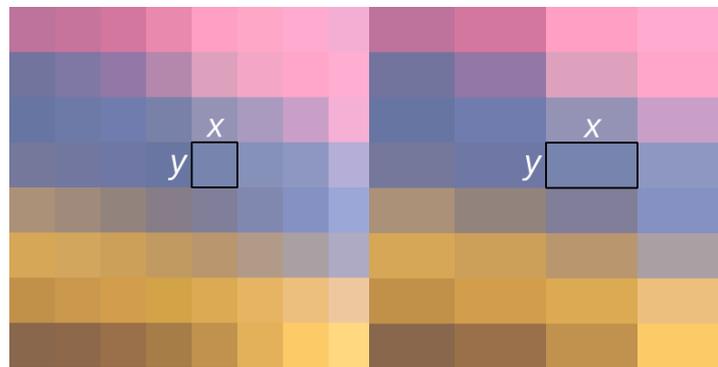


Abbildung 12. Pixelseitenverhältnis $x:y = 1:1$ und $x:y = 2:1$.

Das PAR ergibt sich aus der mathematischen Formel: $PAR = DAR / SAR$. DAR (Display Aspect Ratio) steht für das x/y -Verhältnis des darzustellenden Bildes, zum Beispiel 16:9. SAR (Storage Aspect Ratio) steht für das x/y -Verhältnis der gespeicherten Auflösung, also die Anzahl der Pixel, zum Beispiel 1920 x 1080 (C. A. Poynton, 2012, S. 5).

3.4 Bildwiederholungsrate

Die Bildwiederholungsrate (im englischen: Frame Rate) bezeichnet die Anzahl der Einzelbilder pro Sekunde, unabhängig von der Pixelanzahl. Sie repräsentiert die zeitliche Auflösung des Bildes, also wie schnell oder langsam das Bild gescannt oder wiedergegeben wird. Die Frame Rate variiert je nachdem mit wie vielen Bildern pro Sekunde das Video aufgenommen wurde, mit welcher Frameanzahl das Video bearbeitet wurde und mit wie vielen Bildern pro Sekunde das Video letztendlich finalisiert und zur Ansicht freigegeben wird. Einige Bildwiederholungsraten sind 23.98, 24, 25, 29.97, 30, 59.94 und 60fps (frames per seconds – Bilder pro Sekunde) (Weise, 2007, S. 128).

Schwarz-Weiß-Videos wurden immer mit 30 Bildern pro Sekunden gedreht. Als die Videoaufnahme in Farbe möglich wurde, musste die Abtastrate leicht verlangsamt werden und die Frame Rate wurde auf 29.97fps reduziert, um die zusätzliche Farbinformation aufzunehmen. Unter der Abtastrate wird die Abtastung eines zeitkontinuierlichen Signals in einer vorgegebenen Zeit verstanden (Weise, 2007, S. 128).

3.4.1 Conventional Definition Television (CDTV)

Als die digitalen Videostandards generiert wurden, definierte die ATSC bestimmte Standards. ATSC (Advanced Television Systems Committee) ist eine US-amerikanische Organisation die Standards für digitales Fernsehen festlegt. Im-NTSC System war die Standardbildauflösung für analoges Fernsehen 640 x 480 Pixel und 29.97 Bilder pro Sekunde. Die PAL-Standard Bildauflösung war 760 x 580 Pixel und 25 Bilder pro Sekunde (Weise, 2007, S. 129).

3.4.2 Digital Television Categories (DTV)

Das DTV entwickelte sich durch den Aufschwung von digitalen Medien und beinhaltet alle digitalen Videostandards. Es wird in zwei Unterkategorien unterteilt, nämlich Standard Definition Television (SDTV) und High Definition Television (HDTV) (Weise, 2007, S. 130).

3.4.2.1 Standard Definition Television

Das SD-Format ist das digitale Äquivalent vom originalen analogen Standard. Wenn ein CDTV-Signal zu einem digitalen Signal umgewandelt wird, wird es zu einem SDTV-Signal, jedoch innerhalb der DTV-Kategorie. Es handelt sich somit nicht um ein hochauflösendes Bild, da es weniger Bildinformationen und eine niedrigere Pixelanzahl als HDTV hat (Weise, 2007, S. 130).

3.4.2.2 High Definition Television

Der ursprüngliche HDTV-Standard war analog, da noch keine digitalen Fernsehsysteme genutzt wurden. Mit dem Aufkommen von digitalem Filmmaterial etablierte sich HDTV sofort in der digitalen Domain und dadurch wurde die Bildqualität stark verbessert. Es gibt einige unterschiedliche HDTV-Standards. Das liegt daran, dass verschiedene Länder und Hersteller begannen, ihre eigenen Standards einzuführen. Daher gibt es einige Unterschiede in den jeweiligen Standards, wie die Bildwiederholungsrate, die Pixelanzahl und das Seitenverhältnis (Weise, 2007, S. 130).

	Format	Horizontal Lines	Horizontal Pixels	Aspect Ratio	Scan Mode	Frame Rate (fps)
HDTV	1080p	1080	1920	16×9	Progressive	24
	1080p	1080	1920	16×9	Progressive	30
	1080i	1080	1920	16×9	Interlaced	30
	720p	720	1280	16×9	Progressive	24
	720p	720	1280	16×9	Progressive	30
	720p	720	1280	16×9	Progressive	60
EDTV	480p	480	704	16×9	Progressive	24
	480p	480	704	16×9	Progressive	30
	480p	480	704	16×9	Progressive	60
	480p	480	704	4×3	Progressive	24
	480p	480	704	4×3	Progressive	30
	480p	480	704	4×3	Progressive	60
	480p	480	640	4×3	Progressive	24
	480p	480	640	4×3	Progressive	30
	480p	480	640	4×3	Progressive	60
SDTV	480i	480	704	16×9	Interlaced	30
	480i	480	704	4×3	Interlaced	30
	480i	480	640	4×3	Interlaced	30

Abbildung 13. ATSC-Videostandards.

Die Spalte namens Horizontal Lines beinhaltet die Anzahl der Zeilen pro Bild und die Spalte Horizontal Pixel enthält die Anzahl der Pixel. Der Zusatz i steht für interlaced, also Bilder mit Zeilensprungverfahren und p bedeutet progressive, also ein Verfahren ohne Zeilensprung. Unter Frame Rate (fps) wird die Bildwiederholungsrate, also die Anzahl der Bilder pro Sekunde, gefunden und unter Aspect Ratio kann das Seitenverhältnis erfahren werden (Weise, 2007, S. 132).

3.5 Zeilensprungverfahren und Vollbildverfahren

Bei der Entwicklung des Fernsehens standen die Erfinder vor dem Problem, dass die Übertragungsfrequenz (UHF) nur eine bestimmte Menge an Informationen übertragen kann, die für 25 Bilder pro Sekunde ausreicht. Dabei kam es jedoch zu starkem Bildflimmern. Daher wurde das Zeilensprungverfahren erfunden, wobei das Vollbild in zwei Halbbilder geteilt wird. Somit kann der Bildschirm 50 Mal pro Sekunde beschrieben werden (statt 25 Vollbilder) und das abgespielte Bild flackert nicht (Lenz, 2000).

Beim Zeilensprungverfahren (im englischen: interlaced) wird ein Frame, also ein Bild, in zwei Felder gesplittet. Ein Feld davon beinhaltet die ungeraden Zeilen der

Information (Upper Field), während das andere die geraden Linien (Lower Field) des gescannten Bildes enthält. Wenn das Bild wiedergegeben wird, werden die zwei Felder wieder zusammengefügt und ergeben somit ein komplettes Bild (Weise, 2007, S. 126).

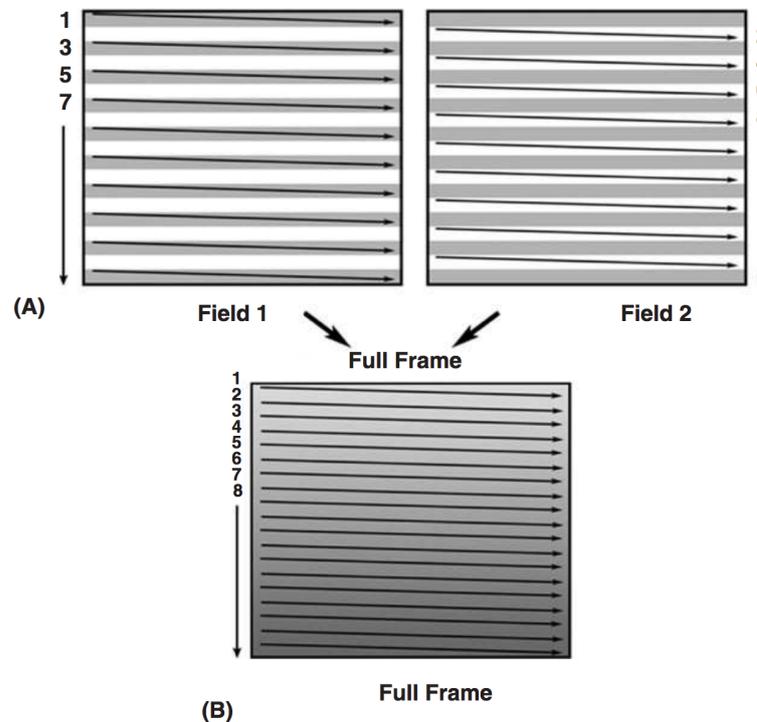


Abbildung 14. (A) Zeilensprungverfahren und (B) Vollbildverfahren.

Alle Fernseher und somit auch alle Fernsehproduktionen nutzen das Zeilensprungverfahren. Computerbildschirme hingegen nutzen eine nicht interlaced, beziehungsweise progressive Scanmethode, auch Vollbildverfahren genannt. Der Grund dafür ist, dass Computermonitore das Bild bis zu 72 Mal die Sekunde neu laden können. Diese Rate ist so hoch, dass keine Flicker-Probleme, ausgelöst durch elektrische Spannungsschwankungen in Stromnetzen, auftreten. Daher ist es nicht notwendig, die einzelnen Frames in zwei Felder aufzuteilen. Stattdessen wird das Bild von oben bis unten und Zeile für Zeile gescannt. Das komplette Frame wird bei jedem Scan erfasst und wiedergegeben (Weise, 2007, S. 126).

Die Details von progressiven Bildern sind um etwa 50% klarer als bei interlaced Bildern. Das liegt daran, dass Bilder mit dem Vollbildverfahren das gesamte Bild eines Videos beinhalten, während ein interlaced Bild zwei Momente des Bildes wiedergibt, jeweils in der halben Auflösung des gesamten Bildes (Weise, 2007, S. 126).

Computerbildschirme bieten somit eine höhere Darstellungsqualität als Fernseher, da in der digitalen Umgebung die limitierte Bandbreite eine wichtige Rolle spielt.

3.5.1 Vereinigung der Halbbilder – Deinterlacing

In bestimmten Fällen müssen Bilder mit Zeilensprungfahren in progressive Bilder umgewandelt werden, beispielsweise weil ein Videomaterial für das Internet genutzt wird oder bestimmte Formate keine Halbbilder zulassen (zum Beispiel MPEG-1).

Es gibt drei Methoden um Halbbilder zu Vollbilder zu vereinigen:

- Die zwei Felder, also Halbbilder, werden zusammengelegt. Hierbei entstehen oft kammartige Effekte.
- Die Teile, die sich bei beiden Halbbilder unterscheiden werden interpoliert. Das bedeutet, dass Mittelwerte gebildet werden.
- Das einfachste Verfahren ist, ein Halbbild wegzulassen, indem die Anzahl der Zeilen halbiert werden. Diese Methode empfiehlt sich besonders dann, wenn das Bild komprimiert werden soll.

Deinterlacing kann also nur mit Verlusten vorgenommen werden (Lenz, 2000).

4 Videokompression

Die Kompression ist der Prozess zur Reduzierung von Datenmengen indem redundante Informationen beseitigt werden. Dieser Vorgang reduziert die Bandbreite die benötigt wird, um Daten zu übertragen und vermindert den notwendigen Speicherplatz. Jeder Datentyp kann komprimiert werden, beispielsweise Video- und Audiodaten (Weise, 2007, S. 157).

In der Medienwelt gibt es einige verschiedene Standards der Videokompression die zum Teil sehr ähnlich sind und auch dieselben oder ähnliche Verfahren und Algorithmen verwenden, aber durch unterschiedliche Strukturen und Parameter verschiedenen Anforderungen gerecht werden. So gibt es beispielsweise bestimmte Kompressionsverfahren gezielt für das Internet oder das Fernsehen (Strutz, 2009, S. 273).

Die Kompression kann in zwei Arten unterteilt werden, nämlich die verlustfreie und die verlustbehaftete Kompression. In der verlustfreien Datenreduktion ist das wiederhergestellte Bild ein genaues Duplikat des Originales ohne jegliche Verluste. In der verlustbehafteten Kompression ist das wiederhergestellte Bild eine Annäherung des Originales, jedoch nicht ein exaktes Duplikat (Weise, 2007, S. 157).

4.1 Verlustfreie Kompression

Die verlustfreie Kompression zeichnet sich durch die komplette Wiederherstellung aller ursprünglicher Daten die im Originalbild enthalten waren aus. In der visuellen Welt eignet sich die Kompression besonders für Bilder, die große Mengen an wiederholt enthaltenen Informationen beinhaltet, wie beispielsweise ein blauer Himmel. Hierbei enthält das Bild eine große Fläche derselben Farbinformation, nämlich Blau. Die verlustfreie Kodierung entfernt fortlaufende Bereiche gleicher Farben. Das Verfahren ist jedoch bei digitalen Videos nicht sehr effektiv, da die Farben in diesen Bildern meist durch Verwischen dargestellt werden und nur wenige Bereiche flächiger Farben enthalten (Weise, 2007, S. 157).

Eine Art von verlustfreier Kompression, die häufig in Grafiken und Computer generierten Bildern (im englischen: Computer-Generated-Images, CGI)

verwendet wird, ist die Längenkodierung. Diese Bilder neigen dazu, aus großen Flächen von gleichen Farben oder wiederholten Mustern zu bestehen (Weise, 2007, S. 158).

4.1.1 Variable Längenkodierung (VLC – Variable Length Coding)

Bei der variablen Längenkodierung werden Daten mit einer festen Bitrate durch Symbole einer variablen Anzahl an Bit ersetzt. Die Häufigkeit an wiederkehrenden Symbolen ist somit relevant für die Kompression. Symbole die häufig wiederkehren, wie beispielsweise der Buchstabe e, werden mit wenigen Bit dargestellt. Buchstaben die seltener vorkommen bekommen mehr Bit zugewiesen (Weise, 2007, S. 158).

In der VLC werden den am wahrscheinlich öftesten vorkommenden Werten kurze Codewörter zugeordnet, wohingegen selten vorkommende Werte lange Codewörter zugeordnet bekommen. Die Längen der Codes sind somit umgekehrt mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der verschiedenen Symbole (Ghanbari, 2011, S. 40).

Es gibt zwei Arten von variabler Längenkodierung, die in den Standard-Videocodecs verwendet werden, nämlich die Huffman-Kodierung und die arithmetische Kodierung. Die Huffman-Kodierung ist eine einfache Methode, aber deren Kompression kann niemals so niedrig werden, weil die zugeordneten Symbole eine ganze Anzahl von Bit haben müssen, im Gegensatz zu der arithmetischen Kodierung (Ghanbari, 2011, S. 40).

Die Huffman-Kodierung wird in allen Standard-Codecs verwendet. Die arithmetische Kodierung hingegen beispielsweise für JPEG, JPEG2000, H.263 und H.264 (Ghanbari, 2011, S. 41).

4.1.1.1 Huffman-Kodierung

Die Huffman-Kodierung ist die am häufigsten bekannte VLC-Methode die auf Grundlage der Wahrscheinlichkeitstheorie basiert. Sie ordnet jedem Symbol einen Ausgabeencode zu, wobei die Ausgabeencodes jeweils 1 Bit lang sind oder wesentlich länger als das Eingabesymbol selbst, je nach Wahrscheinlichkeit. Die Codewörter müssen jedoch aus einer ganzzahligen Anzahl an Bit bestehen, was die Huffman-Kodierung suboptimal macht (Ghanbari, 2011, S. 40).

Wenn beispielsweise die Wahrscheinlichkeit eines Symbols bei 0,33 liegt, wäre die optimale Anzahl an Bit bei 1,6 Bit, aber die Huffman-Kodierung muss dem Code entweder 1 Bit oder 2 Bit zuweisen. In beiden Fällen wird es im Durchschnitt zu mehr Bit führen, als vor der Kodierung. Wenn die Wahrscheinlichkeit eines Symbolen sehr hoch ist, ist diese Art von Kodierung somit nicht optimal. Ein weiteres Beispiel wäre ein Symbol mit einer

Wahrscheinlichkeit von 0,9, die optimale Codegröße wäre 0,15 Bit, aber die Huffman-Kodierung weist jedem Symbol einen Minimalwert von einem 1 Bit Code zu, der mehr als sechs Mal größer ist als notwendig (Ghanbari, 2011, S. 40).

Um den Huffman-Code für Symbole mit einer bekannten Eintrittswahrscheinlichkeit zu erzeugen, müssen folgende Schritte durchgeführt werden:

- Platzierung aller Symbole in einer Reihenfolge aufgrund ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit.
- Nacheinander werden alle zwei Symbole mit der geringsten Wahrscheinlichkeit zusammengefasst, um ein neues zusammengesetztes Symbol zu bilden. Es wird eine Art Baum-Grafik erstellt, wobei jeder Knoten die Wahrscheinlichkeit aller darunterliegenden Knoten ist.
- Es wird ein Pfad zu jedem Blatt gezeichnet und die Richtung zu jedem Knoten notiert.

(Ghanbari, 2011, S. 40)

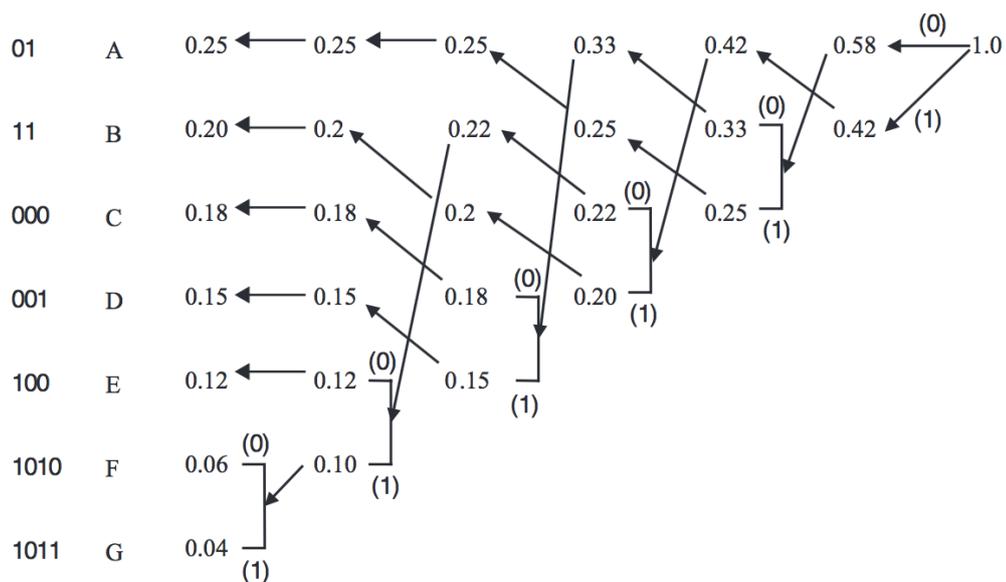


Abbildung 15. Huffman-Kodierung Beispiel A – G.

Bei dem Hoffman-Kodierungsbeispiel (Abbildung 15) werden die Buchstaben A bis G als Symbole genutzt. Die zweite Spalte zeigt somit den jeweiligen Buchstaben. Rechts daneben wird die Wahrscheinlichkeit des Symboles aufgelistet. Ganz links ist der zugewiesene Code zu sehen. In der vierten Spalte werden die beiden kleinsten Wahrscheinlichkeiten addiert, nämlich F und G und die kombinierte Wahrscheinlichkeit wird dann in der nächsten Spalte notiert. Diese Prozedur zieht sich bis zur letzten Spalte. Ausgehend von der letzten Spalte wird für jeden Zweig der Wahrscheinlichkeit eine 0 oberhalb und eine 1 unterhalb zugewiesen. Das entsprechende Codewort (das bereits in der ersten

Spalte ersichtlich ist) wird anschließend von rechts nach links abgelesen (Ghanbari, 2011, S. 41).

Die durchschnittliche Anzahl an Bit per Symbol ist nun:

$$0,25 \times 2 + 0,20 + 0,18 \times 3 + 0,15 \times 3 + 0,12 \times 3 + 0,06 \times 4 + 0,04 \times 4 = 2,65 \text{ Bit.}$$

Bei einer großen Anzahl an Symbolen, wie beispielsweise bei den Werten von DTC-Koeffizienten, kann es bei selten auftretenden Werten zu lange Folgen von Bit kommen, was unpraktisch ist. Unter DCT wird die Diskrete Cosinustransformation verstanden, die bei verlustbehafteter Videokompression verwendet wird. In solchen Fällen wird normalerweise eine Gruppe von Symbolen durch Aggregatwahrscheinlichkeiten der Symbole dargestellt und die kombinierten Wahrscheinlichkeiten werden dann Huffman-kodiert, der sogenannte modifizierte Huffman-Code. Diese Methode wird bei JPEG verwendet. Ein anderes Verfahren, das bei H.261 und MPEG verwendet wird, ist die zweidimensionale Huffman-Kodierung (Ghanbari, 2011, S. 42).

4.1.1.2 Arithmetische Kodierung

Die **arithmetische Kodierung** ist eine Datenkomprimierungstechnologie die Daten kodiert, indem sie eine Codefolge erzeugt, die einen Bruchwert zwischen 0 und 1 darstellt. Es fördert eine klare Trennung zwischen dem Modell zur Darstellung von Daten und die Enkodierung der Information in Bezug auf dieses Modell. Ein weiterer Vorteil dieser Kodierung ist, dass jedes Symbol nicht in eine ganzzahlige Anzahl an Bit übersetzt werden muss, wodurch effizienter kodiert wird. Die arithmetische Kodierung ist somit eine praktische Methode zur Implementierung der Entropiekodierung (Ghanbari, 2011, S. 42).

Es werden zwei Arten der Modellierung unterschieden, nämlich das feste und das adaptive Modell. Die Modellierung ist eine Möglichkeit, um in jedem gegebenen Kontext die Verteilung der Wahrscheinlichkeiten für das nächste zu kodierende Symbol zu berechnen. Eine adaptive Kodierung ist erforderlich, wenn sich die Eingangsdatenquelle während der Kodierung aufgrund von Bewegung und Textur ändert (Ghanbari, 2011, S. 43).

Im festen Modell kennen der Encoder und Decoder die zugewiesene Wahrscheinlichkeit. Diese Methode ist dann wirksam, wenn die Eigenschaften der Datenquelle dem des Modells nahe sind und wenig Fluktuation herrscht (Ghanbari, 2011, S. 43).

Im adaptiven Modell können sich die zugeordneten Wahrscheinlichkeiten ändern, wenn jedes Symbol auf der Grundlage der bisherigen Symbolfrequenzen kodiert wird. Das Modell aktualisiert die Verteilung so, dass die Vorhersage des Symbols in der Nähe der realen Verteilungsmittel liegen sollte, wodurch der Weg vom

Symbol zur Wurzel kürzer wird. Die arithmetische Kodierung hat eine wichtige Rolle in der Videokodierungstechnik (Ghanbari, 2011, S. 43).

4.1.2 Lauflängenkodierung (RLE – Run Length Encoding)

Die Lauflängenkodierung ist vom Ansatz her vergleichbar mit der variablen Längenkodierung. Die Grundidee ist, jede Sequenz von identischen Symbolen durch deren Anzahl und gegebenenfalls das Symbol zu ersetzen. Das heißt, es werden nur Stellen markiert, an denen sich das Symbol der Nachricht ändert. Besonders bei langen Wiederholungssequenzen kann erheblich Speicherplatz eingespart werden. Je kürzer die Wiederholung, desto geringer die Einsparung (Weise, 2007, S. 158).

Bei der Lauflängenkodierung handelt es sich um eine verlustfreie Komprimierung. Da ein Datenstrom aus Zeichen besteht, ist es sinnvoll mehrfach hintereinander vorkommende Zeichen zusammenzufassen. Beispielsweise lautet eine Zeichenkette 2333155555559022. Nach dem RLE-Verfahren lautet die Kette nur noch 233317x59022. Das bedeutet, wenn ein Zeichen mehr als drei Mal in einer Kette steht, wird es zusammengefasst (Biebeler, 2013, S. 12).

Ein weiteres Beispiel wäre eine gescannte Zeile die eine Reihe von schwarzen (B) und weißen (W) Pixel beinhalten: WWWWWWWWWBWWWWWBWBWBWB.

Die Lauflängenkodierung würde diesen Abschnitt als 10W1B5W2B2W3B kodieren. Statt 23 Buchstaben müssen lediglich 13 Symbole gespeichert werden.

In Abbildung 16 ist ein weiteres Beispiel zur Lauflängenkodierung zu sehen. Hierbei werden die gleichfarbigen Quadrate zusammengefasst. In diesem Beispiel ist eine Datenreduktion bis zu 11% möglich.

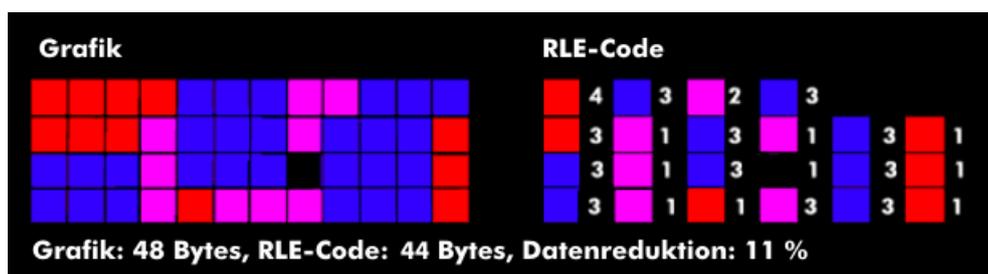


Abbildung 16. Beispiel zur Lauflängenkodierung.

4.2 Verlustbehaftete Kompression

Videomaterial eignet sich nicht für die verlustfreie Kompression. Der Grund dafür ist, dass es selten genug lange Lauflängen desselben Pixelwertes gibt, um den

maximalen Wirkungsgrad zu erzielen. Daher handelt es sich bei Videomaterial meist um eine verlustbehaftete Kompression (Weise, 2007, S. 158).

Bei der verlustbehafteten Kompression ist das wiederhergestellte Bild eine ähnliche Wiedergabe des Originalen. Wenn ein verlustbehaftetes Bild reproduziert wird, werden nicht alle Daten des Bildes genauso wiederhergestellt, wie sie einst waren. Um den sichtbaren Verlust zu reduzieren, komprimieren die Kompressionsverfahren eher die Bereiche, die vom menschlichen Auge weniger oder schlechter wahrgenommen werden oder Bereiche die weniger kritische beziehungsweise detaillierte Bilddaten enthalten (Weise, 2007, S. 158).

Das menschliche Auge reagiert außerdem sensibler auf wechselnde Lichtverhältnisse oder Helligkeit, als auf Farbwechsel, also Farbton und Sättigung. Innerhalb der Farbskala ist das Auge empfindlicher für den Gelb-Grün-Blauen Bereich und es reagiert mehr auf Gegenstände in Bewegung, als auf stille Bilder. Zwei häufig verwendete Kompressionsverfahren sind JPEG und MPEG (Weise, 2007, S. 158).

1988 wurde das Format MPEG (Moving Pictures Experts Group) entwickelt. Das Ziel war die Definition eines Standards, um digitale Videodaten in Echtzeit wiederzugeben und zwar für CD-ROM-Applikationen mit einer Bitrate von 1,5 Mbit/s. Neben der Bildsequenzkompression war auch die Kompression der Audiodaten relevant (Strutz, 2009, S. 273).

Wie viel Datenmenge verloren geht, hängt vom Grad der Komprimierung ab (Biebeler, 2013, S. 12).

4.3 Redundanzreduktion

Videodateien enthalten in der Regel Redundanz die verwendet werden kann, um die Datenmenge, die gespeichert werden soll, zu reduzieren. Unter Redundanz wird die überflüssige Information einer Datei verstanden. Das kann durch die Feststellung der Unterschiede innerhalb eines Bildes (intraframe) oder zwischen zwei oder mehr Bildern (interframe) passieren. Statt der gesamten Information jedes Bildes wird die Redundanz gespeichert (Weise, 2007, S. 159).

Die gängigen Standard-Videocodecs wie H.261, H.263, H.264 und MPEG-1, MPEG-2 und MPEG-4 basieren auf den folgenden drei Redundanzreduktionsprinzipien: räumliche und zeitliche Redundanzreduktion, sowie der Entropiekodierung (Ghanbari, 2011, S. 25).

4.3.1 Intraframe-Kompression / Räumliche Redundanzreduktion

Die Intraframe-Kompression nutzt die räumliche Redundanz oder die Wiederholung von Daten innerhalb eines Bildes, um Daten die weggeworfen werden können, zu definieren. Das Verfahren vergleicht somit nur die Information innerhalb eines Bildes (Weise, 2007, S. 159).

Die Daten jedes einzelnen Frames in einem Clip werden komprimiert und diese Kompression ist immer verlustbehaftet. Die räumliche Komprimierung wird durch eine Technik namens Subsampling (Unterabtastung) erreicht (Weise, 2007, S. 159).

4.3.1.1 Subsampling

Beim Subsampling werden die Anzahl der Bit, die gebraucht werden um das Bild zu beschreiben, reduziert, indem nur die Pixel gespeichert werden, die das Bild zusammensetzt. Beispielsweise wenn jeder zweite Pixel einer Reihe vollständig ignoriert werden kann, werden die Pixel, die beibehalten werden, in der Größe so erhöht, damit sie die weggelassenen Pixel kompensieren (Weise, 2007, S. 159).

Auf Abbildung 17 ist eine Intraframe-Kompression sichtbar. Es werden lediglich die Pixel behalten, die das Bild zusammensetzen. Unnötige Pixel können entfernt werden und die übriggeblieben werden skaliert, um die verlorenen Pixel zu ersetzen, rechts in Abbildung 17 zu sehen.



Abbildung 17. Intraframe Kompression.

Eine weitere Sub-Sampling-Strategie ist die Verwendung des Durchschnittswertes einer bestimmten Gruppe von Pixel. Der Durchschnittswert ersetzt den eigentlichen Wert des Pixels. Eine Alternative zum Reduzieren der Anzahl an Pixel wäre, die Menge an Information pro Pixel zu reduzieren. Dies verringert jedoch auch die Anzahl der Farbabstufungen und Grautönen eines Bildes (Weise, 2007, S. 159).

Videos bestehen im Prinzip aus drei Dimensionen. Zwei davon, nämlich die räumlichen Richtungen des Bewegtbildes, also horizontal und vertikal, verbinden sich mit der dritten Dimension, der Zeit. Die Bewegungskompensation wird der zeitlichen Kompression zugeordnet und mit der räumlichen Kompression wird die

Kompression ähnlicher Pixel in horizontale und/oder vertikale Richtung durchgeführt (Biebeler, 2013, S. 12).

4.3.2 Interframe-Kompression / Zeitliche Redundanzreduktion

Die Interframe-Kompression vergleicht die unveränderten Teile von aufeinanderfolgenden Bildern, also von Frame zu Frame. Einfache Objektbewegungen von einem Bild zum nächsten oder Lichtveränderungen können als ähnliche Information zwischen Frames gespeichert werden (Weise, 2007, S. 161).

Hierbei werden nur die Daten der Frames gespeichert die Änderungen enthalten, um die für die Darstellung jedes Frames im Clip benötigte Datenmenge zu reduzieren. Beispielsweise ein Video mit sehr wenig Bewegung und somit relativ hohem Anteil an Wiederholungen eines Frames zum Nächsten ist gut geeignet für diese Komprimierung. Das Verfahren speichert die Daten aus bestimmten Key-Frames und lässt die restlichen Daten außer Acht. Unter Key-Frame wird ein Basisbild verstanden, mit dem die anderen Frames auf Unterschiede verglichen werden (Reichard, 2009).

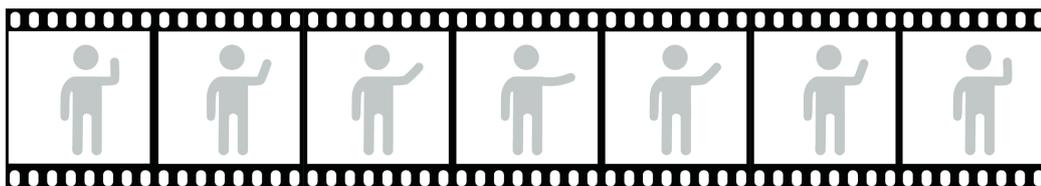


Abbildung 18. Intraframe-Kompression: jeder Frame ist individuell enkodiert.

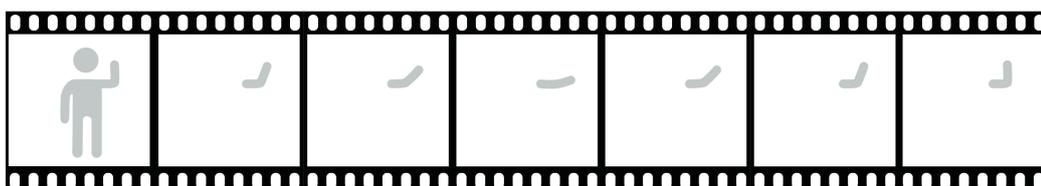


Abbildung 19. Interframe-Kompression: nur Unterschiede werden enkodiert.

4.4 Irrelevanzreduktion

Die Irrelevanzreduktion lässt die Informationen bei der Übertragung aus, die für die Senke nicht relevant sind. Die Reduktion berücksichtigt die physiologischen Eigenheiten der menschlichen Seh Wahrnehmung und verwirft gezielt Informationen, damit die entstehenden Störungen für den Betrachter möglichst nicht sichtbar sind. Es handelt sich dabei um eine verlustbehaftete Kompression, da Informationen verloren gehen. Da die räumliche Auflösung von Farbwahrnehmung schlechter ist als die Auflösung von Helligkeitsunterschieden,

ist es möglich die Auflösung der Farbinformation zu verringern, ohne starke Unterschiede für die Konsumentin und den Konsumenten sichtbar werden zu lassen. Dabei handelt es sich um die Farbunterabtastung, auch Chroma Subsampling genannt (Bovik, 2010, S. 778).

4.4.1 Chroma Subsampling / Farbunterabtastung

Das **Chroma Subsampling** bezeichnet die Datenreduktion, bei der Helligkeit (Luminanz) mit Farbigkeit (Chrominanz) verglichen wird. Das Verfahren ist deswegen so effektiv, weil das menschliche Auge Unterschiede in der Helligkeit eines Bildes mehr wahrnimmt als Unterschiede bei Farbanteilen. Soll ein Bild in seiner physikalischen Größe reduziert werden, so wird eher in der Chrominanz reduziert als in der Luminanz (Biebeler, 2013, S. 13).

Es existieren verschiedene Formen der Farbunterabtastung, welche das Subsampling der Farbsignale als Relation zum Helligkeitssignal beschreiben. Dazu werden üblicherweise drei Zahlen benutzt: $A : B : C$. Die erste Ziffer A steht für die Luminanzkomponente. B steht für die Abtastrate der beiden Farbkanäle C_b und C_r . Die dritte Ziffer C beschreibt denselben Wert wie B , jedoch für die untere Pixelreihe des Pixelblocks. Manchmal wird im Bezeichnungsschema eine vierte Ziffer beziehungsweise Zahl angegeben. Dabei handelt es sich um das Abtastatenverhältnis eines mitübertragenen Alphakanals (C. Poynton, 2002).

4:4:4 RGB: Hierbei handelt es sich um ein reines RGB-Format ohne jegliche Farbreduktionen. Im RGB-Farbraum ist aufgrund der fehlenden Trennung zwischen Helligkeits- und Farbinformation grundsätzlich keine Farbunterabtastung möglich (Biebeler, 2013, S. 13).

4:4:4 $Y C_b C_r$: Alle drei Kanäle (Y , C_b und C_r) haben dieselbe Abtastrate. Anwendungen von 4:4:4 liegen im Bereich der hochwertigen digitalen Bildverarbeitung, wie bei Kinofilmen (Biebeler, 2013, S. 13).

4:2:2: In diesem Fall sind die beiden Chrominanzkomponenten in ihrer Abtastfrequenz halbiert. Diese Reduktion ist nahezu nicht sichtbar und sehr hochwertig. Diese Art der Farbunterabtastung kommt ursprünglich aus dem analogen Farbfernsehstandard NTSC (Biebeler, 2013, S. 13).

4:2:0: Bei dieser Variante ist die Chrominanz im Vergleich zur Luminanz halbiert, jedoch werden C_b und C_r nicht mehr gleichzeitig, sondern hintereinander dargestellt. Es kommen somit leicht versetzte Abtastpunkte des Farbsignals vor. Das Format wird bei digitalen Bildern im JPEG-Standard oder bei digitalen Videomaterial im MPEG-Standard verwendet. Bei JPEG wird zentrisch abgetastet, bei MPEG in gleicher vertikaler Ausrichtung wie das Helligkeitssignal. Das PAL-Format (DV25-PAL) nutzt auch das 4:2:0-Verfahren (Biebeler, 2013, S. 13).

4:1:1: Die Chrominanz-Samplefrequenzen werden geviertelt. Somit ist dieses Verfahren ähnlich zu 4:2:2, jedoch die Farbkanäle in horizontaler Richtung werden nur mit $\frac{1}{4}$ der Abtastrate des Helligkeitssignals abgetastet. Diese Methode wird hauptsächlich bei NTSC verwendet und war ursprünglich nicht für den professionellen Einsatz gedacht (Biebeler, 2013, S. 13).

In Abbildung 20 werden die 4:4:4, 4:2:2 und 4:2:0 Verfahren grafisch dargestellt.

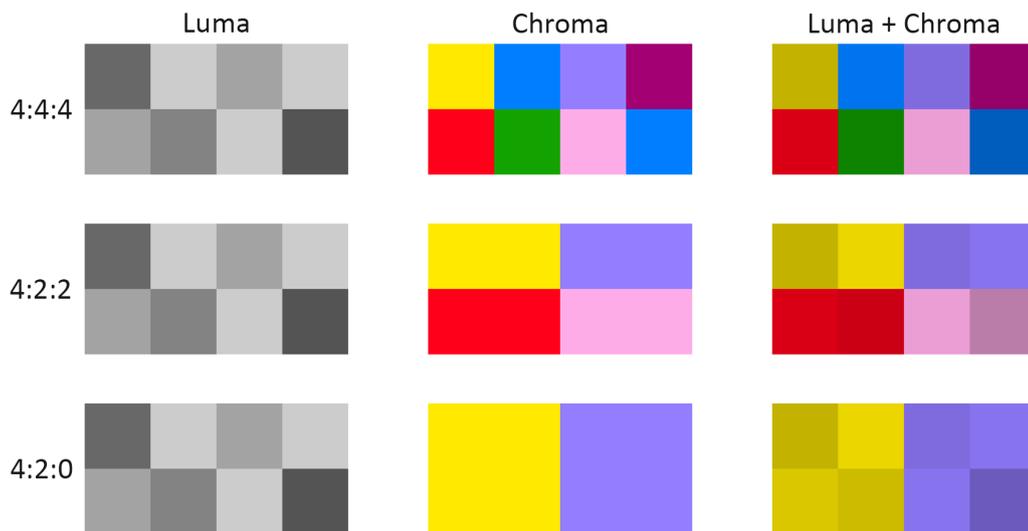


Abbildung 20. Chroma Subsampling.

4.5 Standard Interframe Videocodec

In Abbildung 21 ist ein typischer Encoder zu sehen, der in allen Standard Videocodecs wie H.261, H.263, H.264, MPEG-1, MPEG-2 und MPEG-4 verwendet wird (Ghanbari, 2011, S. 54).

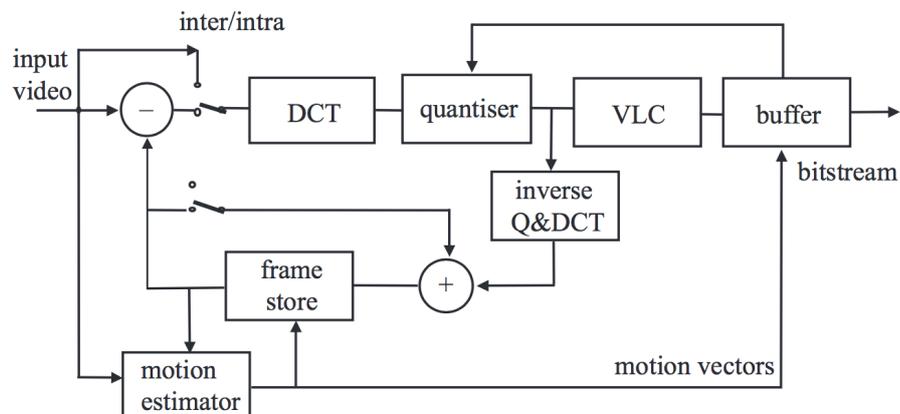


Abbildung 21. Standard Encoder.

Bei diesem Beispiel handelt es sich um eine Interframe-Kodierung, bei der die Unterschiede zwischen dem aktuellen und dem darauffolgenden Frame kodiert und übertragen werden. Beim Empfänger, nachdem jeder Pixel dekodiert wurde, wird ein ähnlicher Vorhersage-Wert hinzugefügt, um das Bild zu rekonstruieren. Je besser der Prädiktor, desto kleiner ist das Fehlersignal und die Übertragungsbitrate. Im Folgenden wird das Verfahren dieses Beispiels genauer erklärt (Ghanbari, 2011, S. 54).

4.5.1 Motion Estimator

Beim Motion Estimator (Bewegungsschätzer, ME) wird eine Gruppe von Pixel kompensiert, da die Zuordnung eines Bewegungsvektors zu jedem Pixel sehr kostspielig wäre. Bei einem Standard-Codec wird ein Block von 16 x 16 Pixel gebildet, der als Makroblock (MB) bezeichnet wird. Dann wird eine Bewegung geschätzt und kompensiert. Der ME führt dieses Verfahren jedoch nur bei den Luminanzteilen durch (Ghanbari, 2011, S. 54).

4.5.2 Inter / Intra Switch

Jeder Makroblock wird entweder interframe oder intraframe kodiert, je nach Kodierungsverfahren (Ghanbari, 2011, S. 55).

4.5.3 DCT

Die Diskrete Cosinus Transformation wird auf quadratische Teilbereiche eines Bildes angewendet und arbeitet auf Basis einzelner Bildpixel. Es wird das Bildsignal vom Orts- und Frequenzbereich transformiert. Jeder Bildausschnitt mit $N \times N$ Pixel resultiert in $N \times N$ Koeffizienten. Hohe Frequenzen repräsentieren im Ortsbereich feine Bildstrukturen, niedrige Frequenzen dagegen homogene Flächen (Schmitz u. a., 2006, S. 32).

In diesem Beispiel wird jeder Makroblock in 8 x 8 Luminanz- und Chrominanz-Pixelblöcke unterteilt. Jeder Block wird anschließend über den DCT transformiert. Pro Makroblock gibt es vier Luminanzblöcke, jedoch ist die Anzahl der Chrominanzblöcke von der Farbauflösung, also dem Bildformat, abhängig (Ghanbari, 2011, S. 55).

4.5.4 Quantiser

Quantiser ist die englische Bezeichnung für die Quantisierung. Die Quantisierung ist eine weitere und sehr einfache Methode zur Datenreduktion. Statt der Bitratenreduktion durch Weglassen von Bildinformation, wird hierbei die Genauigkeit reduziert mit der die Bilder abgespeichert werden. Es wird in skalare

Quantisierung und Vektorquantisierung unterschieden (Schmitz u. a., 2006, S. 30).

Die skalare Quantisierung ordnet jedem Signalwert einen quantisierten Wert zu, nämlich aus einer endlichen Wertemenge. Die Zuordnung erfolgt hierbei im einfachsten Fall linear. Alle Signalwerte (im englischen: Samples) werden auf denselben quantisierten Wert abgebildet, wodurch es zur verlustbehafteten Datenkompression kommt. Es können auch bestimmte Werte stärker quantisiert werden, um beispielsweise die Einschränkungen menschlicher Wahrnehmung auszunutzen. Dies wird als nichtlineare Quantisierung bezeichnet (Schmitz u. a., 2006, S. 30).

Wie bei der skalaren Quantisierung kommt es auch bei der Vektorquantisierung zu einer verlustbehafteten Kompression. Die Datensätze werden in Merkmalsvektoren zusammengefasst und diese werden dann denjenigen Vektoren einer Tabelle zugeordnet, der dem betrachteten Merkmalsvektor am ähnlichsten ist. Anstatt alle Daten des Merkmalsvektors zu speichern, wird nur der Index dieses ähnlichsten Vektors benötigt. Im ersten Schritt wird die Tabelle der häufig vorkommenden Merkmalsvektoren erstellt, im zweiten Schritt wird für weitere Vektoren jeweils der Tabellenvektor mit dem geringsten Abstand bestimmt (Schmitz u. a., 2006, S. 30).

4.5.5 VLC / Variable Length Coding

Dieser Abschnitt behandelt das Thema der bereits erwähnten variablen Längenkodierung, welche im Kapitel 4.1.1 *Variable Längenkodierung* beschrieben wird.

4.5.6 IQ und IDCT

IQ (Inverse Quantization) steht für das umgekehrte Verfahren und IDCT (Inverse Diskrete Cosinustransformation) steht für das umgekehrte Verfahren, also dem Errechnen von Bildpunkten aus den DCT-Koeffizienten (C. Poynton, 2002, S. 459).

4.5.7 Konstante und variable Bitrate

Unter Bitrate wird die Ausgabemenge von Informationseinheiten im Verhältnis einer Datenmenge zu einer Zeit verstanden. Gemessen wird in Bit pro Sekunde. Die Bitrate einer Kompression kann entweder konstant (konstante Bitrate, CBR) oder variabel sein (variable Bitrate VBR) (C. A. Poynton, 2012, S. 531).

Bei der CBR werden die Daten mit einer konstanten Datenrate übertragen und gespeichert, unabhängig von der Komplexität des Signals. Pro Zeiteinheit wird somit immer die gleiche Datenmenge erzeugt (Ghanbari, 2011, S. 57).

Bei der VBR wird die Bitrate dynamisch an die zu kodierende Daten angepasst, beispielsweise bei der MPEG-Videokompression wird bei ruhigen Szenen die Videobitrate reduziert und bei aktionsreichen Szenen angehoben. Somit ist eine optimale Nutzung des Speicherplatzes möglich, inklusive hoher Bildqualität. Konstante Bitraten werden häufig bei Multimedia-Streams gefunden, da die Übertragungskapazitäten begrenzt sind und durch CBR ist es möglich die Gesamtbithrate zu begrenzen und somit die maximal mögliche Qualität zu erzielen. Stream bedeutet die Übertragung und Wiedergabe eines Signales (Ghanbari, 2011, S. 57).

4.5.8 Durchschnittliche Bitrate

Die durchschnittliche Bitrate (im englischen: Average Bit Rate, ABR) ist eine Kompressionsmethode, bei der das Material mit einer variablen Bitrate kodiert wird, um den vorhandenen Speicherplatz effizient zu nutzen. Manche Codecs bieten einen Kompressionsvorgang mit zwei Durchläufen an, um die gewünschte durchschnittliche Bitrate möglichst exakt zu erreichen. Die ABR ist ähnlich der variablen Bitrate, jedoch orientiert sich die durchschnittliche Bitrate im Gegensatz zur VBR an eine vorgegebene Bitrate, um so die resultierende Datengröße besser berechnen zu können (Ghanbari, 2011, S. 57).

4.6 Videokompression mit MPEG

4.6.1 MPEG-1

MPEG-1 ist die erste Generation der von Motion Picture Experts Group (MPEG) veröffentlichten Videocodecs und ist als Standard zur Speicherung von Videomaterial gedacht, wie beispielsweise auf CDs oder optischen Laufwerken. Es wurde nach einer effizienteren Methode zur Speicherung auf anderen Speichermedien als Videokassetten gesucht. CD-ROMs haben eine Kapazität von 648 Mbytes und somit sind sie geeignet Filme, mit einer Rate von etwa 1,2 Mbit/s, unterzubringen. An diese Werte sollte sich der MPEG-1 Standard anpassen (Ghanbari, 2011, S. 149).

MPEG-1 basiert auf progressive Bilder und kann kein interlaced Material wiedergeben. Daher werden interlaced Bilder deinterlaced bevor sie kodiert werden können. Nach dem Dekodieren kann das Material zurückkonvertiert werden zu einem interlaced Format (C. A. Poynton, 2012, S. 157).

H.261 sowie MPEG-1 sind Standards die für relativ niedrige Bitratenkodierung in der räumlichen Redundanzreduktion definiert wurden. Diese Codecs geben keinerlei Information über den Encoder oder Decoder. Sie sind zuständig für die Produktion eines dekodierbaren Bitstroms (im englischen: bitstream). Ein

Bitstrom ist eine Sequenz von Bit von unbestimmter Länge in zeitlicher Abfolge (Ghanbari, 2011, S. 150).

4.6.1.1 Bilderordnung / I-, P- und B-Frames

Aufgrund der hocheffizienten Kodierung schlug MPEG vor, dass alle Bilder einer Videosequenz nicht in gleicher Weise umgesetzt werden sollten. Es wurden drei Arten von Bildern in einer Videosequenz geschaffen (Ghanbari, 2011, S. 152).

- Der erste Typ heißt *I-Frame* (Intra Codec Picture): Dabei handelt es sich um ein unabhängiges Bild, das keinen Verweis auf andere Bilder braucht um dekodiert zu werden, sondern das ohne Bezug auf das vorhergehende Bild kodiert ist. Diese Bilder sind intraframe kodiert.
- Der zweite Typ ist das *P-Frame* (Predictive Codec Picture; differenzkodierte Einzelbilder), das mit Bezug auf die vorherigen I- oder P-kodierten Bilder voraussagend kodiert wird. Sie selbst werden als Referenz genutzt, um zukünftige Bilder zu kodieren. Somit speichert das P-Bild die Differenzinformationen aus dem vorhergehenden I- oder P-Bild. Die Kodierung dieser Bilder ist sehr ähnlich der H.261-Kompression.
- Der dritte Typ wird *B-Frame* (Bidirectional Coded Picture; bidirektional Differenzkodierte Einzelbilder) genannt. Diese Art von Frames kann Bilder aus der Vergangenheit, Zukunft oder eine Kombination aus beiden zur Vorhersage verwenden. Es enthält somit Differenzinformationen aus dem vorhergehenden und/oder nachfolgenden I- oder P-Bild.

(Ghanbari, 2011, S. 152)

Der Nutzen von I-, P- und B-Frames erhöht den Bewegungskompensationswirkungsgrad, da verschlossene Teile von sich bewegenden Objekten aus dem zukünftigen Frame besser kompensiert werden können. B-Frames werden nie für Vorhersagen verwendet. Grund dafür ist, dass wenn ein grob kodiertes Bild als Vorhersage verwendet wird, die Kodierungsverfälschungen auf das nächste Frame übertragen werden. Dieser Frame benötigt dann mehr Bit, um die vom vorigen Bild übernommenen Verzerrungen zu löschen und somit kann dies zu einer Gesamtbitratesteigerung statt zur einer Abnahme führen. Da B-Frames nicht zur Vorhersage von zukünftigen Frames verwendet werden, können diese mit der höchsten Kompression kodiert werden und das ohne Nebenwirkungen (Ghanbari, 2011, S. 153).

Tabelle 2 bietet eine tabellarische Übersicht der I-, P-, B- und D-Frames.

Bildtyp	Zweck	Kompression
I-Frame	Ein I-Frame entspricht einem Standbild und dient als Anker für den wahlfreien Zugriff.	Geringe Kompression
P-Frame	P-Frames benötigen Informationen von vorhergehenden I- oder P-Frames.	Größere Kompression als I-Frame
B-Frame	B-Frames sind abhängig vom vorhergehenden und folgenden I- und P-Bildern.	Größte Kompression
D-Frame	D-Bilder dienen ausschließlich dem schnellen Vorlauf	

Tabelle 2. Definition I-, P-, B- und D-Frame.

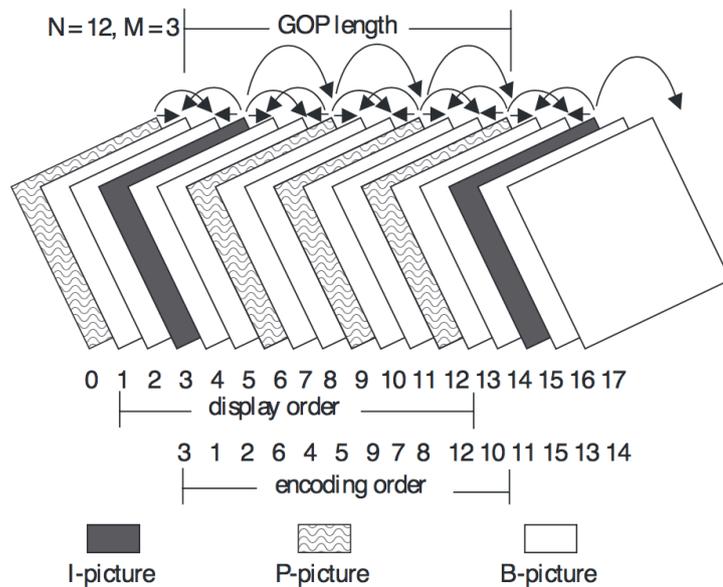


Abbildung 22. MPEG-1 Group of Picture Beispiel.

Abbildung 22 zeigt die Beziehung zwischen den drei Bildtypen. Da B-Frames die I- und P-Frames zur Vorhersage verwenden, müssen sie später kodiert werden. Dies erfordert eine Neuordnung der eingehenden Bildreihenfolge (Ghanbari, 2011, S. 153).

Es gibt einen vierten, für die Kompression nicht relevanten, Bildtyp, der D-Frame (direct coded picture). Dieser ist intraframe kodiert, wobei die DCT-Koeffizienten beibehalten werden. Die Bildqualität ist somit vergleichsweise schlecht. Diese Bilder werden normalerweise für Anwendungen wie beispielsweise das schnelle Vorwärtsspulen verwendet. D-Bilder sind nicht Teil der GOP (Group of Pictures),

da sie nicht in einer Sequenz vorhanden sind, in der andere Bildtypen vorkommen (Ghanbari, 2011, S. 153).

4.6.1.2 Videostruktur

4.6.1.2.1 Group of Pictures

Da im H.261-Standard aufeinanderfolgende Frames sehr ähnlich kodiert sind, ist ein bestimmtes Bild, die oberste Ebene der Kodierungshierarchie. In MPEG-1, aufgrund der Existenz mehrere Bildtypen, ist eine Bildergruppe, die sogenannte *Group of Pictures*, die höchste Stufe der Hierarchie. Ein GOP ist eine Serie von einem oder mehreren Bildern, um den zufälligen Zugriff in die Bildsequenz zu unterstützen. Das erste kodierte Bild in der Gruppe ist ein I-Frame (Ghanbari, 2011, S. 154).

Bei MPEG-1 muss die Bildergruppe in der Darstellungsreihenfolge immer mit einem I- oder B-Frame beginnen und mit einem I- oder P-Bild aufhören. Dazwischen dürfen beliebig viele I-, P- und B- Frames verwendet werden. Die GOP-Länge wird normalerweise als der Abstand zwischen I-Frames definiert, der als Parameter N in den Standard-Codecs dargestellt wird (C. A. Poynton, 2012, S. 153).

Der Abstand zwischen I/P- und P-Frames wird durch den Parameter M definiert. Die GOP kann eine beliebige Länge haben, sollte aber zumindest ein Intra-Frame pro Bildergruppe enthalten. Anwendungen die einen zufälligen Zugriff oder schnelles Vorspulen benötigen, sollten eine kurze GOP verwendet (Ghanbari, 2011, S. 154).

4.6.1.2.2 Das Bild

Alle drei Hauptbildtypen I, P und B haben die gleiche SIF-Größe im 4:2:0 Format. SIF (im englischen: Source Input Format) ist ein Format, das zur Speicherung von digitalem Videomaterial kreiert wurde. Dabei wird zwischen zwei Formaten unterschieden. Erstens dem 625/50 SIF-Format, das im PAL Verwendung findet sowie dem 525/59,94 SIF-Format, das für NTSC relevant war. Im SIF-625-Format hat jeder Luminanzbereich jedes Frames 360 Pixel, 288 Zeilen und 25 Hz und jeder Chrominanzbereich 180 Pixel, 144 Zeilen und 25 Hz. Beim SIF-525 sind die Werte für Luminanz bei 360 Pixel, 240 Zeilen und 30 Hz und für Chrominanz 180 Pixel, 120 Zeilen und 30 Hz (Ghanbari, 2011, S. 154).

4.6.1.2.3 Makroblocks

Jedes Bild wird in eine Gruppe von Makroblöcken unterteilt, im englischen Slices genannt. In H.261 wird so eine Gruppe als GOB (im englischen: Group of Block) bezeichnet. Die variable Längenkodierung (VLC) wird zurückgesetzt, um eine Fehlerausbreitung in das Bild zu verhindern. Slices können eine andere Größe haben als die Größe des Bildes. Sie können bei jedem Makroblock des Bildes

starten und enden, jedoch mit einigen Einschränkungen. Der erste Slice muss am oberen linken Rand des Bildes beginnen (der letzte Makroblock), daher ist die minimalste Anzahl an Slices pro Bild eins und die maximale Anzahl ist gleich der Anzahl an Makroblöcken (Ghanbari, 2011, S. 155).

4.6.2 MPEG-2

Das Kompressionsverfahren MPEG-2 wurde 1994 eingeführt und ist der Nachfolger von MPEG-1. Während die MPEG-1-Kompression für geringe Bitraten konzipiert wurde und Anwendung für CD-ROMs und Video-CDs findet, sind bei MPEG-2 weitaus höhere Datenraten vorgesehen. Anwendungsgebiete von MPEG-2 sind beispielsweise DVDs und das digitale Fernsehen (Schmitz u. a., 2006, S. 38).

Die wesentlichen Merkmale von MPEG-1 blieben erhalten:

- Abtrennung der Farbinformation vom Schwarz-Weiß-Bild, weil das menschliche Auge Farbunterschiede gröber wahrnimmt als Veränderungen im Helligkeitsbereich.
- Aufteilung des Bildes in 8 x 8 Pixel große Blöcke (Anwendung DCT und Quantisierung).
- Zusammenfassung von jeweils vier Blöcken zu 16 x 16 großen Makroblöcke (Reduktion durch Ähnlichkeit von vorigen oder folgenden Makroblöcken).
- Variable Längenkodierung.

Im Gegensatz zum MPEG-1-Verfahren unterstützt die Nachfolgerversion auch das Zeilensprungverfahren. Außerdem zielt MPEG-2 auf höhere Qualitäten und damit verbundene Datenraten ab (Ghanbari, 2011, S. 180).

4.6.2.1 Profile und Levels

MPEG-2 verfügt über mehrere Profile und Levels, wie ein Bild wiedergegeben werden kann. Das bedeutet, dass aus Video-Datenströmen eine Videosequenz mit unterschiedlicher Bildqualität erzeugt werden kann (Strutz, 2009, S. 284).

In Tabelle 3 ist eine Auflistung der MPEG-2-Profile zu finden.

MPEG-2-Profile			
	Name	Frames	Farbunterabtastung
SP	Simple Profile	I, P	4:2:0
MP	Main Profile	I, P, B	4:2:0
422P	4:2:2 Profile	I, P, B	4:2:2
SNR	SNR Profile	I, P, B	4:2:0
Spatial	Spatial Profile	I, P, B	4:2:0
HP	High Profile	I, P, B	4:2:2

Tabelle 3. MPEG-2-Profile.

Prinzipiell unterstützt MPEG-2 auch 4:4:4-Farbformate, jedoch gibt es kein eigenes Profil dafür. Das Main-Profil ist am relevantesten und am häufigsten genutzt. Für jedes Profil gibt es unterschiedliche Levels, die sich im Wesentlichen durch ihre Bildformate und Zielbitraten unterscheiden (Strutz, 2009, S. 284).

MPEG-2-Levels				
	Name	Breite	Höhe	Bitrate
LL	Low Level	352	288	4
ML	Main Level	720	576	15
H-14	High 1440	1440	1152	60
HL	High Level	1920	1080	80

Tabelle 4. MPEG-2-Levels.

	Level			
Profil	Low	Main	High-14400	High
Simple		x		
Mail	x	x	x	x
SNR	x	x		
Spatial			x	
High		x	x	x

Tabelle 5. Empfohlene Kombination aus Profilen und Levels.

4.6.3 MPEG-4

MPEG-4 erzielt höhere Kompressionsraten als MPEG-2 bei vergleichbarer Qualität. Jedoch zählt MPEG-4 nicht als eigener Standard, da er sich zu wenig von seinen Vorgänger unterscheidet (Schmitz u. a., 2006, S. 38).

4.6.4 H.264 / MPEG-4 Part 10

2003 wurde der Codec H.264 von der ITU-T (Internationale Fernmeldeunion) veröffentlicht. Der Codec entstand durch die enge Zusammenarbeit mit MPEG und ist auch unter dem Namen MPEG-4 Part 10 oder H.264/AVC (Advanced Video Coding) bekannt. Durch die unterschiedlichen Benennungen des Codecs kommt es oft zu Verwirrungen, jedoch ist die Bezeichnung H.264 die gängigste (Ghanbari, 2011, S. 336).

H.264 ist der Nachfolger von H.262 und erreicht eine etwa dreimal so hohe Kodiereffizienz. Das standardisierte Dateiformat ist MP4. Der Codec ist eines der obligatorischen Videokompressionsverfahren des Blu-ray-Standards und wird auch für die hochauflösende Fernsehübertragung genutzt, mittels DVB-S2. Dies bedeutet eine Form der Ausstrahlung von DVB-Signalen per Rundfunksatellit (Ghanbari, 2011, S. 336).

H.264 baut auf seine Vorgänger MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 und der H.261-Familie auf. Jedoch gibt es deutliche Veränderungen:

- Anstelle einer Diskreten Cosinus Transformation mit 8 x 8 Pixel großen Blöcken wird eine Integertransformation von 4 x 4 Pixel großen Blöcken verwendet. Unter Integer wird ein Datentyp bezeichnet, der ganzzahlige Werte speichert.
- Die Entropiekodierung wurde an die veränderte Transformation angepasst. H.264 unterstützt neben VLC-Codecs auch eine leistungsfähigere arithmetische Kodierung (Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC).
- Die Makroblöcke mit einer Größe von 16 x 16 Pixel können in Unterblöcke bis zu einer Größe von 4 x 4 Pixel unterteilt werden.
- Intra Prediction ist möglich. Das bedeutet, dass auch innerhalb von I-Frames eine Form der Bildvorhersage möglich gemacht wird.
- Long-Term Prediction: P- und B-Frames können nicht nur Referenzen auf das jeweilige vorhergehende I- oder P-Bild enthalten, sondern auf bis zu maximal 16 vorhergehenden Frames, um eine effizientere Kodierung zu ermöglichen.
- In H.264 gibt es einen integrierten Deblocking-Filter der eine sehr hohe wahrgenommene Bildqualität erreicht.
- Eine weitere Funktion ist das Switching Slices, das einen nahtlosen Übergang zwischen verschiedenen Videoströmen ermöglicht.
- H.264 kann auch mit interlaced Material umgehen.

(Ghanbari, 2011, S. 337)

4.6.5 H.265 / HEVC

In der Zusammenarbeit von ITU (Internationale Fernmeldeunion) und ISO (Internationale Organisation für Normung) entstand eine Weiterentwicklung von H.264, nämlich H.265/HEVC (High Efficiency Video Coding) beziehungsweise auch *MPEG-H Part 2* genannt. Die Grundkonzepte von MPEG-2 und H.264 wurden übernommen und diverse Stellen wurden verfeinert. Beispielsweise unterstützt der Codec alle gängigen Bildauflösungen, bis hin zu 8K – UHD (Ultra High Definition), also 8192 x 4320 Pixel. Ziel der Entwicklung dieses Standards war, eine doppelt so starke Kompression bei gleichbleibender Qualität zu ermöglichen. Die Effizienz des HEVC-Codec wird hauptsächlich durch die geänderte Blockgröße bei der Kompression erreicht. H.265 kann das Bild in Blockgrößen zwischen 4 x 4 und 64 x 64 wählen, was besonders bei großen Bildern vorteilhaft ist (Schmidt, 2013, S. 221).

4.7 Standard-Videoformate

Name	Endung	Beschreibung
WMV	.wmv	WMV steht für Windows Media Video. Dabei handelt es sich um eine hohe Kompression bei relativ guter Qualität. Das Format gilt mittlerweile als veraltet.
MPEG-1 MPEG-2	.mpg .mpeg	MPEG steht für Moving Pictures Experts Group. Vorteile dieser Art von Komprimierung sind vergleichsweise kleine Daten bei dennoch guter Bildqualität.
MPEG-4	.mp4	MP4-Filme sind noch deutlich stärker komprimiert, ohne erkennbaren Qualitätsverlust. Die stark komprimierten Daten müssen beim Abspielen wieder „entpackt“ werden, wodurch eine große Rechenleistung notwendig ist.
AVI	.avi	AVI steht für Audio Video Interleaved und wurde von Microsoft entwickelt. Dieser Codec steht als ehemaliger Standard und kann noch heute von ziemlich allen Multimedia-Programmen gelesen werden. AVI-Dateien erfordern allerdings einen enorm hohen Speicherbedarf, nämlich bis zu 20-fach höher als bei MPEG oder WMV.
MOV	.mov	MOV steht für Movie und basiert auf dem Quicktime-Standard von Apple. Das Format benötigt wenig Speicherplatz, jedoch im Vergleich zu anderen Formaten eine hohe Leistung des Rechners. Das MOV-Format wird für professionelle und semi-professionelle Anwendungen

		verwendet.
FLV	.flv / .swf	FLV ist die Abkürzung für Flash Video und wurde von Adobe Systems entwickelt, vorzugsweise zur Internetübertragung von Videoinhalten. FLV besitzt aufgrund von Sicherheitslücken einen extrem schlechten Ruf. Das Abspielen erfordert den Adobe Flash Player.
RM	.rm	RM steht für Real Media. RM-komprimierte Filme sind verlustbehaftet, aber speziell bei hohen Komprimierungen von vergleichsweise guter Qualität. Das Format gilt als veraltet.

Tabelle 6. Standard-Videoformate.

4.8 Standard-Videocodecs

4.8.1 Verlustbehaftete Videocodecs

MPEG-Videocodecs		
Codec	Beschreibung	Verwendung
MPEG-1 Part 2	8 Bit Farbtiefe, 4:2:0 Farbrunterabtastung, Beschränkung auf 25 Mbps Datenübertragungsrate	DVD, DVB, HDTV
MPEG-4 Part 2	10 oder 12 Bit Farbtiefe, 4:2:2 oder 4:4:4 Farbrunterabtastung.	Häufig in AVI-Dateien
AVC/H.264	4:2:2 oder 4:4:4 Farbrunterabtastung.	HD-DVD, DVB-S2, HDTV
HEVC/H.265	Bis zu 14 Bit Farbtiefe, 4:4:4	UHD, HDR

Tabelle 7. Standard-Videocodecs.

HD-Videocodecs	
Codec	Beschreibung
Apple Intermediate Codec	8 Bit Farbtiefe, 4 :2 :0 Farbunterabtastung, Intra-Frame-Codec
Apple ProRes 422	10 Bit Farbtiefe, 4 :2 :2 Farbunterabtastung, Intra-Frame-Codec
Apple ProRes 4444	12 Bit Farbtiefe, 4 :4 :4 Farbunterabtastung, Intra-Frame-Codec, mit Alphakanal
Avid DNxHD	10 Bit Farbtiefe, 4 :2 :2 Farbunterabtastung, Intra-Frame-Codec, mit Alphakanal
JVC D9-HD	8 Bit Farbtiefe
Panasonic DVCPRO HD	8 Bit Farbtiefe, 4 :2 :2 Farbunterabtastung, geringe
AVC-Intra	10 Bit Farbtiefe, 4 :2 :2 Farbunterabtastung, Intra-Frame-Codec
Panasonic HD-D5	10 Bit Farbtiefe, niedrige Kompression
Sony HDCAM	8 Bit Farbtiefe

Tabelle 8. HD-Videocodecs.

4.8.2 Verlustfreie Videocodecs

Codec	Beschreibung
HuffYUV	Jeder Abtastwert wird vorausgesagt und das Restsignal ist Huffman-kodiert. HuffYUV soll unkomprimiertes YUV ersetzen.
CorePNG	Basiert auf das Bildkompressionsformat PNG. Jedes Frame wird als PNG komprimiert. Nutzung von P-Frames ist auch möglich.
LCL-Codec	Steht für Lossless Codec Library und komprimiert Einzelbild mittels zlib (Komprimierung von Daten mit dem Deflate-Algorithmus) mit optional einem PNG-Filter.
Avid Meridien	Ist ein verlustfreier Codec von Avid.

Tabelle 9. Verlustfreie Videocodecs.

5 HDR

5.1 Allgemein

Das Ziel der technischen und elektronischen Zukunft wäre, die Fähigkeit des menschlichen Auges nachzuahmen und möglicherweise sogar darüber hinaus zu gehen. Das Auge und die menschliche Seefähigkeit sind sehr vielseitig und leistungsfähig. Die Medientechnik hat sich bereits sehr an das menschliche Auge angepasst und der hohe Dynamikbereich ist die einzige noch herausfordernde Eigenschaft der visuellen Information (Hoefflinger, 2007, S. 1).

HDR steht für High Dynamic Range und bietet einen größeren Dynamik- und Farbumfang als das Standard Dynamic Range (SDR), auch Low Dynamic Range (LDR) genannt. SDR nutzt eine Farbtiefe von 8 Bit, was einen Dynamikumfang von etwa sechs Blenden entspricht und HDR nutzt eine Farbtiefe von 10 Bit und erreicht somit einen Dynamikumfang von bis zu 17,6 Blenden. Unter Blenden wird die Öffnung in optischen Geräten verstanden, welche die Ausdehnung von Strahlenbündeln begrenzen (Myszkowski u. a., 2008, S. 8).



Abbildung 23. SDR-Bild und HDR-Bild.

5.2 Dynamic Range

Unter Dynamic Range, auch Kontrastverhältnis, Dynamikumfang oder Dynamikbereich genannt, wird der in einem Bild größte vorkommende Kontrast, also der maximale relative Helligkeitsunterschied zwischen den Farben Schwarz und Weiß, verstanden. Das Kontrastverhältnis wird als Verhältnis angegeben, also beispielsweise der Dynamikumfang eines CRT-Monitors hat ein

Kontrastverhältnis von 25.000:1. Unter CRT-Monitor (Cathode Ray Tube) wird ein Kathodenstrahlröhrenbildschirm verstanden. (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

Weitere Beispiele sind in der Tabelle 10 ersichtlich. Dias haben ein sehr geringes Kontrastverhältnis von nur 300:1. LCD-Fernseher (Liquid Crystal Display) weisen eine Dynamic Range von 1.500:1 auf und Plasma-Monitore ermöglichen ein Kontrastverhältnis von 18.000:1. An erster Stelle steht der OLED-Fernseher (Organic Light Emitting Diode), der einen Dynamik Bereich bis zu 400.000:1 unterstützt. Die von einer Betrachterin, einem Betrachter oder von einer Kamera aus sichtbare Umgebung hat typischerweise einen Dynamikumfang in der Größenordnung von 10.000:1. Dieser ist noch wesentlich größer, wenn eine Lichtquelle direkt sichtbar ist, oder ein von Sonnenlicht erhellter Bereich (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

Neu am Markt ist der QLED-Bildschirm (Quantum Dot Light Emitting Diode) der eine Weiterentwicklung vom LCD-Fernseher ist. Es werden sogenannte Quantum Dots, also Nanokristalle aus Halbleitermaterialien verwendet. Da bei OLED-Geräten keine Hintergrundbeleuchtung zum Einsatz kommt, kann im Vergleich zu LCD-Bildschirmen, ein tieferes Schwarz abgebildet werden (derStandard.at, 2017).

Bildschirmtyp	Kontrastverhältnis
CRT-Monitor	25.000:1
35mm Dias	300:1
LCD-Fernseher	1.500:1
Plasma-Fernseher	18.000:1
OLED-Fernseher	400.000:1

Tabelle 10. Beispiele Kontrastverhältnisse.

Der Dynamikbereich beschreibt, wie bereits erwähnt, die Messung zwischen dem maximalen und minimalen Werten eines Bildes. In Abbildung 24 ist ein Verlauf von Schwarz zu Weiß sichtbar. Dabei handelt es sich um einen sanften Übergang der zwei Farben, mit scheinbar unzähligen schwarzen und weißen Werten dazwischen.

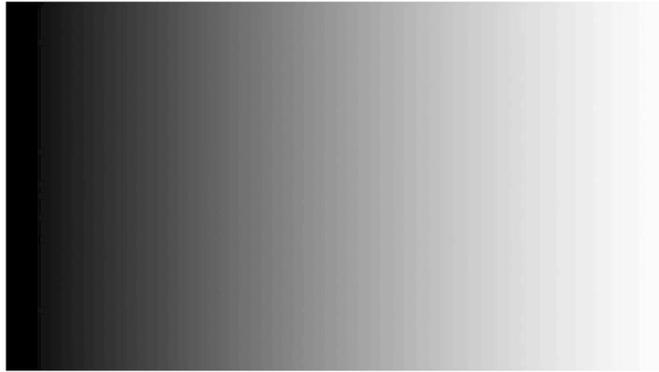


Abbildung 24. Farbverlauf von Schwarz zu Weiß.

Wenn dieses Bild als ein Verlauf vorgestellt wird, der von Hellgrau auf Dunkelgrau geht, wie bei Abbildung 24, fällt auf, dass die Reichweite von Grautönen viel mehr begrenzt ist ohne die weißen und schwarzen Bildpunkte, und daher ist die Dynamic Range kleiner. Der Kontrast zwischen den minimalen und den maximalen Punkten der Skala ist in Abbildung 24, dem Verlauf von Schwarz zu Weiß, viel größer als bei Abbildung 25, dem Verlauf von Hell- zu Dunkelgrau. Somit handelt es sich bei Abbildung 24 um einen größeren Dynamikbereich (Petersen, 2015).

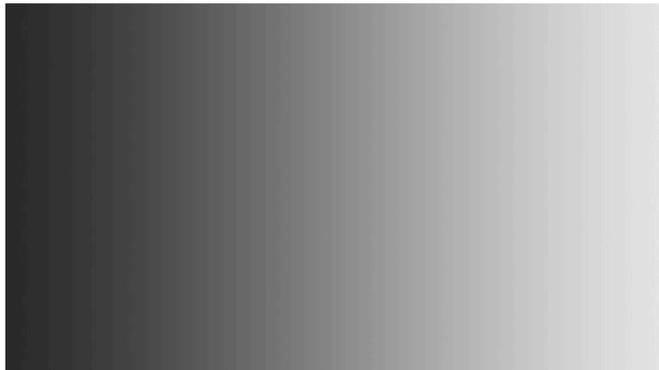


Abbildung 25. Farbverlauf von Dunkel- zu Hellgrau.

5.2.1 Größenordnungen / Stops

Ein Low Dynamic Range Bild hat eine Farbtiefe von 8 Bit, was 256 Helligkeitsstufen für den jeweils roten, grünen und blauen Farbkanal entspricht. Helligkeitsunterschiede in der Realität, also in der Natur und unserem täglichen Leben, zwischen dem hellsten Licht und dem dunkelsten Schwarz betragen bis zu einem Faktor von 10^{12} . Hierbei wird von zwölf bis dreizehn „Größenordnungen“ gesprochen. Die gesamte Helligkeitsdynamik von absoluter Dunkelheit bis hin zum hellsten Sonnenlicht umfasst etwa 15 Größenordnungen (im englischen: Stops) (Reinhard u. a., 2010, S. 6).

Um einen solchen Dynamikbereich darstellen zu können, werden etwa 40 Bit benötigt. Unser Auge hat eine Helligkeitsauflösung von 10 bis 12 Bit. Der Wertebereich, der in einem herkömmlichen Bild erhalten bleibt, beträgt etwa zwei Stops. Die reale Welt produziert somit einen viel größeren Bereich als die beiden Größenordnungen, die in der aktuellen Bildgebung üblich sind. In der Tabelle 11 wird eine Auflistung der gängigen Lichtumgebungen gefunden. Angegeben sind diese Werte in cd/m^2 (Reinhard u. a., 2010, S. 6).

Unter cd/m^2 (Candela pro Quadratmeter) wird die Einheit der Leuchtdichte verstanden und wird im englischsprachigen Raum, vor allem in der USA, als Nit bezeichnet (Chalmers, S. xxviii).

Beschaffenheit	Lichtintensität (in cd/m^2)
Sternenlicht	0,001
Mondlicht	0,1
Innenbeleuchtung	10
Sonnenlicht	100000
Maximale Intensität von CRT-Monitoren	100

Tabelle 11. Helligkeitsbereiche der häufigsten Lichtumgebungen.

HDR steht für die Möglichkeit eine große Helligkeitsvariation in einem Videosignal darzustellen. Das bedeutet eine Darstellung von sehr niedrigen Luminanz- und Dunkelwerten ($< 0,01 \text{ cd/m}^2$) bis zu sehr hohen Werten ($< 1000 \text{ cd/m}^2$). Somit können, im Vergleich zu einem SDR-Bild, mehr Details in den hellen und dunklen Bereichen gespeichert werden, und somit steigt die Qualität des Bildes enorm (Reinhard u. a., 2010, S. 7).

Das menschliche Auge nimmt bei Tageslicht bei 100 cd/m^2 die Farbe Weiß wahr, dagegen reicht im Kino bereits ein Drittel der Lichtmenge, um auf der Leinwand die Farbe Weiß zu simulieren. Andersrum betrachtet wird das im Kino wahrgenommene Weiß in der Außenwelt als Grau wahrgenommen (Myszkowski u. a., 2008, S. 9).

High Dynamic Range wurde in vielerlei Hinsicht durch die Fähigkeiten des menschlichen Auges inspiriert. Das menschliche visuelle System ist in der Lage sich an ständig ändernde Lichtverhältnisse anzupassen die um 10 bis 15 Stops variieren. Das Gehirn wertet die Helligkeitsinformation immer wieder neu aus und ermöglicht es so, einen weiten Bereich von Helligkeitsunterschieden wahrzunehmen. Die zurzeit eingesetzte Übertragungstechnik für Video und Fernsehen verwendet eine Datentiefe von 7 oder 8 Bit. Der gesamte Workflow

von Produktion, Distribution und Wiedergabe von digitalen Inhalten ist derzeit noch an diesen Wert angepasst (Reinhard u. a., 2010, S. 7).

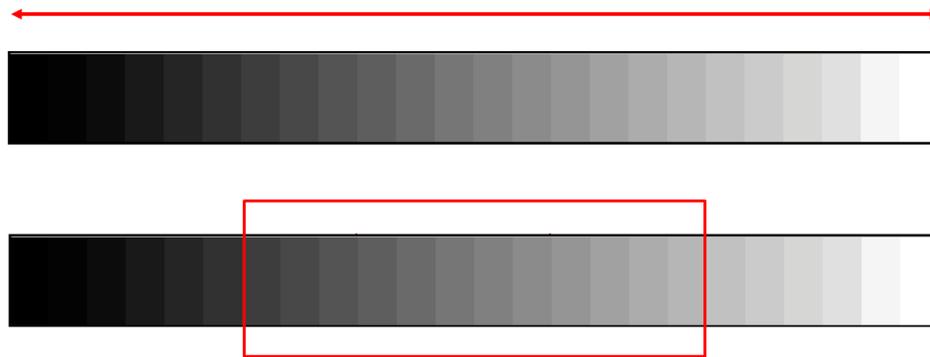


Abbildung 26. Vergleich zwischen der Dynamic Range des menschlichen Auges und der DSLR.

In Abbildung 26 ist ein Vergleich des Kontrastumfangs des menschlichen Auges und einer gängigen Spiegelreflexkamera (im englischen: Digital Single-Lens Reflex, DSLR) zu sehen. Während das Auge eine Dynamic Range von bis zu 15 Größenordnungen ermöglicht, kann eine DSRL lediglich einen Teil davon einfangen. (Reinhard u. a., 2010, S. 7)

Unser Auge kann, wenn es an eine Umgebung adaptiert ist, etwa fünf Größenordnungen gleichzeitig wahrnehmen. Das ist ein starker Kontrast zu dem derzeit standardisierten digitalen Bild, Monitor und Fernseher, die nur etwa zwei bis fünf Stops an Helligkeit darstellen können. Beispielsweise der CRT-Bildschirm kann lediglich etwa zwei Größenordnungen reproduzieren. Die Einschränkung liegt darin, dass Phosphor nicht über eine gegebene Grenze hinaus angeregt werden kann. Eine ähnliche Geschichte gilt für die modernen LCD-Monitore (Liquid Crystal Display). Ihr Arbeitsbereich ist durch die Stärke der Hintergrundbeleuchtung begrenzt. Obwohl LCD-Bildschirme eher etwas heller sind als CRT-Monitore, ist ihre Helligkeit nicht um Größenordnungen größer (Reinhard u. a., 2010, S. 7).

Bei einem SDR-Bild kann es zu dem Problem kommen, dass die Details in Schatten und Helligkeit nicht korrekt und vollständig aufgezeichnet werden können, da zu wenig Stops gespeichert werden. Kameras mit einem höheren Dynamikbereich, mit einer höheren Anzahl an Stops, halten die Details in größerem Umfang fest als eine Kamera deren Dynamikbereich kleiner ist. Wird zum Beispiel ein Bild verwendet, bei dem die Helligkeit bei einem Lichtwert (LW, im englischen: Exposure Value, EV) von 12 EV liegt und der Schatten bei 1EV, gibt es einen Unterschied von 12 Stops zwischen den Highlights und den Schatten. Eine Kamera würde somit die Fähigkeit brauchen 12 Stops aufzuzeichnen, damit keine Bildinformation verloren geht (Petersen, 2015).

HDR ist nun der Ansatz, dieses Problem zu beheben. Durch die Verwendung von mehr Bit pro Pixel, soll ein größeres Intervall an Helligkeit repräsentierbar sein. Bei HDR werden Bilddateien mit einem Dynamikumumfang erzeugt, der die in der Natur vorkommenden Helligkeitswerte besser erfassen kann (Reinhard u. a., 2010, S. 229).

Die in der Abbildung 27 sichtbaren Grafik zeigt eine Gegenüberstellung eines 8 Bit und 10 Bit Videosignals. Beide Skalen beziehen sich auf zwei Referenzpunkte, nämlich dem Schwarzwert und dem 100 Nits Punkt. Der Schwarzwert ist abhängig vom verwendeten Wiedergabegerät, so hat beispielsweise ein LCD-Bildschirm einen Schwarzwert von 0,001 Nits. Das menschliche Auge ist besonders im Bereich von 100 Nits am empfindlichsten. Daher muss das digitale Bild an das Auge angepasst werden (Reinhard u. a., 2010, S. 80).

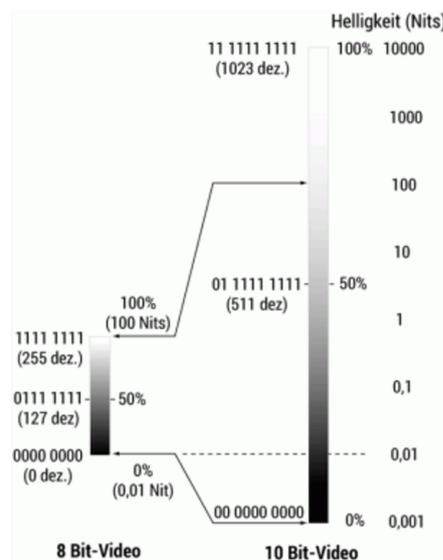


Abbildung 27. Gegenüberstellung 8 Bit und 10 Bit Videosignal.

5.2.2 SDR versus HDR

5.2.2.1 SDR / LDR

Die meisten digitalen Bilder stellen 265 Helligkeitsstufen für den jeweiligen Farbkanal zur Verfügung. Diese Farbtiefe reicht meist nicht aus, um die in der natürlichen Bildgebung vorkommenden Helligkeitsunterschiede wiederzugeben. Diese Art von Bildern werden als Low Dynamic Range (LDR) oder auch Standard Dynamic Range (SDR) bezeichnet. SDR äußert sich durch einen geringen Kontrastumfang und dem limitierten Farbbereich, der auf drei 8 Bit Farbkanäle beschränkt ist (Myszkowski u. a., 2008, S. 5).

Die SDR-Standards wurden an die Bedürfnisse der Büro- oder Display-Beleuchtungsbedingungen angepasst. Durch das Blicken auf einen Monitor

arbeitet unser Auge mit einer Mischung aus Tageslicht, photopisches Sehen genannt, und dem Dämmerungssehen, dem sogenannten mesopischen Bereich, also dem Übergangsbereich von Tages- und Nachtsehen (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

5.2.2.2 HDR

HDR kann Bilder von Luminanzbereichen darstellen, die sowohl den photopischen als auch den mesopischen Bereich vollständig abdecken und so eine Unterscheidung zwischen ihnen ermöglicht. Einer der Unterschiede zwischen mesopischem und photopischem Sehen ist der Eindruck von Buntheit. Um die Farbigkeit eines Bildes optimal darzustellen, müssen die digitalen Bilder Informationen über die tatsächlichen Helligkeitswerte der ursprünglichen Szene bewahren (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

High Dynamik Range überschreitet die Begrenzung von Bildinformationen und speichert Farbdaten mit höherer Präzision. Es werden 32 Bit pro Farbkanal angegeben. High Dynamic Range liefert eine Genauigkeit, welche die Fähigkeit des menschlichen Auges übersteigt und damit steigt die Qualität des Bildes. Somit ist es durch HDR möglich, die in der realen Welt gefundenen Farben, die vom menschlichen Auge wahrgenommen werden können, zu repräsentieren (Myszkowski u. a., 2008, S. 6).

In Abbildung 27 ist links ein SDR- und rechts ein HDR-Bild zu sehen. Hierbei ist deutlich erkennbar, dass bei dem High Dynamic Range Bild um einiges mehr an Information erhalten bleibt, als beim SDR-Bild. Informationen in den sehr dunklen und hellen Bereichen gehen schnell verloren und können dann nicht mehr reproduziert und wiedergegeben werden. Bei der anschließenden Darstellung des Bildes wird der Helligkeitsumfang geeignet reduziert, damit Wiedergabegeräte das Bild optimal darstellen können. Auch wenn nach wie vor viele Bildschirme nur einen geringen Helligkeitsumfang besitzen, bietet HDR den Vorteil, dass Details in sehr dunklen und hellen Bereichen erhalten bleiben (Reinhard u. a., 2010, S. 229).

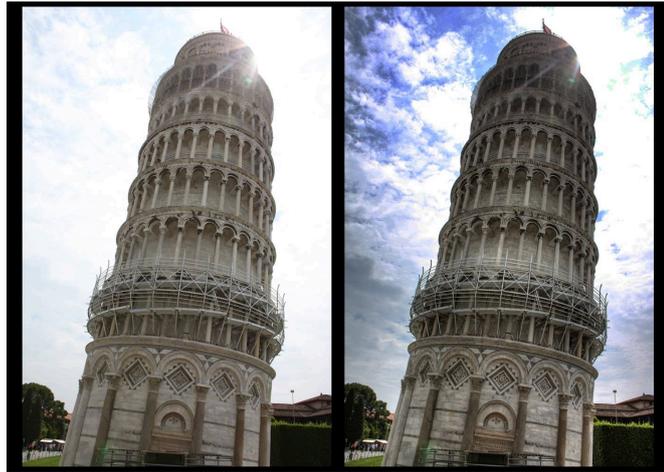


Abbildung 28. SDR- und HDR-Bild.

5.2.3 Tone Mapping / Dynamikkompression

HDR ermöglicht die Speicherung eines Bildes mit sehr hohem Dynamikbereich. Da aber derzeit einige vorhandenen Bildschirme diesen großen Kontrast nicht wiedergeben können, muss das hochauflösende Bild verändert werden. Die Diskrepanz zwischen den großen Helligkeitsbereichen, die erfasst werden können, und den kleinen Bereichen, die durch vorhandene Bildschirme wiedergegeben werden können, macht die Darstellung der Bilder der aufgenommenen Szene schwierig. Es sind spezielle Methoden notwendig, um die vorhandene Information in möglichst wahrnehmungsnahe darstellbare Bilder umzuwandeln. Dieser Vorgang wird Tone Mapping (Dynamikkompression) genannt (Reinhard u. a., 2010, S. 187).

Szenen wirken an einem sonnigen Tag bunter und kontrastreicher, farbreiche Bilder wirken in der Nacht grau und wirken durch den Mondschein bläulicher. Eine einfache Komprimierung der Intensität oder des Kontrastverhältnisses, um sie in den Ausgabegeräten zu integrieren, wäre nicht ausreichend, um die genaue visuelle Erscheinung der Szene zu reproduzieren (Reinhard u. a., 2010, S. 188).

Das Reproduzieren des visuellen Erscheinungsbildes ist das ultimative Ziel bei der Dynamikkompression, wie in der Abbildung 28 vereinfacht grafisch dargestellt. Das virtuelle Bild soll so ähnlich wie möglich an das reale Bild angepasst werden (Reinhard u. a., 2010, S. 189).

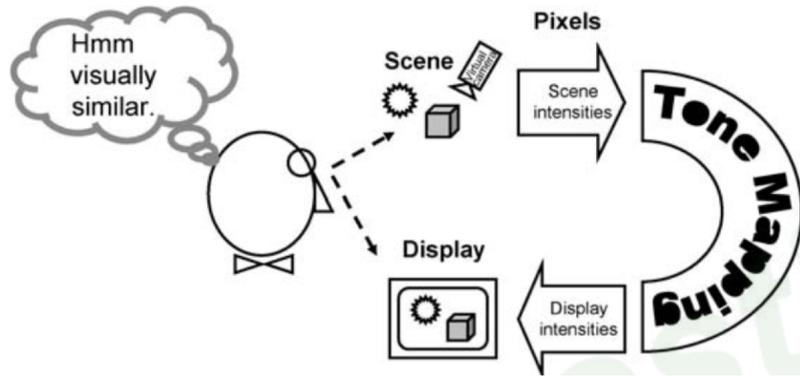


Abbildung 29. Tone Mapping.

Beim Tone Mapping werden die dynamischen Bereiche des HDR-Bildes komprimiert indem die große Anzahl an Helligkeitsstufen reduziert wird.

Da die meisten gegenwärtigen Anzeigegeräte nicht in der Lage sind die Helligkeit ähnlich der Fähigkeit des menschlichen visuellen Systems zu reproduzieren, werden die Bilder typischerweise mit einem Byte pro Farbkanal und Pixel kodiert. Diese Kodierung geschieht meist bereits während der Aufnahme des Bildes. Dieser Vorgang ist suboptimal, da bereits bei der Entstehung des Bildes der Großteil der Bildinformation verloren geht (Reinhard u. a., 2010, S. 7).

5.2.4 Gammakorrektur

Unter Gammakorrektur wird die Anpassung eines Bildes an das menschliche Helligkeitsempfinden verstanden. In der Fotografie wird dieser Vorgang als Tonwert-Korrektur bezeichnet. Ein CRT-Monitor wandelt beispielsweise ein Videosignal in Licht um. Aufgrund der Eigenschaften der Elektronenröhre und der Leuchtstoffe auf dem Bildschirm, nimmt mit steigender Spannung die Helligkeit exponentiell zu. Das führt dazu, dass für die dunkleren Bildbereiche über 70% des Signalumfangs verwendet wird, während weniger als 30% für die helleren Bildpartien verwendet werden. Das Resultat ist, dass dunkle Bildbereiche überbetont werden. Um diese Helligkeitsverteilung dem menschlichen Sehempfinden anzupassen, wird das Videosignal entsprechend verzerrt. Die Vorverzerrung wurde bislang immer bei der Videoproduktion, also bereits in der Kamera, vorgenommen. Und dafür ist die sogenannte Gammakorrektur zuständig (Reinhard u. a., 2010, S. 80).

5.2.5 ITU-R-Empfehlungen

Die ITU-R-Empfehlungen beinhalten technische Spezifikationen, die von der ITU (International Union; Internationale Fernmeldeunion) herausgegeben wurden. Für diese Arbeit sind in Bezug auf den Farbraum die Empfehlung BT.709, BT.2020 und BT.2100 relevant.

5.2.5.1 CIE 1931

In Abbildung 29 ist der CIE 1931 Farbraum sichtbar. Dabei handelt es sich um den Bereich, der vom menschlichen Auge wahrgenommen werden kann, also der gesamte farbige Bereich in Abbildung 29. Dieser Farbraum wurde vom CIE-Normfarbsystem definiert. Das System stellt eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung und den physikalischen Ursachen des Farbreizes dar. Es erfasst somit die Gesamtheit wahrnehmbarer Farben (Reinhard u. a., 2010, S. 34).

5.2.5.2 ITU-R-Empfehlung BT.709 / Rec. 709

Des Weiteren ist der Farbraum BT.709 zu sehen, auch Rec. 709 genannt. Dabei handelt es sich um den standardisierten Farbraum der bei SDR-Bildern verwendet wird. In Abbildung 29 handelt es sich hierbei um das Dreieck. Die ITU-R-Empfehlung BT.709 standardisiert das Format des High-Definition-Fernsehens mit einem Seitenverhältnis von 16:9. Diese Einschränkung ist an die CRT-Monitore angepasst und definieren die Grenzen des sRGB Farbraums. Dabei handelt es sich um den Farbbereich, der auf einem Standardmonitor angezeigt werden kann. Die Farben außerhalb dieses Dreiecks können auf vielen Bildschirmen nicht dargestellt werden (Reinhard u. a., 2010, S. 34).

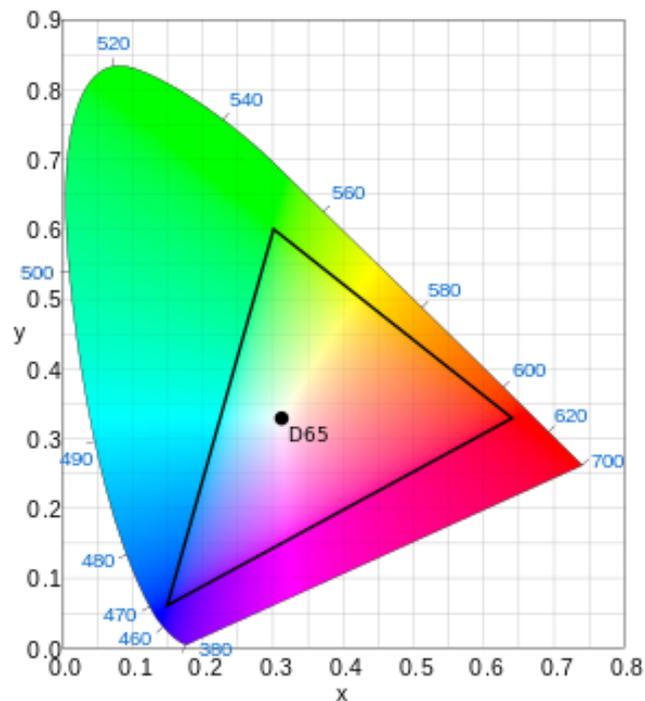


Abbildung 30. CIE 1931 und BT.709.

5.2.5.3 ITU-R-Empfehlung BT.2020 / Rec. 2020

2012 wurden die Spezifikationen für UHD-TV, nämlich die ITU-R Empfehlung **BT.2020** angekündigt, auch Rec. 2020 genannt. Dies enthielt vier Komponenten um die Fernsehgeräte einen bedeutenden Schritt vorwärts zu bewegen:

- Höhere Bildschirmauflösung 4K (3840 x 2160 Pixel) und 8K (7680 x 4320 Pixel)
- Höherer Dynamikbereich
- Breitere Farbskala
- Höhere Bitrate

Die Empfehlung definiert eine Farbtiefe von 10 oder 12 Bit pro Abtastwert. Der Farbraum von der Empfehlung für UHD-TV (UHD-1 und UHD-2) kann Farben darstellen, die mit dem Farbraum aus Empfehlung BT.709 nicht darstellbar sind. In Abbildung 30 ist der BT.709 Farbraum eingezeichnet, das kleinste Dreieck sowie der BT.2020 Farbraum, das größte Dreieck in der Grafik. Bei **DCI P3**, dem gestrichelten Dreieck in Abbildung 30, handelt es sich um den gebräuchlichen Farbraum für digitale Filmprojektion der US-amerikanischen Filmindustrie (Myszkowski u. a., 2008, S. 57).

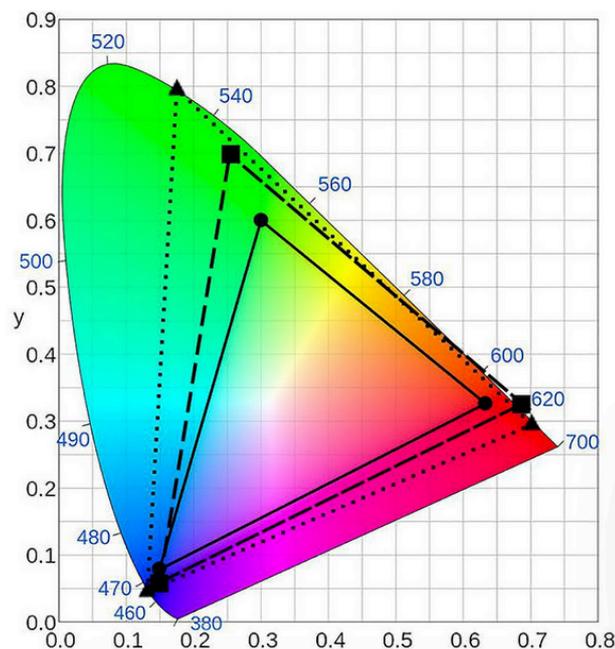


Abbildung 31. Der darstellbare Farbraum von CIE 1931, BT.709 und DCI-P3.

5.2.5.4 ITU-R-Empfehlung BT.2100 / Rec. 2100

Die ITU-R-Empfehlung BT.2100, auch bekannt unter Rec. 2100, definiert verschiedenste Aspekte von HDR-Videos. Die HDR-TV Empfehlung BT.2100 baut auf dem 2015 verabschiedeten UHD-TV BT.2020 auf und wurde im Juli 2016 von der ITU veröffentlicht. (kameramann.de, 2016a)

Der Unterschied beider Empfehlungen ist nicht unbedingt groß, es wird dieselbe Bildschirmauflösung geboten, nämlich 4K und 8K, jedoch ist bei BT.2100 auch eine Auflösung von 1920 x 1080 Pixel möglich, was FullHD entspricht. Außerdem wird erstmals eine minimale Helligkeit in Form eines Schwarzwertes von $\leq 0,005 \text{ cd/m}^2$ angegeben. Des Weiteren wurde eine maximale Helligkeit von $\geq 1.000 \text{ cd/m}^2$ definiert (kameramann.de, 2016a).

Eine Gegenüberstellung der Empfehlungen BT.2020 und BT.2100 ist in der Tabelle 12 ersichtlich.

Eigenschaft	BT.2020	BT.2100
Auflösungen	3.840 x 2.160 Pixel – 4K 7.680 x 4.320 Pixel – 8K	1.920 x 1.080 Pixel – FHD 3.840 x 2.160 Pixel – 4K 7.680 x 4.320 Pixel – 8K
Bildwiederholungsraten	120 Hz 100 Hz 60 Hz 50 Hz 30 Hz 25 Hz 24 Hz	120 Hz 100 Hz 60 Hz 50 Hz 30 Hz 25 Hz 24 Hz
Sampling	4:4:4 4:2:2 4:2:0	4:4:4 4:2:2 4:2:0
Minimale Helligkeit	-	$\leq 0,005 \text{ cd/m}^2$
Maximale Helligkeit	-	$\geq 1.000 \text{ cd/m}^2$

Tabelle 12. Gegenüberstellung ITU-R-Empfehlung BT.2020 und BT.2100.

Im Standard wurden außerdem zwei Produktionsmethoden für HDR-Bilder festgelegt nämlich Perceptual Quantization (PQ) und Hybrid Log-Gamma (HLG). HLG ist ein HDR-Standard und ist kompatibel mit dem SDR-Dynamikbereich. Hybrid Log-Gamma ist in UHD-1 Phase 2 definiert und wird unterstützt von HEVC und H.264/MPEG-4 AVC. Dabei handelt es sich um eine Methode der nichtlinearen Übertragungsfunktion, bei der die untere Hälfte der Signalwerte eine Gammakurve verwendet und die obere Hälfte der Signalwerte eine logarithmische Kurve (kameramann.de, 2017a).

Perceptual Quantization ist, laut Scott Miller (Forschungspersonal bei Dolby Laboratories) der effizienteste Weg zur Kodierung des erweiterten

Dynamikbereiches. Jeder Codewert entspricht nur unter einem perzeptuellen Schritt, was zu weniger verschwendeten Codes führt (Miller, 2014).

Die Perceptual Quantization wird dem menschlichen Sehvermögen angepasst und Hybrid Log-Gamma reizt die Übertragungstechnik so gut wie möglich aus (kameramann.de, 2016a).

Bestehende Systeme basieren auf den Farbräumen BT.709 und BT.601, die nach CIE 1931 nur einen relativ kleinen Prozentsatz aller sichtbaren Farbwerte erfassen, nämlich etwa 33,5%. Größere Farbräume wie BT.2020 können einen viel größeren Prozentsatz darstellen, zwischen 45,5% und 63,3%. Diese Darstellung kann zu bunteren und realistischeren Inhalten führen (kameramann.de, 2016a).

5.3 Verwendung von HDR

HDR gewinnt in der Medienbranche immer mehr an Relevanz. Einer der Durchbrüche war die Entwicklung von HDR-Monitoren, die die Möglichkeit der Visualisierung der Farben und des Luminanzbereich ähnlich der realen Szene ermöglicht. Consumer 4K-Fernseher erschienen schnell am Markt, jedoch kam es trotz der deutlichen Erhöhung der Bildschirmauflösung nicht zu einem Verkaufsboom. Ein Grund dafür ist, dass für den Betrachter ein Unterschied zwischen HD- und 4K-Footage schwer erkennbar ist, besonders wenn der Bildschirm aus der Nähe betrachtet wird. Eine Studie beweist, dass der Zuseherin und dem Zuseher, in Bezug der Komponenten von BT.2020, besonders im Dynamikbereich eine Veränderung auffällt, insbesondere in einer dunklen Sichtumgebung (Chalmers, Campisi, Shirley, & Olaizola, 2016, S. xvii).

Ergebnisse von so genannten „subjective video quality tests“ zeigen, dass der Zuseher einen größeren Mehrwert sieht, wenn die Farbintensität gesteigert wird (HDR) als wenn nur die Anzahl der Pixel erhöht wird (UHD). Voraussetzung ist schon eine HD Bildauflösung (1080p). Das ist auch einer der Gründe, warum wir bei maxdome eher Richtung HDR gehen. [...] HDR ist eine gute Lösung die Qualität des Bildes zu erhöhen ohne großartig Mehrkosten zu tragen (wie zum Beispiel bei 4K oder 8K). (Widtmann, 2017)

HDR wird auch in anderen Bereichen als der Medientechnik verwendet. Beispielsweise findet High Dynamic Range Verwendung in zahnärztlichen Röntgenbildern. Dentalradiologische Bilder enthalten viele Details und in

mehreren medizinischen Bereichen ist eine genaue Abbildung von großem Interesse. Des Weiteren nutzen Herstellerinnen und Hersteller von Computerspielen HDR, um den virtuellen Bildern die bestmögliche Qualität zu liefern und nachgebaute Szenen möglichst real wirken zu lassen (Chalmers u. a., 2016, S. xxi).

Valentin Gstöttmayr, ein selbständiger Colorist der bereits seit einigen Jahren in der Medienbranche tätig ist, ist der Meinung, dass die Konsumentin und der Konsument nicht ein Verlangen nach höherer Auflösung oder High Dynamic Range hat, sondern dass der Content immer noch stark im Vordergrund steht. Ein gutes Beispiel ist die Entwicklung der Fernsehgeräte. Die Konsumentin und der Konsument waren mit dem Fernsehbild nicht unzufrieden, bis ein „besseres Bild“ gezeigt wurde (Gstöttmayr, 2017).

„Was ich damit sagen will ist: Ich habe niemanden vor HDR sagen hören, dass er gerne ein helleres Bild hätte mit tieferen Schwarzwerten“ (Gstöttmayr, 2017).

5.4 HDR-Video Pipeline – kurzer Überblick

April 2014 wurde weltweit die erste End-to-End Live HDR-Pipeline auf der NAB 2014 vorgestellt. NAB (National Association of Broadcasters) ist ein Event das jährlich in Las Vegas stattfindet. An diesem Kongress nehmen führende Persönlichkeiten der Filmtechnik, Gaming-Industrie und dem Broadcasting teil, um Diskussionen über aktuelle Themen zu führen (Chalmers u. a., 2016, S. xxiv).

Das Wort Pipeline steht für eine Anwendungskette, die ein HDR-Video durchläuft, von der Bildaufnahme bis zur Wiedergabe. Mit einem HDR-Video kann das gesamte Spektrum der Beleuchtung einer Szene erfasst und der Betrachterin und dem Betrachter geliefert werden. Um solch eine Fähigkeit zu erreichen, werden 32 Bit IEEE Gleitkommawerte benötigt um jeden Farbkanal zu repräsentieren. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ist ein Berufsverband von Ingenieuren und bildet Gremien für die Standardisierung von Techniken, Hardware und Software (Chalmers u. a., 2016, S. xxvii).

Mit 96 Bit pro Pixel, im Vergleich zu lediglich 24 Bit pro Pixel bei einem SDR-Bild, benötigt ein einzelner HDR-Frame, mit unkomprimierter UHD 4K-Auflösung (3840 x 2160 Pixel) und Farbabtastung von 4:4:4, etwa 94,92 MB an Speicherplatz. Aufgerechnet auf einen Clip der eine Minute lang ist, mit 30 Bilder die Sekunde, kommt das auf eine Dateigröße von 166 GB (Gigabyte). Solch eine große Menge an Daten kann von der existierenden Informations- und Kommunikationstechnik nicht gehandhabt werden und somit ist eine effiziente Komprimierung ein Punkt, der für den Erfolg von HDR-Video notwendig ist (Chalmers u. a., 2016, S. xxvii).

Eine komplette HDR-Pipeline ist ein System, das sich aus folgenden Komponenten zusammensetzt:

- Kameras die in der Lage sind mindestens 14 Blendenstufen des Luminanzbereichs zu erfassen und RGB-Farbskala (0,005 – 10.000 cd/m²).
- Formate für das HDR-Signal von der Kameraaufnahme bis zur Konvertierung für die Wiedergabe am Endgerät.
- Programmierung und Inhaltsbereitstellung im HDR-Format.
- Übertragung oder Verteilung mittels einem koaxiales Kabel, Faserkabel oder mit einem drahtlosen Netzwerk, das in der Lage ist, das HDR-Signal zu liefern.
- Fernsehgeräte die in der Lage sind, das HDR-Videobild mit einer Spitzenhelligkeit von etwa 6000 cd/m² zu empfangen und anzuzeigen.

(Chalmers u. a., 2016, S. 217)

5.4.1 Bilderfassung

Bis einzelne Sensoren in der Lage sind das gesamte Lichtspektrum einer Szene zu erfassen, sind eine Reihe weiterer Ansätze notwendig. Einer der gängigsten Methoden der HDR-Aufnahme ist, mehrere Belichtungen mit unterschiedlichen Belichtungszeiten zu verwenden, um einen einzelnen HDR-Frame zu erstellen. Kommt es jedoch zu einer Bewegung innerhalb einer Szene oder der Kamera, können unerwünschte Ghosting Artefakte auftreten. Dabei handelt es sich um deplatzierte Details, die durch das Zusammenführen der Bilder entstehen können. Um diese zu beseitigen sind anspruchsvolle Algorithmen erforderlich, die besonders in der Live-Übertragung von HDR-Videos eine Herausforderung sind (Chalmers u. a., 2016, S. xxvii).

Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung mehrerer Sensoren, mit gleicher Integrationszeit, durch eine Linse. Eine Reihe von Prototypen solcher Systeme wurden bereits gebaut, jedoch sind diese bislang noch nicht am Markt verfügbar (Chalmers u. a., 2016, S. xxvii).

5.4.2 Bildkompression

Wie bereits erwähnt, ist die Kompression einer der Schlüssel zur erfolgreichen Aufnahme von HDR-Videos. In den letzten Jahren wurden eine Reihe an HDR-Videokompressionsmethoden vorgestellt. Die Videokompression von HDR-Material wird in One-Stream oder Two-Stream unterteilt (Chalmers u. a., 2016, S. xxvii).

Der One-Stream Ansatz nutzt eine Einzelschicht-Übertragungsfunktion, um den HDR-Inhalt mit einer festen Anzahl an Bit, typischerweise 10 oder 12 Bit,

abzubilden. Ein Problem bei der One-Stream Methode ist, dass sie nicht für 8 Bit Geräte geeignet sind, wozu eine große Zahl an mobilen Geräten zählt. Das führt zu einer großen Einschränkung, da immer mehr Videos auf solchen Geräten konsumiert werden. 51% der Handynutzung ist der Konsum von Videos (Chalmers, S. xxviii).

Beim Two-Stream Komprimierungsverfahren gibt es einen HDR-Eingangsvideostrom zum Encoder, der zwei Bitströme als Ausgabe erzeugt. Diese Methode kann für 8 Bit und höhere Infrastrukturen verwendet werden. Diese Ströme können aus einem standardkonformen Bitstrom bestehen, beispielsweise dem HEVC Main 10- oder H.264-Format und einem anderen Strom, der zusätzliche Daten speichert, um das HDR-Video zu rekonstruieren. Beim Decoder werden diese beiden Ströme wieder kombiniert, um den HDR-Videostream zu erzeugen (Chalmers, S. xxviii).

5.4.3 Bildwiedergabe

2016 wurde ein Konsortium von TV-Herstellerinnen und -Herstellern und Rundfunkanbieterinnen und -Anbietern gegründet, deren Ziel es war, eine Standardisierung von HDR-Wiedergabegeräten zu kreieren. Es wurden zwei Definitionen von HDR bekanntgegeben:

- 1000 cd/m^2 Spitzenhelligkeit und $< 0,05 \text{ cd/m}^2$ Schwarzwerte (Kontrastverhältnis 20.000 :1)
- $> 530 \text{ cd/m}^2$ Helligkeit und $< 0,0005 \text{ cd/m}^2$ Schwarzwerte (Kontrastverhältnis 1.080.000: 1)

(Chalmers, S. xxviii)

Zum Vergleich: ein SDR-Bild hat typischerweise Helligkeitswerte im Bereich von $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis 100 cd/m^2 (Duenas, 2015).

Diese beiden Definitionen für HDR wurden ausgewählt, um Herstellerinnen und Hersteller diverser Fernsehtechnologien zufrieden zu stellen. Die erste Methode ist für LED-basierte (Light Emitting Diode) Fernseher gedacht, die eine höhere Helligkeit aufweisen, aber deren Schwarzwerte unterlegen sind. Die zweite Option ist für OLED-basierte (Organic Light Emitting Diode) Fernsehgeräte gedacht, die tiefe Schwarzwerte, aber viel niedrigere Spitzenhelligkeitswerte haben (Chalmers, S. xxix).

Seit der Bekanntgabe dieser Definitionen vermarkten viele TV-Hersteller deren Fernsehgeräte als HDR-fähig. Diese zeigen jedoch große Einschränkungen, da sie kein allgemein helleres Bild bieten. Stattdessen wird das durchschnittliche Bildniveau der Frames beibehalten und ein HDR-Effekt, durch die Bereitstellung

mehrerer Details in den dunkleren Regionen und helleren Hervorhebungen, erreicht (Chalmers, S. xxix).

6 UHD versus HDR

High Definition Television (HDTV) ist ein Sammelbegriff für eine Reihe an Fernsehnormen und ist derzeit noch die am eisten verwendete. Jedoch gewinnt Ultra High Definition Television (UHDTV) immer mehr an Präsenz.

Es wird zwischen UHD-1 und UHD-2 unterschieden. Unter UHD-1 wird eine Bildauflösung von 3840 x 2160 Pixel verstanden. UHD-2, auch unter dem Namen 8K bekannt, zeichnet Auflösung von 7680 x 4320 Pixel aus. Diese Auflösung bietet eine Pixelanzahl sechzehnmal höher als Full HD. (Duenas, 2015)

UHD-1 wird oftmals fälschlicherweise als 4K bezeichnet. Das Format 4K steht, im Gegensatz zu UHD, für ein Kinoformat. 4096 x 2160 Pixel ist die Auflösung von 4K, welche somit größer als die von UHD-1 ist.

In Tabelle 13 ist eine genaue Auflistung der Parameter von UHD angeführt.

Auflösung	3840 x 2160 und 7680 x 4320
Bildrate	max. 120 Hz
Farbquantisierung	10 Bit oder 12 Bit mit 4:2:2 Farbunterabtastung

Tabelle 13. UHD-Spezifikationen.

UHD steht somit, im Vergleich zu High Definition oder Full High Definition, für eine höhere Auflösung. UHD-TV profitiert aber neben einer höheren Auflösung auch von anderen visuellen Qualitätsverbesserungen, wie zum Beispiel High Dynamic Range. Wie bereits im Kapitel 5.2.4 *ITU-R-Empfehlungen* beschrieben, basieren die meisten Systeme noch auf der ITU-R-Empfehlung BT.709, wohingegen High Dynamic Range mit BT.2020 einen viel größeren Farbraum ermöglicht (Duenas, 2015).

Da die Hollywood Studios UHD pushen wollen, geben sie [...] keine HDR Inhalte ohne UHD raus. Deshalb ist das derzeit eine Pattsituation zwischen Content Owner und Content Provider. Diese Lücke versuchen einige Firmen zu schließen, indem sie SDR Inhalte nachträglich mit intelligenten Algorithmen auf HDR hochrechnen. (Widtmann, 2017)

Der Elektronikkonzern Sony sieht eine wachsende Nachfrage nach HDR-Inhalten, und das nicht nur bei 4K, sondern auch bei HD. Es gibt Kundinnen und Kunden, die nicht auf UHD umsteigen wollen, aber Interesse an HDR haben. Sony ist der Meinung, dass es eine gute Lösung ist, HDR nicht nur mit UHD zu verbinden, sondern auch HDR-HD anzubieten. Daher hat Sony Firmware-Upgrades und Software-Updates entwickelt, um zahlreiche Geräte aus der eigenen Produktpalette HDR-fähig zu machen (film-tv-video.de, 2017b).

Begriffe wie UHD, Full HD und 4K haben bei Verbraucherinnen und Verbrauchern zu Verunsicherungen geführt. Es gibt eine gemeinsame Spezifikation, die der Konsumentin und dem Konsumenten die Sicherheit geben soll, dass sie beim Kauf eines HDR-Fernsehers auch wirklich die Mindestqualität bekommen, die sie sich erwarten. Diese Spezifikation wird Ultra HDR Premium genannt und beinhaltet Vorgaben in Bezug auf die Auflösung, dem Farbraum, die Farbtiefe und die Unterstützung von High Dynamic Range. Fernseher, die das Logo Ultra HD Premium tragen müssen Inhalte mit einer Auflösung von mindestens 3840 x 2160 Pixel wiedergeben können (Heuzeroth, 2016).

UHD und HDR sind jedenfalls die Zukunft und werden sicherlich kein kurzweiliger Trend bleiben. Die Möglichkeiten diese beiden Techniken zu nutzen um die Bildqualität zu verbessern sind enorm und werden sicherlich bald ein „Muss“ für jeden Content-Producer/Anbieter sein. [...] HDR Footage wird schon sehr viel Angeboten. Gerade auf YouTube und Netflix gibt es schon sehr viel Content wobei man auch erwähnen muss, dass auf YouTube die Kompression leider doch sehr spürbar ist. (Gstöttinmayr, 2017)

7 HDR in der Produktion

Hochwertige Videos können auf zwei Arten erfasst werden: durch die Verwendung von speziellen Videoaufnahmegegeräte, die einen verbesserten Dynamikbereich haben, und durch das Nutzen von Standard-Hardware, um einen Satz von Bildern zu erfassen und diese Frames dann zu kombinieren, um den Dynamikbereich zu erweitern. Das Aufzeichnen von HDR-Material beinhaltet meist das Nutzen von Sensorelementen mit verbessertem Dynamikbereich (Chalmers u. a., 2016, S. 3).

Es gibt bereits einige Firmen, die Produkte produzieren, um die Aufnahme in HDR möglich zu machen. Beispielsweise bietet der Elektronikhersteller Sony zahlreiche Produkte aus der eigenen Gerätepalette, wie Kameras und Monitore, die HDR-fähig sind (kameramann.de, 2017b).

7.1 Sony

Kameras, wie die Sony PMW-F55 und PMW-F5, erlauben lineare RAW-Aufnahmen mit 16 Bit. Unter dem RAW-Format wird das jeweilige Dateiformat in Kameras verstanden, dass ohne Bearbeitung auf das Speichermedium geschrieben wird. Des Weiteren gibt es den tragbaren Recorder AXS-R7 der HDR-Aufzeichnungen ermöglicht. Auf der NAB 2017 kündigte Sony das neue Aufnahmeformat **X-OCN** an. Während die Firma für High-End-Produktionen wie Kinofilme weiterhin das Format RAW empfiehlt, wird für kleinere Produktion das Format X-OCN empfohlen. Dabei können die RAW-Funktionalitäten bei geringerem Datenvolumen genutzt werden. Dieses Format steht bereits für die Sony PMQ-F55, den F5-Kameras und dem AXS-R7-Recorder zur Verfügung (kameramann.de, 2017b).

Außerdem arbeitet Sony mit anderen Herstellern gemeinsam an der Entwicklung weiterer Produkte die X-OCN unterstützen, wie beispielsweise Autodesk, Avid, Blackmagic Design und Grass Valley (kameramann.de, 2017b).

Auch in der Liveproduktion gibt Sony Änderungen bekannt: SR Live for HD kann nun neben UHD auch für HD genutzt werden. Hierbei ist somit eine Kombination von HD und HDR möglich, ohne die Auflösung des Bildes auf 4K zu vergrößern. Der Kamera-Output wird dann in S-Log3, BT.2020 HDR-HD konvertiert. Im HDR

Production Converter Sony HDRC-4000 wird dieses Format dann in ein standardisiertes Perceptual Quantization (PQ) oder Hybrid Log-Gamma (HLG) umgewandelt (kameramann.de, 2017a).

Unter S-Log wird ein Aufnahmeverfahren verstanden, welches die maximalen Fähigkeiten des Sensors ausschöpft, direkt aufzeichnet und somit einen Dynamikumfang von 1.300% ermöglicht. Es wird unterschieden zwischen S-Log 2 und S-Log 3. Die S-Log 2-Methode erlaubt eine 14-stufige maximale Kurve, also kann ein Bild wiedergegeben werden, das mit 14 Stops aufgenommen wurde. S-Log 3 kann Bilder wiedergeben, die mit bis zu 16 Stops gedreht wurden (Chapman, 2016).

Weitere Camcorder, wie der Camcorder PXW-FS5 und PXW-Z150 sind in der Lage, HLG (Hybrid Log-Gamma) zu nutzen und über ein Software-Upgrade können weitere HDR-Fähigkeiten freigeschaltet werden (kameramann.de, 2017a).

Auf der IBC 2017 stellte Sony drei neue Camcorder vor, nämlich die CDCAM PXQ-Z90, das Model NXCAM HXR-NX80 und die Handycam FDR-AX700. Alle drei Kameras können 4K-HDR-Aufnahmen mit 3840 x 2160 Pixel erfassen. Die IBC (International Broadcasting Convention) ist zusammen mit der NAB eine der beiden weltweit wichtigsten Fachmessen im Bereich der Film-, Fernseh- und Rundfunkproduktion (kameramann.de, 2017d).

7.2 Panasonic

Auch Panasonic erweitert seinen Fokus auf HDR. Dies gab der Elektronikkonzern ebenfalls auf der IBC 2017 bekannt. Studiokameras der Produktpalette sollen auf HDR in HD und 4K aufgerüstet werden. Die bereits existierenden HDR-Fähigkeiten der Studiokameras AK-HC5000 (Full HD) und AK-UC3000 (4K) sollen im Oktober 2017 freigeschaltet werden (kameramann.de, 2017c).

7.3 Blackmagic Design

Die Firma Blackmagic Design produziert digitale Filmkameras und entwickelt Videobearbeitungssoftware wie beispielsweise das Farbkorrekturprogramm DaVinci Resolve. Im März 2017 stellte Blackmagic das neue Produkt ihrer Palette vor, nämlich den URSA Mini Pro, eine 4K HDR-fähige Kamera. Eine Bildqualität von 4608 x 2592 Pixel ist möglich und neben dem Farbraum BT.709 unterstützt diese Kamera HDR-Digitalfilmproduktionen in BT.2020 (www.blackmagicdesign.com, 2017).

7.4 Atomos

Atomos hat bereits seit Anfang 2016 mobile Rekorder im Sortiment, die 4K-HDR unterstützen. Des Weiteren steht für einen optimalen Workflow ein 10 Bit Monitor zum Kauf zur Verfügung. Dieser Monitor hat die Atom-HDR-Funktion, womit ein fertiges, optimales HDR-Bild angezeigt wird. Durch AtomHDR soll es möglich sein, schon während der Aufnahme das Endresultat zu sehen. Dies kann besonders bei der Einstellung der Belichtung helfen (kameramann.de, 2016b).

7.5 HDR-Produktions-Workflow

Es ist ein neuer Videostandard erforderlich um HDR-Videos vom Studio zum Verbraucher zu übermitteln. Unter Workflow wird ein Arbeitsablauf oder eine Arbeitsfolge verstanden. Der neue Standard muss nicht nur qualitativ hochwertige Videos liefern, sondern auch:

- Eine kostengünstige Dekodierung ermöglichen
- Minimale Auswirkung auf bestehende Übertragungs- und Speicherkanäle haben, dass bedeutet eine niedrige zusätzliche Bitrate verglichen zum SDR-Video
- Einen effizienten Content-Erstellungsworkflow zulassen
- An die breite Vielfalt von HDR-Bildschirmen, die am Markt verfügbar sind, gerichtet sein

(SMPTE, 2015, S. 26)

Nicht nur qualitativ sehr hochwertige Bildschirme sollen von dem optimalen Bild profitieren, sondern auch andere Geräte wie das Tablet oder Smartphones. Ein Forschungsprojekt zeigt, dass das optimale Ergebnis für ein breites Spektrum an Helligkeitswerten in der Praxis von zwei Referenzklassen abgeleitet werden kann: eine hohe Helligkeits-HDR-Klasse und eine SDR-Klasse. Diese beiden Klassen sind verwandt und der Unterschied zwischen ihnen kann mit einem Satz von Parametern erfasst werden. Die HDR-Kodierung kann durch das Hinzufügen von niedriger Bitrateninformationen zu einem der zwei Videostreams realisiert werden (SMPTE, 2015, S. 26).

In Abbildung 31 ist sichtbar, wie das HDR-System von Philips funktioniert.

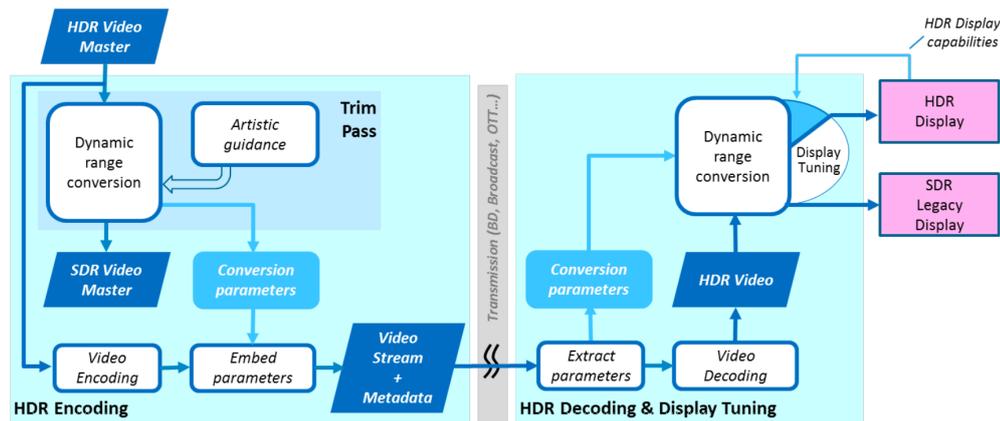


Abbildung 32. Philips HDR-System.

Der Prozess beginnt mit dem HDR-Video, das auf einem Referenz-HDR-Monitor dargestellt wird, also hohe Helligkeit und niedrige Schwarzwerte. Das SDR-Video wird im Encoder halbautomatisch abgeleitet: Zuerst wird ein automatisches Tone Mapping vorgeschlagen. Eine Coloristin oder ein Colorist bringt dann Änderungen beziehungsweise Korrekturen ein, um das SDR-Video zu optimieren. Die Änderungen werden in Parametern berechnet und verarbeitet. Wenn sowohl HDR- also auch SDR-Klassen verfügbar sind, werden diese Parameter auch automatisch kalkuliert (SMPTE, 2015, S. 26).

Das HDR-Video wird kodiert, übertragen und dekodiert, unter der Verwendung eines standardisierten 10 Bit Codecs, beispielsweise der HEVC-Codec. Die Farbparameter werden im Encoder zum HDR-Videostream addiert und als Metadatei übertragen. Diese Parameter werden im Decoder extrahiert und in Kombination mit dem dekodierten HDR-Video verwendet, um die Dynamik anzuwenden. Somit ist das Signal optimiert für die Fähigkeiten des angeschlossenen Bildschirms, was zwischen SDR zu HDR variieren könnte (SMPTE, 2015, S. 26).

Bei Broadcast-Anwendungen wird der Schritt der Korrektur des automatischen Tone Mappings durch eine Coloristin oder einem Coloristen weggelassen (SMPTE, 2015, S. 26).

Die Hauptmerkmale des Philips HDR-Systems sind eine hochwertige High Dynamic Range, ein Single-Stream, sehr geringe zusätzliche Bandbreite und 10 Bit-Kodierung und -Dekodierung (SMPTE, 2015, S. 26).

7.6 Veränderung Workflow

Durch den Umstieg von Standard Dynamic Range (SDR) auf High Dynamic Range (HDR) kommt es zu einigen Änderungen im Produktionsworkflow. Wie in

Abbildung 31 gezeigt wird, sind die Grundbausteine des Workflows gleich, jedoch müssen zusätzliche Parameter bedacht werden.

Bei der Aufnahme von HDR-Videos braucht es entsprechende Kameras und Recorder, die diese Aufnahme unterstützen, wie beispielsweise der Camcorder CDCAM PXQ-Z90 von Sony. Des Weiteren ist es von Vorteil, während der Produktion einen HDR-fähigen Vorschaumonitor zu haben. Bestenfalls mit der Möglichkeit, zwischen SDR und HDR zu wechseln. Größere Speichermedien sind notwendig, beziehungsweise muss beachtet werden, dass Dateien in HDR eine viel größere Datenmenge hat als SDR, und somit mehr Speicherbedarf notwendig ist. Ein einzelner HDR-Frame, mit unkomprimierter UHD 4K-Auflösung (3840 x 2160 Pixel) und Farbabtastung von 4:4:4, benötigt etwa 94,92 MB an Speicherplatz. Aufgerechnet auf einen Clip der eine Minute lang ist, mit 30 Bildern die Sekunde, kommt das auf eine Dateigröße von 166 GB.

SDR hat ja nur 6 Stops an Dynamic Range und die meisten Kameras filmen schon seit Jahren mit 14+Stops, also man könnte rein theoretisch alles was zb. eine Arri-Alexa in den letzten 10 Jahren gefilmt hat auf HDR neu rausbringen. Somit denke ich, der Content-Pool an HDR Material wird sich sicherlich sehr schnell vergrößern, das Hauptproblem derzeit sind eher noch die Monitore, die in ihrer Nits-Anzahl noch sehr beschränkt sind bzw. nicht den ganzen Bildschirm in voller Leuchtkraft abdecken können. (Gstöttmayer, 2017)

8 HDR in der Postproduktion

Einer der frühesten Bedenken in Bezug auf die Lieferung von HDR war, ein geeignetes Format zu finden, das sowohl den Farbraum, als auch den Dynamikbereich beibehält. Anfangs wurde angenommen, dass eine höhere Bittiefe wie beispielsweise 12 Bit, eine 4:4:4 Kodierung, sowie die Verwendung des CIE 1931-Farbraums nötig wäre. Dem ist aber nicht so. Es wurde ein Format kreiert, das 10 Bit, 4:2:0 Kodierung, sowie den Farbraum BT.2020 benötigt. Das Format, basierend auf dem HEVC Main 10 Profil, wurde HDR10 genannt (Duenas, 2015).

Durch die größeren Datenmengen [aufgrund von HDR] muss zwangsweise ein besserer Codec verwendet werden, der eine höhere Kompressionsrate bietet. Ein Kandidat dafür wäre HEVC (H.265). Jedoch muss man dafür alle Inhalte nochmal neu produzieren (transcodieren) und die Verwendung des HEVC Codec untersteht einem Patent und somit fallen Lizenzkosten für uns zusätzlich an. (Widtmann, 2017)

„Der wichtigste Aspekt ist trotzdem in welchen Codecs der Content an die Endgeräte des Konsumenten geliefert wird, da einem die Auflösung und HDR nichts bringt, wenn durch die Kompression nichts von dem überbleibt“ (Gstöttnmayr, 2017).

8.1 Codecs und Formate

Derzeit gibt es zwei große HDR-Formate in der Medienbranche, nämlich HDR10 und Dolby Vision. **HDR10** ist ein standardisiertes Format, das sowohl bei UHD-Blu-ray Disks als auch bei HDR-Videoströmen üblich ist und Farb- und Helligkeitswerte in einem vordefinierten Bereich definiert. **Dolby-Vision** ist vor allem bei Streaming-Diensten zu finden, also beispielsweise bei Video-on-Demand-Plattformen wie Netflix, Maxdome und Amazon Video. Hierbei werden die Farbe und die Helligkeit jedes einzelnen Pixels definiert, basierend auf das jeweilige Profil des Fernsehgerätes. Des Weiteren gibt es das Format HLG (Hybrid Log-Gamma), das vorwiegend im Broadcast-Bereich genutzt wird, beispielsweise macht Sony von diesem Format gebrauch (Greenwald, 2017).

Die meisten HDR-Fernsehgeräte unterstützen entweder das Format HDR10 oder sowohl HDR10 wie auch Dolby Vision.

Da bei HDR quasi „nur“ ein paar Metadaten mitgegeben werden müssen, gibt es keine Probleme mit der Datengröße und dem Codec. Jedoch wird HDR derzeit von 3-4 Standards getragen, die sich leider ziemlich gleichmäßig auf die Endgeräte verteilen: Dolby Vision von Dolby Laboratories, HDR10 von UHD Premium, HDR10+ von Samsung und Amazon, HLG von BBC und Sony (vorwiegend im Broadcast Bereich). (Widtmann, 2017)

8.1.1 HDR10

Das Format HDR10 wurde Ende 2015 vorgestellt und wird unter anderem von Sony, Samsung und LG genutzt. Wenn von HDR die Rede ist, wird meist das Format HDR10 gemeint. Der Standard nutzt den Farbraum BT.2020 in Verbindung mit einer Farbtiefe von 10 Bit und ist ein offener Standard. In Abbildung 32 ist ein Beispiel für den HDR10-Prozess zu sehen. Bei diesem Beispiel wird angenommen, dass die Eingabe ein 4:4:4 lineares RGB-Signal mit einem Farbraum von BT.2020 (Duenas, 2015).

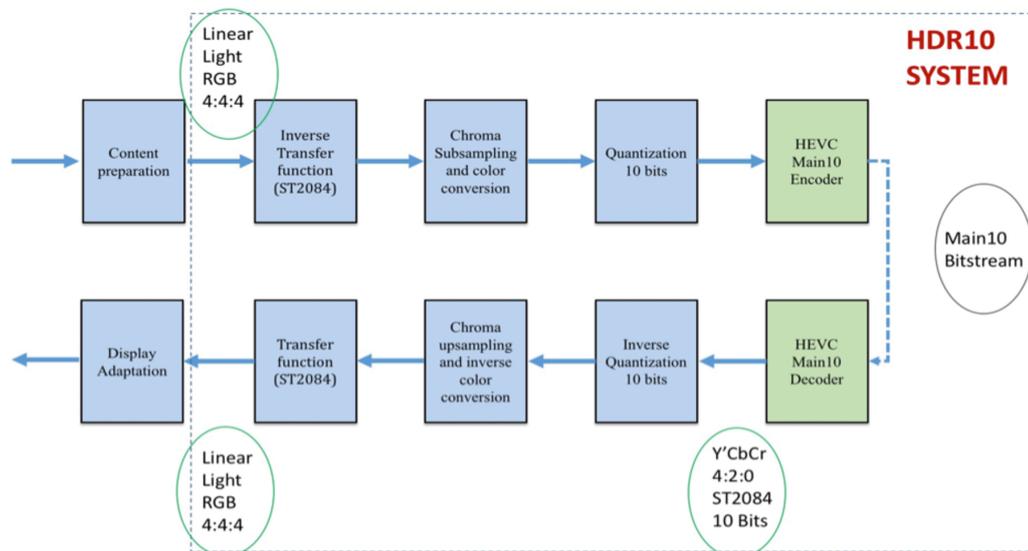


Abbildung 33. HDR10-Prozess.

Das Signal wird basierend auf dem HEVC Main 10-Profil kodiert und enkodiert:

- SMPTE ST 2084: Es wird eine optische Übertragungsfunktion (im englischen: Electro Optical Transfer Function, EOTF) durchgeführt. Des Weiteren wird die Inverse-EOTF, also ein umgekehrtes Verfahren durchgeführt, welches auf die linearen Lichtproben des RGB BT.2020 Farbraum angewendet wird.

- Die Farbe wird in das Format Non Constant Luminance (NCL) YC_bC_r BT.2020 umgewandelt.
- Es wird ein Chroma Sub-Sampling auf 4:2:0 durchgeführt.
- Des Weiteren wird eine Quantisierung auf eine 10 Bit Integer-Darstellung vorgenommen.

(Duenas, 2015)

Mehr als 30 Firmen, die Geräte vertreiben, haben sich zusammengeschlossen und den Namen „UHD Alliance“ angenommen. Verkäufer von HDR-Produkten können sich an dem entsprechenden Logo orientieren (Waldmann, 2016).

In Tabelle 14 ist ersichtlich, durch welche Eigenschaften HDR10 im Wesentlichen definiert wird.

Farbraum	BT.2020
Übertragungsfunktion	SMPTE ST 2084
Darstellung	Non Constant Luminance (NCL) YC_bC_r
Sampling	4 :2 :0
Bittiefe	10 Bit
Kodierung	HEVC Main 10-Profil

Tabelle 14. HDR-Eigenschaften.

HDR10 gehört zu den Spezifikationen von Ultra HD Blu-ray und auch die Video-On-Demand-Plattform Netflix bietet deren HDR-Content in HDR10 an. Bei HDMI-Geräten wie Blu-ray-Playern oder Fernsehern wird eine aktuelle Schnittstelle der Version HDMI 2.0a benötigt. Ältere Geräte, die solch eine Schnittstelle nicht haben, können somit auch durch Software-Updates nicht HDR-kompatibel gemacht werden. Obwohl die Produkte meist mit HDR10 gekennzeichnet werden, könnte es auch sein, dass stattdessen die SMPTE-Standards ST2084 und ST2086 angegeben sind (Grün, 2016).

8.1.2 Dolby Vision

Dolby Vision, von Dolby Laboratories, ist ein Format ähnlich dem HDR10-Format, also ein alternativer Standard für HDR-Videos. Das Format wird beispielsweise von der Ultra High Definition Blu-ray unterstützt. Auch Video-On-Demand Plattformen wie Netflix und Amazon Video nutzen dieses Format für einige Inhalte. Es unterstützt sowohl High Dynamic Range als auch die Farbräume ITU-R BT.2020 und BT.2100, auf allen Stufen, von der Produktion der Inhalte bis hin

zur Übertragung und Wiedergabe. Dolby Vision beinhaltet, wie auch HDR-10, die Electro Optical Transfer Function, also die optische Übertragungsfunktion. Das Format unterstützt Bildschirme mit bis zu 10.000 cd/m² maximaler Helligkeit. Es bietet auch eine Auflösung bis zu 4K und eine Farbtiefe von bis zu 12 Bit (abwärtskompatibel mit aktuellen 8 Bit und 10 Bit Monitoren). Dolby Vision-Inhalte können auf Blu-ray-Disks oder mittels konventionellen Rundfunk- und Online Streaming-Mediendienste geliefert werden (Grün, 2016).

Die HDR-Lösung von Dolby geht über die von HDR10 weit hinaus. Dolby Vision arbeitet mit 12 Bit und ist im Gegensatz zu HDR10 jedoch kostenpflichtig. Hinzu kommen Unterschiede bei der Übertragung, nämlich arbeitet HDR10 mit statischen Metadaten und die Zusatzinformationen von Dolby Vision sind dynamisch. Die Darstellung von Nachtaufnahmen oder Tageslicht können gezielt optimiert werden, wohingegen HDR10 einen Kompromiss für das gesamte Video finden muss (Grün, 2016).

Ein weiterer Unterschied ist, dass ein Fernseher mit Dolby Vision die Metadaten so interpretiert, dass der Bildeindruck am optimalsten wiedergegeben wird, unabhängig davon, über welche Leuchtdichte oder Farbdarstellung der Bildschirm verfügt. Somit soll das Ergebnis auf einem OLED-Fernseher mit beispielsweise 600 cd/m² genauso gut sein wie bei einem doppelt so hellen LED-TV. Womöglich ist daher die Firma LG, die OLED-Bildschirme vermarktet, der erste Unterstützer von Dolby Vision (Schalko, 2017b).

8.1.3 HLG

HLG (Hybrid Log-Gamma) ist ein HDR-Standard und lizenzfrei. Das Verfahren wurde von den Medienhäusern BBC (British Broadcasting Corporation) und NHK (Nippon Hōsō Kyōkai; japanische Rundfunkgesellschaft) entwickelt und kann ohne Lizenzgebühren verwendet werden. Der große Vorteil an HLG ist, dass der Standard mit SDR kompatibel ist. Somit kann HLG aufgrund seiner Nähe zum SDR-Standard, im Gegensatz zu HDR10 und Dolby Vision, ohne Probleme auf herkömmliche SDR-fähigen Wiedergabegeräten dargestellt werden (Palmer, 2017).

HLG wurde als Alternative zu Dolby Digital kreiert, um eine optimiertes Format für den Rundfunk zu schaffen (digitaltveurope.net, 2017).

Es unterstützt den Farbraum BT.2020 und BT.2100, sowie High Dynamic Range. Hybrid Log-Gamma wird beispielsweise von YouTube unterstützt und die Adobe Systeme, wie das Schnittprogramm Premiere Pro, kündigten Ende April 2017 ein Systeme-Update an, das die Unterstützung von HLG beinhaltet (Palmer, 2017).

Ende Mai 2017 veröffentlichte Sony ein Software-Update, das beinhaltet, dass die Fernsehgeräte ab 2016 Hybrid Log-Gamma unterstützen (Schalko, 2017b).

Das Format HLG wurde, im Unterschied zu HDR-10 und Dolby Vision, vorrangig für den Broadcast-Bereich entwickelt. Daher sind im Sendesignal bei HLG sowohl Informationen für das Video mit HDR, aber auch mit gewöhnlichem Kontrast, also Standard Dynamic Range enthalten (Jurran, 2017).

Welcher Standard sich schlussendlich in der Medienbranche durchsetzt, bleibt abzuwarten. Eine Koexistenz von HDR10 und Dolby Vision ist durchaus wahrscheinlich (Waldmann, 2016).

8.1.4 HDR10+

Seit Kurzem gibt es HDR10+, eine Erweiterung von HDR10, die wie Dolby Vision dynamische Metadaten liefert. Dieser Standard wurde von Samsung ins Leben gerufen und deren aktuelle Geräte aus dem Jahre 2016 und 2017 sollen HDR10+-fähig gemacht werden. Die Wahrscheinlichkeit ist groß, dass auch andere TV-Hersteller den Standard nutzen werden, weil die Lizenzen gebührenfrei vergeben werden. Derzeit gibt es noch kaum Videos mit dem HDR10+-Standard, jedoch wollen Amazon Video und 20th Century Fox HDR10+-Material liefern, und auch Warner Bros hat Interesse ausgesprochen (Wedekind, 2017).

8.2 Videobearbeitungsprogramme

In der Medienbranche gibt es einige Videobearbeitungsprogramme, mit denen Videos geschnitten und verarbeitet werden. Das bedeutet, dass mit unterschiedlichsten Formaten und Codecs gearbeitet wird. Mit immer mehr Kameras die in der Lage sind, UHD- und HDR- Material aufzuzeichnen, erhöht sich auch die benötigte Hardwareanforderung für die Postproduktion. Durch die Umstellung von Standard Dynamic Range auf High Dynamic Range kommt es zu neuen Formaten, welche die Arbeit in der Postproduktion beeinflussen könnten.

Einige Videobearbeitungsprogramme haben aktuell noch Schwierigkeiten mit HDR-Footage, insbesondere HLG-Videos.

8.2.1 Premiere Pro CC

Ende April 2017 präsentierte Adobe ein neues Update, das den Programmen Premiere Pro CC und Adobe Media Encoder CC die Möglichkeit schafft, Videofilme mit High Dynamic Range im Format HLG (Hybrid Log-Gamma) zu verarbeiten. Wurde davor das Schneiden von HDR-Footage versucht, kam es meist zu einem Software-Absturz. Der Unterschied zu HDR-10 und Dolby Vision ist, dass es nicht auf Ultra HD Blu-rays oder bei Videostreaming- Diensten zum

Einsatz kommt. Das Format wird lediglich für den Broadcast-Bereich verwendet (Jurran, 2017).

Jedoch gab es anfangs einige Probleme mit dem Update. Beispielsweise kam es dazu, dass 10 Bit Material nach dem Importieren in das Projekt teilweise nur noch als reine Audiodateien angezeigt wurden (Jurran, 2017).

8.2.2 Final Cut Pro X

Das Schnittprogramm Final Cut Pro X, der Nachfolger von Final Cut 7, unterstützt das Bearbeiten von Videos bis zu einer Größe von 4K, allerdings wird High Dynamic Range nicht unterstützt. Es wird lediglich das Arbeiten mit den Formaten RAW, Sony XAVC, AVCHD, H.264 und AVC-Ultra ermöglicht (www.apple.com, 2017).

8.2.3 Final Cut 7

Final Cut 7, die Vorgängerversion von Final Cut Pro X, unterstützt kein HDR- oder UHD-Footage. Der Grund dafür ist, dass das Programm immer mehr an Relevanz verliert und in der Medienbranche kaum noch genutzt wird. Beispielsweise das neueste Update von macOS, also dem Betriebssystem von Apple, fördert Final Cut 7 nicht mehr. Das heißt, nach dem Update, ist das Arbeiten mit dem Programm nicht mehr möglich (Dent, 2017).

8.2.4 Avid Media Composer

Das Videobearbeitungsprogramm Avid Media Composer erlaubt seit dem Update 8.5 das Arbeiten mit Videos aller gängigen Auflösungen und unterstützt auch HDR. Das Programm unterstützt den Standard Dolby Vision (Fürst, 2016).

Das von Avid generierte verlustbehaftete Datenformat DNxHD ermöglicht die Arbeit mit HDR-Material. Das neue Format DnxHR kann mit UHD- und HDR-Footage umgehen und ermöglicht so die Postproduktion von HDR-Material. Ein großer Vorteil ist, dass DNxHR auf DNxHD abwärtskompatibel ist. Des Weiteren kann DNxHD- und DNxHR-Footage innerhalb einer Schnittsequenz gemischt werden, ohne vorkommende Probleme (www.avid.com, 2017).

8.2.5 Blackmagic Design: DaVinci Resolve

DaVinci Resolve ist ein Videobearbeitungsprogramm für den Schnitt und die Farbkorrektur von Videos sowie Audiopostproduktion. Das Programm unterstützt die Formate Dolby Vision und Hybrid Log-Gamma (www.blackmagicdesign.com, 2017).

DaVinci unterstützt so ziemlich jeden Farbraum, von Rec709, Rec2020 bis hin zu Rec2100 und noch vielen anderen wie P3-DCI (Kino Farbraum) [...]. Da auch große Studios wie Company 3 (Pirates of the Caribbean, Star Wars, Wonder Woman, Batman vs. Superman) damit arbeiten und [...] DaVinci bevorzugen, denke ich, das zeigt wohl wie gut die neue Technik in dem Programm schon integriert ist. (Gstöttmayr, 2017)

8.3 Workflow

Ein Problem in der Postproduktion und auch Distribution bleibt die Bandbreite. Die HEVC-Kodierung zeigt regelmäßige Fortschritte, jedoch ist der Codec noch nicht effizient genug. Es gab bereits einen Test, bei dem UHD in Kombination mit HLG erfolgreich per Satellitenübertragen gesendet wurde (digitaltveurope.net, 2017).

HDR-Signale können in jedem Videoproduktionssystem vorhanden sein. Zum größten Teil sind HDR-Schnittstellen mit HDTV kompatibel und UHD TV 10 Bit und 12 Bit Signale können über bestehende Schnittstellen übertragen werden. Wenn jedoch High Frame Rate (HFR) Signale wie 100 und 120 Hz Teil der Implementierung sind, sind eine neue Infrastruktur und neue Schnittstellen erforderlich (SMPTE, 2015, S. 7).

Technicolor schlägt einen effizienten HDR-Workflow vor, der auf drei Grundsätzen basiert:

- Zwei Content-Klassen, eine auf HDR und die andere auf SDR abgestuft.
- Effizienz ist sehr wichtig, um so viel wie möglich mit den gegebenen Ressourcen, wie beispielsweise der Bandbreite, zu erreichen.
- Die Erhaltung der künstlerischen Absicht ist entscheidend.

Technicolor ist ein US-amerikanisches Unternehmen das diverse Herstellungsverfahren für Farbfilm entwickelt (SMPTE, 2015, S. 28).

Abbildung 33 zeigt einen End-to-End Workflow, der die Produktion des Materials und die Bereitstellung für HDR- und SDR-Bildschirmen ermöglicht.

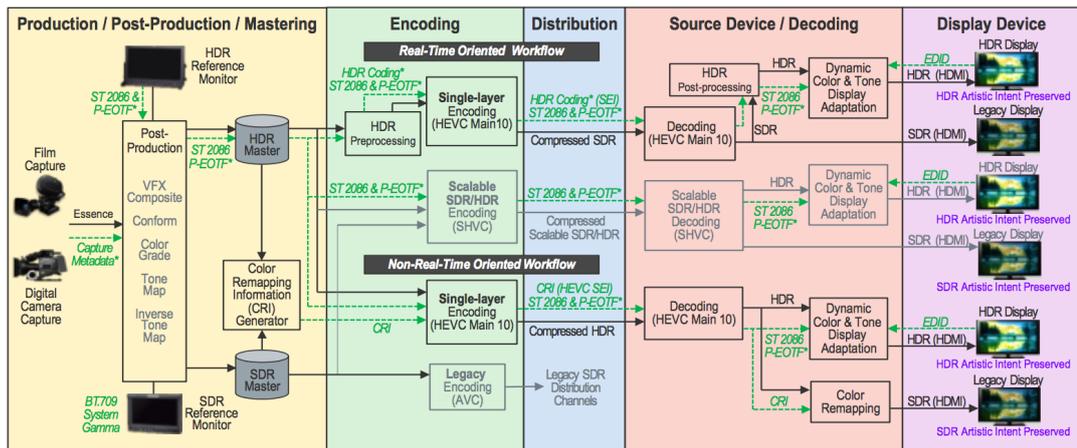


Abbildung 34. Technicolor HDR-Workflow.

Dieser HDR-Workflow basiert auf Technologien und Standards, die einen offenen Ansatz ermöglichen, einschließlich der Single-Layer SDR/HDR HEVC-Kodierung, die MPEG standardisierte CRI-Metadatei (Color Remapping Information) für die Umwandlung von HDR zu SDR und die Übertragungsfunktion P-EOTF (Parameterized Electro-Optical Transfer Function) (SMPTE, 2015, S. 28).

Technicolor identifizierte drei Möglichkeiten, um Inhalte sowohl in HDR als auch in SDR zu liefern:

- Eine rückwärtskompatible Einzelschicht (Single-Layer) SDR- / HDR-Kodierung mit Metadaten
- Single-Layer HDR-Kodierung mit CRI zur Unterstützung von SDR-Bildschirmen
- Eine zukünftige Dual-Layer skalierbare SDR- / HDR-Kodierung

Die einschichtige Kodierung erfordert nur einen HEVC-Decoder im Wiedergabegerät und unterstützt die Echtzeit-Workflow-Anforderungen von Broadcastanwendungen. Die einschichtige HDR-Kodierung mit CRI bewahrt die Qualität und die kreativen Absichten der Produzentin beziehungsweise des Produzenten auf HDR- und SDR-Bildschirmen (SMPTE, 2015, S. 28).

9 HDR in der Distribution

Die Beliebtheit von HDR bei Konsumentinnen und Konsumenten führt dazu, dass immer mehr Produkte auf den Markt kommen müssen, die HDR unterstützen. 2016 besuchten zahlreiche Menschen die International Consumer Electronics Show (CES), eine der weltweit größten Fachmessen für Unterhaltungselektronik in Las Vegas. Dort wurden die ersten kommerziell erhältlichen HDR-Fernseher präsentiert. Mehr lebendige Farben, viel hellere Bilder, mehr Kontrast, tiefere Schwarzwerte und die große Verbesserung der 4K-Auflösung wurden vorgestellt. Sony, LG, Panasonic und Samsung präsentierten HDR als die Technologie der Zukunft an. Vermarktet als UHD-Bildschirme wurden Fernseher mit Dimensionen von über 80 Zoll Bildschirmdiagonale angeboten und auch verkauft (Chalmers u. a., 2016, S. 216).

9.1 HDR-Fernseher

Es gibt bereits einige Firmen, die HDR-fähige Fernsehgeräte produzieren und vermarkten.

9.1.1 Samsung

Beispielsweise setzt Samsung auf die neue QLED-Technik (Quantum Dot Light Emitting Diode; Quantenpunkt-Leuchtdiode). Diese soll eine Helligkeit von bis zu 2.000 cd/m^2 ermöglichen. Außerdem wird fast der komplette DCI-P3-Farbraum abgedeckt, denn der Fernseher nutzt einzeln angesteuerte Nanokristalle, die eine hohe Relevanz für High Dynamic Range hat (Sauter, 2017).

Bei der CES 2017 wurden die drei Fernsehgeräte Q7, Q8 und Q9 vorgestellt. Diese haben eine Auflösung von 3840×2160 Pixel und unterstützen HDR (Sauter, 2017).

Samsung hat einen eigenen Standard definiert: neben dem HDR10 und dem Dolby Vision gibt es nun auch HDR10+. Dieser von Samsung entworfene Standard schickt, wie Dolby Vision und im Gegensatz zu HDR10, dynamische Metadaten mit (Sauter, 2017).

9.1.2 Sony

Der Elektronikkonzern Sony zeigte auf der IFA (Internationale Funkausstellung) einige Innovationen, darunter auch einen OLED-Bildschirm. Die IFA ist eines der ältesten Industriemessen Deutschlands und findet immer Anfang September in Berlin statt. Der 77 Zoll Monitor ist der größte OLED-Fernseher am europäischen Markt und ist ab Oktober 2017 verfügbar. Der 4K OLED BRAVIA Fernseher hat einen 4K HDR-Prozessor und unterstützt somit 4K und HDR. Des Weiteren wurde das Sortiment an 4K HDR-fähigen Heimkino-Projektoren vorgestellt. Sony bietet jedoch auch Fernsehgeräte in 49 Zoll oder weniger an, die HDR unterstützen (Schalko, 2017a).

9.1.3 LG

Auf der IFA präsentierte LG ihre neuesten Fernsehgeräte, nämlich OLED-TVs. Alle LG OLED- und UHD-Bildschirme verfügen über Active HDR, was bei der Anzeige von HDR-Inhalten hellere Highlights und mehr Schattendetails verspricht. Active HDR ermöglicht es LG-Fernsehgeräten das Bild Szene für Szene zu verarbeiten, die Dynamikinformation jeder einzelnen Szene im Video zu generieren, was dann genutzt wird um das gerenderte Bild Szene für Szene zu optimieren. Darüber hinaus unterstützen die 2017 vorgestellten LG OLED-Fernseher mehrere HDR-Formate, nämlich HDR10, Dolby Vision und HLG (www.twice.com, 2017).

Des Weiteren veröffentlichte LG Mitte September 2017 ein Update um beispielsweise den B6 OLED-TV oder den UH7709 LCD-TV HDR-tauglich zu machen. Diese Fernsehgeräte können nun HDR-Material verarbeiten und wiedergeben (Schalko, 2017b).

LG unterstützt den HDR-Standard Dolby Vision (Kuhlmann, 2017).

9.1.4 Philips

Philips setzt neben OLED-Fernseher nun auch auf QLED-Bildschirme. Es wurde ein OLED-Fernseher präsentiert, der eine maximale Helligkeit von 900cd/m^2 ermöglicht. Philip ließ durchblicken, dass seine Fernsehgeräte das Verfahren von Samsung, den Standard HDR10+, unterstützen werden (Kuhlmann, 2017).

9.2 Set-Top-Box & Streaming-Box

9.2.1 Apple TV

Das Technologieunternehmen Apple, das Computer, Smartphones und Betriebssysteme entwickelt und vertreibt, bietet seit einigen Jahren eine Set-Top-

Box namens Apple TV an. Unter Set-Top-Box wird in der Unterhaltungselektronik ein Gerät bezeichnet, das an ein anderes, meist ein Fernsehgerät, angeschlossen wird und damit dem Benutzer zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten bietet. Dieses Gerät wird an einem Bildschirm oder Fernsehgerät angeschlossen und über ein lokales Netzwerk oder dem Internet können Medieninhalte wiedergegeben werden (Fröhlich, 2017).

Ab dem 22. September 2017 bringt Apple die neue Generation von Apple TV auf den Markt, nämlich den Apple TV 4K, eine Streaming-Box die Ultra High Definition und High Dynamic Range unterstützt. Die besondere Neuerung der fünften Generation ist die Unterstützung von HDR10 und Dolby Vision, die vierte Generation lieferte höchstens Full HD (Fröhlich, 2017).

Apple TV unterstützt sowohl das Format HDR10 als auch Dolby Vision, womit es gut ausgerüstet ist in Bezug auf die HDR-Wiedergabe. HD-Content wird jedoch automatisch auf 4K hochskaliert und mit HDR aufgerüstet, was zu einer Verfälschung der Bilder führen kann (Fröhlich, 2017).

9.2.2 Amazon Fire TV

Amazon ist ein amerikanischer Online-Versandhändler mit einer sehr breit gefächerten Produktpalette. Jedoch werden auch eigene Marken vertrieben, wie beispielweise das Fire TV. Fire TV ist eine Box mit dem sich Multimedia-Daten, wie Videos und Audio, über eine Internetverbindung auf ein Fernsehgerät streamen lassen. Unter Streaming wird die gleichzeitige Übertragung und Wiedergabe von im Internet bereitgestellten Audio- und Videodaten verstanden. Seit April 2015 ist dieses Gerät in Österreich lieferbar. Jedoch findet sich auf der Anbieterwebsite selbst bereits eine neue Version von Fire TV, nämlich „Amazon Fire TV mit 4K Ultra HD“. Dieses Gerät soll 4K unterstützen und auch das Streamen von HDR-Footage ermöglichen. Wann dieses Produkt veröffentlicht wird und welche Funktionen es unterstützt, wird in den nächsten Wochen oder Monaten preisgegeben. Jedoch sind sich einige Quellen sicher, dass Amazon Fire TV den Schritt Richtung HDR wagt (Ropel, 2017).

9.2.3 Google Chromecast Ultra

Der Google Chromecast Ultra ist ein Streaming-Media-Gerät, welches das Streamen von UHD- und HDR-Videos ermöglicht. Das Gerät muss an den HDMI-Anschluss eines 4K-Fernsehers angesteckt werden und so ist es möglich mittels App Content zu konsumieren. Im Gegensatz zu Apple TV, unterstützt Google Chromecast Ultra lediglich das Format HDR10 (Greenwald, 2017).

9.2.4 Roku Ultra

Bei Roku Ultra handelt es sich um ein Streaming-Gerät, das nur in Nordamerika und Großbritannien erhältlich ist. In den USA ist Roku sogar Marktführer in Bezug auf TV-Streaming. Im Herbst 2017 soll die neueste Version des Gerätes präsentiert werden, ein TV-Streaming-Gerät das 4K und HDR unterstützt. Roku Ultra unterstützt, wie auch Google Chromecast Ultra, nur das Format HDR10 (Klenzmann, 2017).

9.2.5 Nvidia

Auch der Konzern Nvidia bringt einen Media-Streamer auf den Markt, den Nvidia Shield TV. Das Produkt unterstützt sowohl 4K als HDR und soll ab 21. September 2017 am Markt erhältlich sein. Das Streaming-Gerät unterstützt das Format HDR10 (Rocco, 2017).

9.2.6 UHD-Blu-ray-Player

Der UHD-Blu-ray-Player Oppo UPD-203 unterstützt bereits seit 2015 das Format Dolby Vision, jedoch nicht HDR10 (Westphal, 2016).

9.2.7 X-Box One S

Die Spielekonsole X-Box One S unterstützt neben der 4K-Auflösung auch das Format UHD. Zur Konsumierung des HDR-Materials wird ein HDR-fähiger Bildschirm benötigt, der den Standard HDR10 unterstützt. Die X-Box unterstützt nicht die Standards Dolby Vision, HLG oder HDR10+ (Microsoft, 2017).

Es gibt bereits einige Spiele am Markt, die HDR anbieten, wie beispielsweise das Ego-Shooter-Spiel Gears of War 4. Auch das Spiel Final Fantasy bietet HDR-Content an. Weitere HDR-unterstützende Spiele sind das Autosimulationsspiel Forza Horizon 3 und das Sportspiel NBA 2K17. Nahezu jedes Spielgenre ist somit vertreten (www.ign.com, 2017).

10 HDR im Broadcasting-Bereich

Ein HDR-Regelbetrieb bei TV-Sendern ist in nächster Zeit eher unwahrscheinlich. Das neue Signal ist nicht kompatibel zu den klassischen Sendungen und muss somit von einem zusätzlichen Sender übertragen werden. Das können sich derzeit nur Pay-TV-Anbieter erlauben. Dolby Digital wäre eine gute Lösung, da das Format HDR Zusatzdaten zum HDTV-Datenstrom addiert, die nur 20 bis 30 Prozent mehr Kapazität benötigen. Dazu muss das Fernsehgerät HDR-fähig sein und einen Dolby-Decoder integriert haben (Seibt, 2015).

10.1 Sky

Sky sendete im August 2017 zum ersten Mal Ultra HD-Material. Nämlich wurde die Formel 1 in Deutschland und Österreich in Echtzeit übertragen. Um die ultrahochauflösenden Bilder empfangen zu können, wird der Sky+ Pro-Receiver benötigt. Dieser bietet auch die Möglichkeit, HDR-Material zu empfangen und wiederzugeben (digitalesfernsehen.de, 2016).

Sky ist derzeit der einzige TV-Anbieter, der ein UHD-Regelprogramm sendet. Der thematische Schwerpunkt bei der Sendung von UHD und HDR liegt derzeit in der Fußballberichterstattung. Hierbei bekommt Sky das fertige Video- und Tonsignal von einem Übertragungswagen geliefert. Die Schwierigkeiten, mit denen Sky umgehen muss, sind, dass weniger Equipment zur Verfügung steht und die Datenraten viel höher sind (film-tv-video.de, 2017a).

10.2 ProSiebenSat.1 & RTL Deutschland

Die Vertreter von ProSiebenSat.1 und der Mediengruppe RTL Deutschland zeigten sich beim Kongress der ANGA COM in Bezug auf UHD und HDR eher verhalten. Es wird zwar in manchen Bereichen experimentiert, aber eine Umstellung von HD auf UHD ist in nächster Zeit nicht geplant (Mantel, 2017).

11 Video-On-Demand

Trotz der Tatsache, dass HDR von vielen Fernsehgeräten unterstützt und somit von den führenden Herstellern verbreitet wird, ist der Inhalt dafür immer noch sehr begrenzt.

11.1 Netflix

Seit April 2016 hat die Video-On-Demand Plattform Netflix Videocontent in HDR im Angebot, nämlich wurde die erste Staffel der Serie Marco Polo in 4K HDR angeboten. Dazu musste jedoch das Netflix-Abonnement geändert werden, ein Umstieg auf den kostenintensiven Tarif Netflix 4K war unumgänglich. Generell ist ein Abonnement zum Streamen Voraussetzung. Neben dem Abo wird ein HDR-Fernseher sowie eine Internetverbindung von mindestens 20 Mbps (Megabits per second) benötigt, um 4K HDR-Content ohne lästige Ladepausen darstellen zu lassen (Chalmers u. a., 2016, S. 216).

Seit Ende September 2017 ist es nun auch möglich, Dolby Vision-Material von Netflix auf dem iPhone und iPad der Marke Apple abzuspielen. Derzeit handelt es sich dabei nur um spezielle Modelle, wie das iPhone 8 oder das iPhone 8 Plus. Das in naher Zukunft erhältliche iPhone X soll auch Dolby Vision-Videos unterstützen können (Becker, 2017).

Netflix bietet auch an, HDR-Videos im Offlinemodus zu konsumieren. Beim Offlinemodus werden die Videos heruntergeladen und können somit nach dem Download ohne Internetverbindungen konsumiert werden (Sawall, 2016).

11.2 Maxdome

Die Video-On-Demand Plattform Maxdome bietet weder HDR-Material, noch UHD-Content zum Streamen an.

UHD/HDR Inhalte, die man bei der Konkurrenz sieht (Netflix, Amazon Video), sind zum Großteil auf Eigenproduktionen begrenzt. Hollywood Inhalte wird man auch auf diesen Plattformen kaum in UHD finden. maxdome baut hauptsächlich auf Hollywood Inhalten auf. Für diese Inhalte muss man die MovieLabs Richtlinien für UHD berücksichtigen,

welche zu erhöhten operativen Kosten, starken Einschränkungen und erheblichen technischen Aufwänden führen. [...] Deshalb planen wir derzeit keine Einführung von UHD bei maxdome. [...] Das ist auch einer der Gründe, warum wir bei maxdome eher Richtung HDR gehen. (Widtmann, 2017)

Bernhard Widtmann ist Media Architect der Maxdome GmbH, ein Unternehmen der ProSiebenSat. 1 Media SE.

11.2.1 MovieLabs

MovieLabs ist ein Gemeinschaftsunternehmen das von Disney, 20th Century Fox, Sony Pictures, Universal und Warners Bros. gegründet wurde. Diese Unternehmen erkannten den Trend zu UHD und nahmen sich die Vorteile an dieser Entwicklung (Motion Picture Laboratories, 2013, S. 1).

Das Ziel der sogenannten High-Level Spezifikationen hat folgende Ziele:

- Der Konsumentin und dem Konsumenten Unterhaltungsinhalte in höchster Qualität bieten.
- Die künstlerische Absicht des Schöpfers muss, während der gesamten Distributionspipeline, bewahrt werden.
- Integrierte, erweiterbare und zukunftssichere Lösungen müssen angeboten werden.
- Es sollen dem Bildschirmherstellern Anreize gegeben werden, um am Markt mit klar definierten Produkten konkurrieren zu können.

(Motion Picture Laboratories, 2013, S. 1)

Am Markt gibt es einige Technologietrends:

- Display-Auflösung (von Full HD bis Ultra HD)
- Farbdarstellung (Farbbandbreite und Bittiefe)
- Displayhelligkeit und Dynamikbereich
- Videoverarbeitungsleistung (Bildwiederholungsrate Umwandlung, räumliche Skalierung, Unterstützung diverser Formate)
- Gesamtverarbeitungsleistung und –fähigkeiten von Displays

(Motion Picture Laboratories, 2013, S. 1)

In Anbetracht dieser Ziele, zusammen mit den Technologietrends am Markt, hat MovieLabs folgende Spezifikationen, als Grundlage für die nächste Generation von Produkten im Jahre 2014 und später, entworfen.

- Auflösung: die Videogeräte der nächsten Generation müssen mindestens eine Auflösung von 3840 x 2160 Pixel unterstützen.
- Bildwiederholungsrate: 24p, 25p, 30p, 48p, 60p, 96p, 100p, 120p

- Farbraum: Der Content wird im CIE XYZ-Farbraum geliefert, transportiert entweder als X'Y'Z' oder in einem farbdifferenzierten Y'DzDx Format.
- Das Wiedergabegeräte und die nächste Generation an Bildschirmen müssen die Fähigkeiten haben, den XYZ kodierten Inhalt zu verarbeiten und in realisierbare Farben umzuwandeln.
- Dynamic Range: Das Format soll eine Spitzenhelligkeit von 10.000 cd/m² und eine schwarze Leuchtdichte von 0,0005 cd/m². Das Zielkontrastverhältnis ist somit 2.000.000:1.
- HDR XYZ-Content wird, mittels Übertragungsfunktion, in einen nicht linearen Raum kodiert.
- Bittiefe: Das Ziel der Bittiefe ist mindestens 12 Bit.
- Chroma Subsampling: 4:2:0, 4:2:2, 4:4:4

(Motion Picture Laboratories, 2013, S. 4)

Motion Picture Laboratories, Inc. (MovieLabs) ist der Autor und Schöpfer dieser Spezifikation. Dieser Urheberrechtshinweis von MovieLabs muss in allen Reproduktionen enthalten sein. Entweder in Form einer digitalen Datei, oder auch innerhalb eines Videodatenstroms (im englischen: video elementary stream).

„MovieLabs erwartet auch Session-Based Forensic Watermarking und Revocation Prozesse, welche für uns nicht so ohne weiteres technisch zu implementieren sind“ (Widtmann, 2017).

11.3 Amazon Video

Der amerikanische Online-Versandhändler bietet neben dem Amazon Fire TV auch eine Video-On-Demand-Plattform, auf der das Streamen von Filmen und Serien möglich ist. Im April 2016 hatte Amazon Video 27 4K HDR-Filme im Angebot. Um die Filme in bester Qualität zu genießen, müssen die Konsumentin und der Konsument Amazon Video abonnieren und einen 4K HDR-Monitor besitzen (Chalmers u. a., 2016, S. 216).

11.4 YouTube

Die Videoplattform YouTube bietet seit November 2016 die Funktion, HDR-Videos hochzuladen und zu verbreiten. YouTube ist der Meinung, dass HDR die beste Bildqualität liefert, die es jemals auf dieser Plattform gegeben hat. Auf HDR-fähigen Monitoren, die das Format HLG unterstützen, können somit HDR-Videos über YouTube konsumiert werden. Endgeräte die HDR nicht

unterstützen, zeigen das Video in gewohnter Auflösung, ohne Qualitätsverlust (Robertson & Verma, 2016).

Auch auf mobilen Endgeräten soll HDR wiedergegeben werden können. Wer ein Smartphone mit HDR-Unterstützung besitzt, kann bereits HDR-Videos streamen. Seit Anfang September 2017 schaltet YouTube immer mehr Funktionen frei, um das HDR-Streaming auf mobilen Endgeräten zu ermöglichen. Beispielsweise auf dem Samsung Galaxy Note 8, dem LG V30 und dem Sony Xperia XZ Premium wird die HDR-Wiedergabe bereits unterstützt. Auf YouTube findet sich auch einige Channels, die HDR-Footage zum Ansehen bereitstellen (Költzsch, 2017).

Probleme beim Endkunden sind eher überschaubar: Wenn der Streaming Anbieter für UHD einen besseren Codec verwendet, bleibt die benötigte Bandbreite um die 15Mbps. Das entspricht fast der Durchschnittsbandbreite in Deutschland (13Mbps). Bei HDR muss sich der Endkunde im schlimmsten Fall auf eine bestimmte Kombination von Gerät und Streaming Anbieter festlegen. (Widtmann, 2017)

12 Fazit

Die meisten digitalen SDR-Bilder mit einer Farbtiefe von 8 Bit stellen 265 Helligkeitsstufen für den jeweiligen Farbkanal zur Verfügung und erfassen somit nur einen Bruchteil der visuellen Information des realen Bildes. Unser Auge ist zu viel mehr fähig als die Information die uns nach der digitalen Aufnahme präsentiert wird. Das Problem hierbei ist der begrenzte Dynamikbereich, der bereits bei der Bildaufnahme durch diverse Kompressionsverfahren entsteht. High Dynamic Range ermöglicht 32 Bit pro Farbkanal. Somit überschreitet HDR die Begrenzung von Bildinformation und speichert Farbdaten mit höherer Präzision. Es werden mehr Farbinformationen gespeichert, wobei mehr Details in den sehr hellen und sehr dunklen Bereichen des Bildes erhalten bleiben.

Die bisher verwendete ITU-R-Empfehlung BT.709, die bei den herkömmlichen Bildern verwendet wurde, grenzte den Farbraum sehr ein, der für die Bildaufzeichnung und -wiedergabe verwendet wird. Die neuen Empfehlungen BT.2020 und BT.2100 sind ein Teil der Spezifikationen für Ultra High Definition. Hierbei ist eine viel breite Farbskala bei der Aufzeichnung und Wiedergabe von Videomaterial möglich.

Während UHD lediglich eine Vergrößerung der Bildauflösung garantiert, nämlich von 1920 x 1080 bei Full HD auf 3840 x 2160 und 7680 x 4320 bei UHD, bietet HDR eine Verbesserung der Bildqualität. High Dynamic Range kann entweder mit UHD verbunden werden, somit ist eine UHD HDR Auflösung möglich, oder HDR wird mit HD kombiniert, also HD wird mit HDR upgegradet.

Ausführliche Recherchen über den aktuellen Stand von HDR in der Medienbranche haben bewiesen, dass High Dynamic Range immer relevanter wird. Sowohl in der Produktion, als auch in der Postproduktion und Distribution, ist ein Aufschwung in Richtung HDR zu spüren. Durch den Umstieg ergeben sich jedoch einige Änderungen, die beachtet werden müssen.

Um HDR-Content zu produzieren und letztendlich der Konsumentin und dem Konsumenten zu Verfügung zu stellen, muss ein HDR-Workflow eingehalten werden. Es werden HDR-fähige Geräte bei der Produktion benötigt, wie Kameras, Recorder und Monitore. Beispielsweise bietet Sony bereits einige Kameras an, die HDR-fähig sind.

In der Postproduktion muss mit Videobearbeitungsprogrammen gearbeitet werden, die das jeweilige HDR-Format, also Dolby Vision, HDR10, HDR10+ oder HLG, unterstützen. Hierbei ist zu beachten, dass es am Markt derzeit einen Machtkampf in Bezug auf Formate gibt. HDR10 wird für UHD-Blu-ray-Player verwendet und auch die Video-On-Demand-Plattform Netflix nutzt diesen Standard. HDR10+ wird hauptsächlich von Samsung und Amazon Video unterstützt. Auch 20th Century Fox und Warner Bros haben Produktionen in HDR10+ geplant. Dolby Vision wird unter anderem von LG genutzt. Und HLG, der Standard für Broadcasting, wird derzeit von YouTube unterstützt und Sony hat einige Produkte mittels Update HLG-fähig gemacht.

Welcher Standard sich schlussendlich in der Medienbranche durchsetzen wird, bleibt abzuwarten. Eine Koexistenz von HDR10 und Dolby Vision ist durchaus wahrscheinlich. Für Dolby Vision spricht, dass mit dynamischen Zusatzinformationen gearbeitet wird, ein klarer Vorteil bei der Übertragung. Jedoch ist dieser Standard kostenpflichtig. HDR10 kann mit freien Lizenzen verwendet werden, jedoch arbeitet es mit statischen Metadaten, was eine Qualitätsminderung durch die Übertragung bedeutet.

Die meisten Schnittprogramme, abgesehen von dem gerade aussterbenden Final Cut 7, unterstützen UHD und diverse HDR-Standards.

Auch in der Distribution gibt es einige Änderungen. Um HDR-Content zu konsumieren, muss ein HDR-fähiger Bildschirm zur Verfügung stehen.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass das Format High Dynamic Range einige Vorteile mit sich bringt und in der Zukunft wahrscheinlich immer präsenter wird. Es ist noch ein weiter Weg bis HDR täglich produziert und konsumiert werden kann, jedoch gibt es stetig Verbesserungen.

13 Literaturverzeichnis

- Becker, L. (2017, September 22). HDR: Netflix bringt Dolby Vision auf iPhone und iPad. Abgerufen 25. September 2017, von <http://www.heise.de/mac-and-i/meldung/HDR-Netflix-bringt-Dolby-Vision-auf-iPhone-und-iPad-3838247.html>
- Beitinger, A. (2011a, April 1). Farbräume im Vergleich. Abgerufen 3. September 2017, von http://fotovideotec.de/adobe_rgb/farbraeume_im_vergleich.html
- Beitinger, A. (2011b, Dezember 1). Farbraum-Grundlagen. Abgerufen 3. September 2017, von http://fotovideotec.de/adobe_rgb/farbraum-grundlagen.html
- Biebeler, R. (2013). *Video-Codecs*. Fachverlag Schiele & Schön.
- blackmagicdesign.com. (2017). Blackmagic Design: URSA Mini Pro. Abgerufen 25. September 2017, von <https://www.blackmagicdesign.com/at/products/blackmagicursaminipro>
- Bovik, A. C. (2010). *Handbook of Image and Video Processing*. Academic Press.
- Chalmers, A., Campisi, P., Shirley, P., & Olaizola, I. G. (2016). *High Dynamic Range Video: Concepts, Technologies and Applications*. Academic Press.
- Chapman, A. (2016, 12). The great S-Log2 or S-Log3 debate. | XDCAM-USER.COM. Abgerufen 21. September 2017, von <http://www.xdcam-user.com/2016/12/the-great-s-log2-or-s-log3-debate/>
- Dent, S. (2017, August 28). Latest macOS kills pro video editor favorite Final Cut Pro 7. Abgerufen 25. September 2017, von <https://www.engadget.com/2017/08/28/final-cut-pro-7-wont-launch-macos-high-sierra/>

derStandard.at. (2017, Jänner 5). QLED vs. OLED: Samsung facht Systemstreit bei TV-Technik an. Abgerufen 25. September 2017, von <http://derstandard.at/2000050268225/QLED-vs-OLED-Samsung-facht-Systemstreit-bei-TV-Technik-an>

digitalesfernsehen.de. (2016, August 17). UHD-Receiver von Sky überträgt auch in HDR. Abgerufen 25. September 2017, von <http://www.digitalfernsehen.de/UHD-Receiver-von-Sky-uebertraegt-auch-in-HDR.142623.0.html>

digitaltveurope.net. (2017, Februar 3). The future of Ultra HD » Digital TV Europe. Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.digitaltveurope.net/682072/the-future-of-ultra-hd/>

Duenas, A. (2015, November 16). How HEVC/H.265 supports High Dynamic Range (HDR) and Wide Color Gamut (WCG). Abgerufen 21. September 2017, von <https://ngcodec.com/news/2015/11/16/fpgas-are-best-for-encoding-high-dynamic-range-hdr-content-with-hevch265>

E&W. (o. J.). Abgerufen von <http://www.elektro.at/13.9.2017-LG-neue-OLED-TV-Generation-undamp-Hausgerundaumlte-mit-Sprachsteuerung.html>

Filmpuls, R. (2017a, Jänner 30). Filmformate, Seiten-Verhältnis, Bildformat und Bildgrößen. Abgerufen 25. August 2017, von <https://filmpuls.ch/filmformate/2/>

Filmpuls, R. (2017b, Februar 13). Videoformate von A-Z: Alles was Sie darüber wissen müssen. Abgerufen 1. September 2017, von <https://filmpuls.ch/videoformate/2/>

film-tv-video.de. (2017a, März 28). UHD in Deutschland: Sky ist on Air. Abgerufen 25. September 2017, von <https://www.film-tv-video.de/productions/2017/03/28/uhd-deutschland-sky-on-air/>

film-tv-video.de. (2017b, Mai 13). NAB2017-Video: HDR-Workflows von Sony. Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.film-tv-video.de/event/2017/05/13/nab2017-sony-hdr-workflows/>

- Fröhlich, C. (2017, September 21). Apple TV 4K im Test: Scharfe Versprechen. Abgerufen 21. September 2017, von <http://www.stern.de/7627654.html>
- Fürst, M. (2016, Februar 4). HDR-Support mit Media Composer 8.5. Abgerufen 25. September 2017, von <https://www.digitalproduction.com/2016/02/04/hdr-support-mit-media-composer-8-5/>
- Ghanbari, M. (2011). *Standard Codecs: Image compression to advanced video coding, 3rd Edition*. Stevenage: The Institution of Engineering and Technology.
- Greenwald, W. (2017, September 12). Apple TV 4K vs. Roku Ultra vs. Chromecast Ultra: 4K Showdown. Abgerufen 21. September 2017, von <http://uk.pcmag.com/feature/91141/apple-tv-4k-vs-roku-ultra-vs-chromecast-ultra-4k-showdown>
- Grün, F.-O. (2016, August 10). HDR und Dolby Vision – was ist der Unterschied? Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.digitalzimmer.de/artikel/wissen/hdr-10-dolby-vision-unterschied/>
- Gstöttinmayr, V. (2017, September 17). Diplomarbeit - Befragung [Mail].
- Gugel, B. (2005, Dezember 2). Codecs und Formate. Abgerufen 27. August 2017, von <https://www.gugelproductions.de/blog/2005/codecs-und-formate.html>
- Heuzeroth, T. (2016, Jänner 6). UHD, HDR, 4K: TV-Hersteller erfinden das Super-Kürzel. *DIE WELT*. Abgerufen von <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article150679618/So-treiben-uns-die-TV-Hersteller-in-den-Wahnsinn.html>
- Hoefflinger, B. (2007). *High-Dynamic-Range (HDR) Vision: Microelectronics, Image Processing, Computer Graphics*. Springer Science & Business Media.
- Jurran, N. (2017, April 20). HDR-Update für Premiere Pro CC - und gleich eine Warnung, dieses einzuspielen. Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.heise.de/newsticker/meldung/HDR-Update-fuer-Premiere-Pro-CC-und-gleich-eine-Warnung-dieses-einzuspielen-3689234.html>

kameramann.de. (2016a, Juli 7). ITU kündigt neuen HDR-Standard an. Abgerufen 21.

September 2017, von <http://www.kameramann.de/technik/itu-kuendigt-neuen-hdr-standard-an/>

kameramann.de. (2017a, März 3). Blackmagic Design bringt URSA Mini Pro.

Abgerufen 21. September 2017, von

<https://www.kameramann.de/technik/blackmagicdesign-bringt-ursa-mini-pro-4-6k/>

kameramann.de. (2017b, April 24). NAB 2017: Sony erweitert HDR-Fähigkeiten im

professionellen Bereich. Abgerufen 21. September 2017, von

<http://www.kameramann.de/technik/nab-2017-sony-erweitert-hdr-faehigkeiten-im-professionellen-bereich/>

kameramann.de. (2017c, April 24). NAB 2017: Sony setzt auf HDR Workflow vom

Drehort bis zum Zuschauer. Abgerufen 21. September 2017, von

<http://www.kameramann.de/technik/nab-2017-sony-setzt-auf-hdr-workflow-vom-drehort-bis-zum-zuschauer/>

kameramann.de. (2017d, September 15). IBC 2017: Panasonic erweitert Fokus auf

HDR, Live & Corporate. Abgerufen 21. September 2017, von

<http://www.kameramann.de/technik/ibc-2017-panasonic-erweitert-fokus-auf-hdr-live-corporate/>

kameramann.de, G. von. (2016b, März 21). Atomos veröffentlicht neue 4K-HDR

Rekorder mit 10-Bit Monitor. Abgerufen 24. September 2017, von

<https://www.kameramann.de/technik/atomos-veroeffentlicht-neue-4k-hdr-rekorder-mit-10-bit-monitor/>

kameramann.de, G. von. (2017e, September 15). IBC 2017: Sony mit drei neuen

Camcordern dabei. Abgerufen 21. September 2017, von

<http://www.kameramann.de/technik/ibc-2017-sony-mit-drei-neuen-camcordern-dabei/>

Kelber, K. (2001). Audio- und Videotechnik.

- Klenzmann, D. (2017, September 21). Roku TV: 4K-Streaming-Stick soll im Herbst 2017 erscheinen. Abgerufen 21. September 2017, von <http://www.ultra-hdtv.net/roku-tv-4k-streaming-stick-soll-im-herbst-2017-erscheinen/>
- Költzsch, T. (2017, September 9). Videos: Youtube bringt HDR auf Smartphones - Golem.de. Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.golem.de/news/videos-youtube-bringt-hdr-auf-smartphones-1709-129965.html>
- Kuhlmann, U. (2017, September 2). Philips will HDR10+ von Samsung unterstützen, Dolby Vision derzeit kein Thema. Abgerufen 25. September 2017, von <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Philips-will-HDR10-von-Samsung-unterstuetzen-Dolby-Vision-derzeit-kein-Thema-3820540.html>
- Lenz, P. (2000, Oktober 25). Das Zeilensprungverfahren - Grundlagen für die Video- und Bildbearbeitung. Abgerufen 26. August 2017, von <http://www.lenz-online.de/interlace/>
- Mantel, U. (2017, Mai 31). UHD: Wer soll das bezahlen, wer hat das bestellt? Abgerufen 25. September 2017, von https://www.dwld.de/nachrichten/61729/uhd_wer_soll_das_bezahlen_wer_hat_das_bestellt/
- Microsoft. (2017). HDR auf der Xbox One S. Abgerufen 25. September 2017, von <http%3A%2F%2Fsupport.xbox.com%2Fde-AT%2F xbox-one%2Fconsole%2Fhdr-on-xbox-one-s>
- Miller, S. (2014). A Perceptual EOTF for Extended Dynamic Range Imagery. Abgerufen von <https://www.smpte.org/sites/default/files/2014-05-06-EOTF-Miller-1-2-handout.pdf>
- Motion Picture Laboratories. (2013). MovieLabs Specification for Next Generation Video - Version 1.0. Abgerufen von <http://www.movielabs.org/solutions-specifications/ultra-hd-and-hdr/>

- Myszkowski, K., Mantiuk, R., & Krawczyk, G. (2008). *High Dynamic Range Video*. Morgan & Claypool Publishers.
- Palmer, P. (2017, April 19). The Latest (and Greatest!) for Premiere Pro CC and Media Encoder | Creative Cloud blog by Adobe. Abgerufen 24. September 2017, von <https://blogs.adobe.com/creativecloud/the-latest-and-greatest-for-premiere-pro-cc-and-media-encoder//>
- Pender, K. (2012). *Digital Colour in Graphic Design*. CRC Press.
- Petersen, B. (2015). Dynamic Range Explained. Abgerufen 20. September 2017, von <https://www.bhphotovideo.com/explora/photography/tips-and-solutions/dynamic-range-explained>
- Poynton, C. (2002, März 8). Chroma subsampling notation. Abgerufen von http://scanline.ca/ycbcr/Chroma_subsampling_notation.pdf
- Poynton, C. A. (2012). *Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces*. Elsevier.
- Reichard, P. (2009, März 18). Videodatenmenge | Mediencommunity 2.0. Abgerufen 29. August 2017, von <https://www.mediencommunity.de/content/videodatenmenge>
- Reimers, U. (2008). *DVB - Digitale Fernsehtechnik - Datenkompression und | Ulrich Reimers | Springer*. Springer.
- Reinhard, E., Heidrich, W., Debevec, P., Pattanaik, S., Ward, G., & Myszkowski, K. (2010). *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. Morgan Kaufmann.
- Robertson, S., & Verma, S. (2016, November 7). True colors: adding support for HDR videos on YouTube. Abgerufen 24. September 2017, von <https://youtube.googleblog.com/2016/11/true-colors-adding-support-for-hdr.html>
- Rocco, N. L. (2017, September 21). Nvidia Shield TV: Neues Paket nur mit Fernbedienung für 199 Euro. Abgerufen 21. September 2017, von

<https://www.computerbase.de/2017-09/nvidia-shield-tv-nur-fernbedienung-199-euro/>

Ropel, J. C. (2017, September 11). Amazon To Launch New Fire TV With 4K HDR At 60FPS & Built-in Alexa -. Abgerufen 21. September 2017, von <http://4k.com/news/amazon-to-launch-new-fire-tv-with-4k-hdr-at-60fps-built-in-alexa-21316/>

Sauter, M. (2017, Jänner 5). 4K-UHD mit HDR: Samsungs Fernseher setzen auf neue QLED-Technik - Golem.de. Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.golem.de/news/4k-uhd-mit-hdr-samsungs-fernseher-setzen-auf-neue-qled-technik-1701-125393.html>

Sawall, A. (2016, April 19). Streaming: Netflix setzt sein HDR-Versprechen um - Golem.de. Abgerufen 25. September 2017, von <https://www.golem.de/news/streaming-netflix-setzt-sein-hdr-versprechen-um-1604-120427.html>

Schalko, W. (2017a, September 6). Sony mit zahlreichen Produkt-Highlights auf der IFA. Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.elektro.at/6.9.2017-Sony-mit-zahlreichen-Produkt-Highlights-auf-der-IFA.html>

Schalko, W. (2017b, September 13). LG: neue OLED-TV-Generation & Hausgeräte mit Sprachsteuerung. Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.elektro.at/13.9.2017-LG-neue-OLED-TV-Generation-undamp-Hausgerundaumlte-mit-Sprachsteuerung.html>

Schmidt, U. (2013). *Professionelle Videotechnik: Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D*. Springer-Verlag.

Schmitz, R., Kiefer, R., Maucher, J., Schulze, J., & Suchy, T. (2006). *Kompendium Medieninformatik: Mediennetze*. Springer-Verlag.

- Seibt, R. (2015, Oktober 23). HDR am TV: Was Sie wissen müssen - PC Magazin. Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.pc-magazin.de/ratgeber/hdr-tv-display-technologie-high-dynamic-range-3195169.html>
- Shi, Y. Q., & Sun, H. (1999). *Image and Video Compression for Multimedia Engineering: Fundamentals, Algorithms, and Standards: Fundamentals, Algorithms and Standards* (1. Aufl.). CRC Press.
- SMPTE. (2015, September 19). Untitled - Study Group On High-Dynamic-Range-HDR-Ecosystem.pdf. Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.smpte.org/sites/default/files/Study%20Group%20On%20High-Dynamic-Range-HDR-Ecosystem.pdf>
- Snapshot. (o. J.). Abgerufen von <http://www.twice.com/news/tv/ifa-2017-lg-adds-technicolor-expert-mode-all-2017-oled-tvs/65948>
- Steve, Y. (o. J.). Yedlin Res Demo - Pt 1. Abgerufen 19. September 2017, von <http://yedlin.net/ResDemo/ResDemoPt1.html>
- Strutz, T. (2009a). *Bilddatenkompression: Grundlagen, Codierung, Wavelets, JPEG, MPEG*. Springer-Verlag.
- Strutz, T. (2009b). *Bilddatenkompression: Grundlagen, Codierung, Wavelets, JPEG, MPEG, H.264* (4. Aufl.). Vieweg+Teubner Verlag.
- Waldmann. (2016, September 19). Wissen: Was ist High Dynamic Range Video (HDR Video)? Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.allround-pc.com/artikel/wissen/2016/wissen-was-ist-high-dynamic-range-video-hdr-video>
- Waldruff, T. (2004). *Digitale Bildauflösung: Grundlagen, Auflösungsbestimmung, Anwendungsbeispiele* (1. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg.
- Wedekind, K. (2017, September 4). Wie viel HDR sollte ein Fernseher können? Abgerufen 25. September 2017, von <http://www.n-tv.de/technik/Wie-viel-HDR-sollte-ein-Fernseher-koennen-article20016386.html>

- Weise, M. (2007). *How Video Works: From Analog to High Definition by Marcus Weise* (2 edition). Focal Press.
- Westphal, A. (2016, September 22). Oppo UDP-203: UHD-Blu-ray-Player unterstützt sogar Dolby Vision. Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.hardwareluxx.de/index.php/news/consumer-electronics/heimkino/40449-oppo-udp-203-uhd-blu-ray-player-unterstuetzt-sogar-dolby-vision.html>
- Widtmann, B. (2017, September 22). Diplomarbeit - HDR.
- www.apple.com. (2017). Final Cut Pro X - What Is. Abgerufen 25. September 2017, von <http://www.apple.com/final-cut-pro/what-is/>
- www.avid.com. (2017). DNxHR und DNxHD | Avid. Abgerufen 25. September 2017, von <http://www.avid.com/de/products/Avid-DNxHR-and-DNxHD>
- www.blackmagicdesign.com. (2017, Jänner 1). Blackmagic Design: DaVinci Resolve 14. Abgerufen 24. September 2017, von <https://www.blackmagicdesign.com/at/products/davinciresolve/>
- www.ign.com. (2017, Mai 24). List of Xbox One S HDR Compatible Games - Xbox One Wiki Guide. Abgerufen 25. September 2017, von http://www.ign.com/wikis/xbox-one/List_of_Xbox_One_S_HDR_Compatible_Games
- www.twice.com. (2017, September 1). IFA 2017: LG Adds Technicolor Expert Mode To All 2017 OLED TVs. Abgerufen 24. September 2017, von <http://www.twice.com/news/tv/ifa-2017-lg-adds-technicolor-expert-mode-all-2017-oled-tvs/65948>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Beispiel SDR und HDR. (Myszkowski u. a., 2008).....	2
Abbildung 2. SDR versus HDR. (Reinhard u. a., 2010)	7
Abbildung 3. SDR Bild: 4 Bit versus 8 Bit. (Reinhard u. a., 2010).....	7
Abbildung 4. Pixelgrafik versus Vektorgrafik. (Pester, 2009)	11
Abbildung 5. Mischung der Primär- und Sekundärfarben. (Weise, 2007)	13
Abbildung 6. YUV-Farbmodell, Y-Wert = 0,5; gezeigt im RGB. (Eugster, 2010). 14	
Abbildung 7. Beispiel Farbtiefe Abstufungen. (Goessner, 2005)	16
Abbildung 8. 1 Bit, Schwarzweißbild. (Waldruff, 2013)	17
Abbildung 9. 2 Bit, Graustufenbild mit 4 Farbstufen. (Waldruff, 2013).....	17
Abbildung 10. 8 Bit, Graustufenbild mit 256 Farbstufen. (Waldruff, 2013).....	18
Abbildung 11. 16:9 versus 4:3. (Aquasoft, 2010)	19
Abbildung 12. Pixelseitenverhältnis $x:y = 1:1$ und $x:y = 2:1$. (Suricata, 2011).....	19
Abbildung 13. ATSC-Videostandards. (Weise, 2007)	21
Abbildung 14. (A) Zeilensprungverfahren und (B) Vollbildverfahren. (Weise, 2007)	22
Abbildung 15. Huffman-Kodierung Beispiel A – G. (Ghanbari, 2011)	26
Abbildung 16. Beispiel zur Lauflängenkodierung. (ITWissen, 2012).....	28
Abbildung 17. Intraframe Kompression. (Weise, 2007).....	30
Abbildung 18. Intraframe-Kompression: jeder Frame ist individuell enkodiert. (Biamp., 2017).....	31
Abbildung 19. Interframe-Kompression: nur Unterschiede werden enkodiert. (Biamp., 2017).....	31
Abbildung 20. Chroma Subsampling. (Azzabi, 2017).....	33
Abbildung 21. Standard Encoder. (Ghanbari, 2011)	33

<i>Abbildung 22.</i> MPEG-1 Group of Picture Beispiel. (Bovic, 2010).....	38
<i>Abbildung 23.</i> SDR-Bild und HDR-Bild. (Dunn, 2016).....	46
<i>Abbildung 24.</i> Farbverlauf von Schwarz zu Weiß. (Petersen, 2015).....	48
<i>Abbildung 25.</i> Farbverlauf von Dunkel- zu Hellgrau. (Petersen, 2015)	48
<i>Abbildung 26.</i> Vergleich zwischen der Dynamic Range des menschlichen Auges und der DSLR. (Gola, 2014)	50
<i>Abbildung 27.</i> Gegenüberstellung 8 Bit und 10 Bit Videosignal. (Infotip, 2015)..	51
<i>Abbildung 28.</i> SDR- und HDR-Bild. (Myszkowski u. a., 2008)	53
<i>Abbildung 29.</i> Tone Mapping. (Reinhard u. a., 2010)	54
<i>Abbildung 30.</i> CIE 1931 und BT.709. (Sakurambo, 2012)	55
<i>Abbildung 31.</i> Der darstellbare Farbraum von CIE 1931, BT.709 und DCI-P3. (Morrison, 2015).....	56
<i>Abbildung 32.</i> Philips HDR-System. (SMTPE, 2015)	68
<i>Abbildung 33.</i> HDR10-Prozess. (Duenas, 2015).....	71
<i>Abbildung 34.</i> Technicolor HDR-Workflow. (SMTPE, 2015)	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Gängige Videoauflösungen.	12
<i>Tabelle 2.</i> Definition I-, P-, B- und D-Frame.	38
<i>Tabelle 3.</i> MPEG-2-Profile.	41
<i>Tabelle 4.</i> MPEG-2-Levels.	41
<i>Tabelle 5.</i> Empfohlene Kombination aus Profilen und Levels.	41
<i>Tabelle 6.</i> Standard-Videoformate.	44
<i>Tabelle 7.</i> Standard-Videocodecs.	44
<i>Tabelle 8.</i> HD-Videocodecs.	45
<i>Tabelle 9.</i> Verlustfreie Videocodecs.	45
<i>Tabelle 10.</i> Beispiele Kontrastverhältnisse.	47
<i>Tabelle 11.</i> Helligkeitsbereiche der häufigsten Lichtumgebungen.	49
<i>Tabelle 12.</i> Gegenüberstellung ITU-R-Empfehlung BT.2020 und BT.2100.	57
<i>Tabelle 13.</i> UHD-Spezifikationen.	63
<i>Tabelle 14.</i> HDR-Eigenschaften.	72

Anhang

A. Experteninterview Bernhard Widtmann

Konsumenten und Konsumentinnen fordern in Bezug auf Fernsehen und Video-on-Demand Content immer höhere Bildqualität. Einige Produktionsfirmen und Fernsehsender setzen in diesen Hinblick auf das Format UHD, das eine Auflösung von 3840x2160 Pixeln ermöglicht, im Gegensatz zu 1920x1080 bei HD-Footage, und somit höhere Qualität liefert. Wenn der Konsument bzw. die Konsumentin jedoch den Content mit einem kleinen Wiedergabegerät konsumiert, also beispielsweise das Handy, Tablet oder einem Fernsehgerät mit geringer Auflösung, so hat eine Vergrößerung des Videobildes keinen besonderen Vorteil. HDR jedoch verbessert die Qualität des Bildes selbst.

Wie ist Ihre Meinung dazu? Finden Sie, dass UHD eine gute Methode ist, um die Qualität des Ausgabemediums an die Bedürfnisse des Kunden anzupassen?

Ergebnisse von so genannten „subjective video quality tests“ zeigen, dass der Zuseher einen größeren Mehrwert sieht, wenn die Farbtintensität gesteigert wird (HDR) als wenn nur die Anzahl der Pixel erhöht wird (UHD). Voraussetzung ist schon eine HD Bildauflösung (1080p). Das ist auch einer der Gründe, warum wir bei maxdome eher Richtung HDR gehen.

HDR ist eine gute Lösung die Qualität des Bildes zu erhöhen ohne großartig Mehrkosten zu tragen (wie zum Beispiel bei 4K oder 8K). Ob HDR schlussendlich doch nur ein Hype wie 3D bleibt, können selbst wir bei maxdome noch nicht 100% vorhersagen.

Wie steht Maxdome zu den Formaten UHD und HDR? Video-on-Demand Plattformen wie Netflix und Amazon Prime bieten derzeit schon Videomaterial in UHD und HDR. Soweit ich informiert bin und recherchieren konnte, bietet Maxdome diesen Service (noch) nicht. Warum? Ist ein Umstieg von HD auf UHD oder HDR (womöglich in Kombination mit UHD) geplant?

UHD/HDR Inhalte, die man bei der Konkurrenz sieht (Netflix, Amazon Video), sind zum Großteil auf Eigenproduktionen begrenzt. Hollywood Inhalte wird man auch auf diesen Plattformen kaum in UHD finden. maxdome baut hauptsächlich

auf Hollywood Inhalten auf. Für diese Inhalte muss man die MovieLabs Richtlinien für UHD berücksichtigen, welche zu erhöhten operativen Kosten, starken Einschränkungen und erheblichen technischen Aufwänden führen (siehe <http://www.movielabs.org/solutions-specifications/ultra-hd-and-hdr/>). Deshalb planen wir derzeit keine Einführung von UHD bei maxdome.

HDR ist ein anderes Thema. Da die Hollywood Studios UHD pushen wollen, geben sie jedoch keine HDR Inhalte ohne UHD raus. Deshalb ist das derzeit eine Pattsituation zwischen Content Owner und Content Provider. Diese Lücke versuchen einige Firmen zu schließen, indem sie SDR Inhalte nachträglich mit intelligenten Algorithmen auf HDR hochrechnen.

Welche Probleme bringt der Umstieg von HD auf HDR bzw. UHD mit sich - in Bezug auf die Bereitstellung des Videocontents? Sind die höheren Datenmengen eines der Hauptprobleme?

1. Erhöhte operative Kosten: Durch die größeren Datenmengen muss zwangsweise ein besserer Codec verwendet werden, der eine höhere Kompressionsrate bietet. Ein Kandidat dafür wäre HEVC (H.265). Jedoch muss man dafür alle Inhalte nochmal neu produzieren (transcodieren) und die Verwendung des HEVC Codec untersteht einem Patent und somit fallen Lizenzkosten für uns zusätzlich an.

2. Starke Einschränkungen: Der HEVC Codec benötigt hohe Rechenleistung am Endgerät. Deshalb ist dieser auch nicht in allen Geräten vorhanden. Außerdem dürfen UHD Inhalte nur mit einem so genannten „Secure Decoder“ entschlüsselt und abgespielt werden. Dieser muss in einem getrennten Bereich in der Hardware des Endgeräts eingebaut sein (Trusted Execution Environment). Damit fallen schon viele „billig“ Geräte aus dem südost-asiatischen Bereich raus.

3. Erhebliche technische Aufwände: MovieLabs erwartet auch Session-Based Forensic Watermarking und Revocation Prozesse, welche für uns nicht so ohne weiteres technisch zu implementieren sind.

Bei der Einführung von HDR ergeben sich andere Probleme:

Da bei HDR quasi „nur“ ein paar Metadaten mitgegeben werden müssen, gibt es keine Probleme mit der Datengröße und Codec. Jedoch wird HDR derzeit von 3-4 Standards getragen, die sich leider ziemlich gleichmäßig auf die Endgeräte verteilen:

- Dolby Vision von Dolby Laboratories
- HDR10 von UHD Premium
- HDR10+ von Samsung und Amazon

- HLG von BBC und Sony (vorwiegend im Broadcast Bereich)

Welche Probleme könnten für den Konsumenten auftreten? Wird beispielsweise eine Mindestdownloadrate benötigt, also eine bestimmte Anzahl an Mbps?

Wenn der Streaming Anbieter für UHD einen besseren Codec verwendet, bleibt die benötigte Bandbreite um die 15Mbps. Das entspricht fast der Durchschnittsbandbreite in Deutschland (13Mbps). Bei HDR muss sich der Endkunde im schlimmsten Fall auf eine bestimmte Kombination von Gerät und Streaming Anbieter festlegen.

Experteninterview Valentin Gstöttmayr

Konsumenten und Konsumentinnen fordern in Bezug auf Fernsehen und Video-on-Demand Content immer höhere Bildqualität. Einige Produktionsfirmen und Fernsehsender setzen in diesen Hinblick auf das Format UHD, das eine Auflösung von 3840x2160 Pixeln ermöglicht, im Gegensatz zu 1920x1080 bei HD-Footage, und somit höhere Qualität liefert. Wenn der Konsument bzw. die Konsumentin jedoch den Content mit einem kleinen Wiedergabegerät konsumiert, also beispielsweise das Handy, Tablet oder einem Fernsehgerät mit geringer Auflösung, so hat eine Vergrößerung des Videobildes keinen besonderen Vorteil. HDR jedoch verbessert die Qualität des Bildes selbst. Wie ist Ihre Meinung dazu? Finden Sie, dass UHD eine gute Methode ist, um die Qualität des Ausgabemediums an die Bedürfnisse des Kunden anzupassen?

Wie ist Ihre Meinung zu dem Format HDR? Sind Sie der Meinung, dass HDR eine effiziente Lösung wäre, um die Bildqualität des Videomaterial zu verbessern? Oder handelt es sich hierbei womöglich um einen bald vergangenen Hype wie das 3D-Fernsehen.

Ich glaube nicht, dass der Konsument ein Verlangen nach höherer Auflösung und mehr Dynamic Range hat, ich glaube der Content steht immer stark im Vordergrund. Das sind alles Fortschritte in der Technik, die dem Konsumenten eingeredet werden bzw. die man nicht verlangen kann, wenn man nicht weiß, dass es das gibt (Es gibt ja auch den Spruch: „Was man nicht kennt, geht einem nicht ab“). Ein gutes Beispiel ist die Entwicklung bei den Fernsehgeräten. Niemand war mit seinem Fernsehbild wirklich unzufrieden, es sei denn man kannte bereits das „bessere Bild“ da man es schon irgendwo gesehen hatte. Was ich damit sagen will ist: Ich habe niemanden vor HDR sagen hören, dass er gerne ein helleres Bild hätte mit tieferen Schwarzwerten.

Wenn der Konsument aber bereits die neue Technik erleben durfte, denke ich schon, dass HDR und UHD die Zukunft sind und auch ein Grund für Konsumenten, sich teurere Streaming-Abos bzw. bessere Fernsehgeräte zu kaufen. Was wiederum dagegen sprechen würde, wäre das Konsumverhalten. Obwohl es bereits viele Fernsehgeräte gibt die beide Techniken anbieten, schauen trotzdem viele auf ihren Tablet, Handy oder Computermonitoren, welche zum Teil eine viel geringere Auflösung und Helligkeit haben.

UHD und HDR sind jedenfalls die Zukunft und werden sicherlich kein kurzweiliger Trend bleiben. Die Möglichkeiten diese beiden Techniken zu nutzen um die Bildqualität zu verbessern sind enorm und werden sicherlich bald ein „Muss“ für jeden Content-Producer/Anbieter sein.

Der wichtigste Aspekt ist trotzdem in welchen Codecs der Content an die Endgeräte des Konsumenten geliefert wird, da einem die Auflösung und HDR nichts bringt, wenn durch die Kompression nichts von dem überbleibt. Durch HDR gibt es auch neue Codecs wie beispielsweise HDR 10 und Dolby Vision. Außerdem wird der neue Farbraum BT.2020 beziehungsweise Rec.2020 empfohlen.

- a. Wie geht DaVinci mit diesen neuen Codecs um? Unterstützt das Programm bereits die Arbeit mit diesen Codecs?**
- b. Was denken Sie, wie verbreitet ist HDR-Footage? Wie viel Material haben sie bereits gradet. Worin liegen die Unterschiede in Vergleich zu HD-Footage?**
- c. Bietet UHD-Material im Vergleich zu HD mehr Möglichkeiten in der Farbkorrektur?**

Zum technischen Aspekt ob UHD wirklich nötig ist, verlinke ich dich zu meinem guten Freund (leider nicht) Steve Yedlin. Der ist Kamermann in Hollywood, bei der ASC und so ganz nebenbei der DOP vom neuen StarWars-Film. Der hat in 2 !!!!gratis!!! Videos unglaublich gut erklärt, was es mit UHD wirklich auf sich hat und da bekommst du !!!!gratis!!! sicher tonnenweise Material für deine Arbeit, also das musst du dir unbedingt ansehen (dauert ca. 1,5 Stunden).

DaVinci unterstützt so ziemlich jeden Farbraum, von Rec709, Rec2020 bis hin zu Rec2100 und noch vielen anderen wie P3-DCI (Kino Farbraum) oder verschiedene Kamera-Gamuts wie RedColor oder Arri-LogC. Ich habe leider selber noch nicht so viel damit gearbeitet, aber da auch große Studios wie Company 3 (Pirates of the Caribbean, Star Wars, Wonder Woman, Batman v Superman) damit arbeiten und neben Nucoda und Beselight DaVinci

bevorzugen, denke ich, das zeigt wohl wie gut die neue Technik in dem Programm schon integriert ist.

HDR Footage wird schon sehr viel Angeboten. Gerade auf YouTube und Netflix gibt es schon sehr viel Content wobei man auch erwähnen muss, dass auf YouTube die Kompression leider doch sehr spürbar ist.

Es wird aber sicher noch sehr viel HDR Footage kommen, da die Kameratechnik ja schon seit Jahren soweit ist und daher sicher viele Produktionen ein Remastering bekommen und neu in HDR rausgebracht werden.

SDR hat ja nur 6 Stops an Dynamic Range und die meisten Kameras filmen schon seit Jahren mit 14+Stops, also man könnte rein theoretisch alles was zb. eine Arri-Alexa in den letzten 10 Jahren gefilmt hat auf HDR neu rausbringen.

Somit denke ich, der Content-Pool an HDR Material wird sich sicherlich sehr schnell vergrößern, das Hauptproblem derzeit sind eher noch die Monitore, die in ihrer Nits-Anzahl noch sehr beschränkt sind bzw. nicht den ganzen Bildschirm in voller Leuchtkraft abdecken können.

Der größte Unterschied zum SDR-Footage liegt natürlich im erweiterten Farbraum, dadurch können Farben und Helligkeit viel besser dargestellt werden, was wiederum zu einer großen Steigerung der Bildqualität führt. Aber wie vorher schon erwähnt ist es wichtig, wie der Content an die Endgeräte der Konsumenten geliefert wird.

Prinzipiell ist einem die Auflösung in der Farbkorrektur ziemlich egal. Einzig die Möglichkeiten des Downscalings sind da interessant, da man dadurch Bildfehler ausbessern oder auch von einem 8-Bit UHD Material auf ein 10-Bit HD Material kommen kann. Viel spannender sind da die Möglichkeiten im Mastering anschließend. Durch die neuen Farbräume wie zb. Rec2020 und Codecs wie H265 kann man ein viel besseres Bild an den Konsumenten liefern und hat dadurch viel mehr von Aufzeichnungsmethoden wie zb. 4:4:4 12-Bit oder Raw 16-Bit.