

UHD-HDR- REGELBETRIEB GUIDELINES

Teil 1 – Beschreibung der Live und
szenischen Produktion
für professionelle Anwender

UHD-HDR-Regelbetrieb Guidelines

Teil 1 – Beschreibung der Live und szenischen Produktion
für professionelle Anwender

Weitere Referenzen.....	57
Abbildungsverzeichnis	57
Index.....	58
Impressum	60

Inhalt

Allgemeiner HDR-Grundsatz.....	3	2 Grundlagen von UHD und HDR.....	7	3 Live-Produktionen.....	21	4 Szenische Produktionen	40
1 Einleitung	4	2.1 Absichten und Definition von HDR.....	7	3.1 Monitoring.....	21	4.1 Kameras.....	41
1.1 Status Quo im Oktober 2022	4	2.2 SDR-Definition	9	3.2 HDR-Workflows bei Live-Produktionen	24	4.2 Aufnahme-Formate.....	42
1.2 Zielgruppe und Absicht.....	5	2.3 Transferfunktionen	11	3.3 Aussteuerung für HDR bei Live-Produktionen	31	4.3 Monitoring, Aussteuerung beim Dreh.....	43
1.3 Inhalte des Dokuments	5	2.4 PQ – Perceptual Quantizer	12	3.4 Systemkameras	32	4.4 Postproduktion, Grading.....	44
		2.5 HLG – Hybrid Log Gamma	14	3.5 HDR-Look	34	4.5 Master Files, Auslieferungsprozess, Zielformate	49
		2.6 S-Log3	17	3.6 Mapper	35	4.6 Qualitätskontrolle szenischer Produktionen	53
		2.7 Zusammenhang zwischen Produktion und Distribution	19	3.7 Aufzeichnungsformate.....	37	Metadaten	56
				3.8 Signalübergabe zum Sendezentrum	39		

1 Einleitung

ALLGEMEINER HDR-GRUNDSATZ

High Dynamic Range sowie Wide Colour Gamut stellen eine natürliche Weiterentwicklung der Videotechnik dar, ebenso wie es vor über 50 Jahren der Übergang von Schwarz/Weiß zu Farbe war.

Die Bildübertragung soll – vor allem im Falle von Live-Sendungen – natürlicher wirken. Dies betrifft Programme aus Studios oder von Außenübertragungsorten, wie beispielsweise Sportsendungen, Theaterproduktionen oder Shows.

Dabei geht es nicht um hellere oder buntere Bilder, sondern um eine kontrastreichere und farb-richtigere Darstellung.

Darüber hinaus können diese Möglichkeiten – vor allem bei szenischen Produktionen – aus gestalterischen Gründen genutzt werden, um beispielsweise besondere Stimmungen zu erzeugen.

1.1 Status Quo im Oktober 2022

Bei der Produktion von UHD-HDR-Programmen führen der Einsatz unterschiedlicher Workflows mit verschiedenen Transferfunktionen sowie die unterschiedliche Interpretation technischer und gestalterischer Grundlagen von Kontrast und Farbe zu teils sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Dies gilt bereits bei der Betrachtung auf Referenz-Displays und berücksichtigt nicht weitere Abweichungen, die bei der Betrachtung auf UHD-Consumer-Geräten entstehen können.

1.2 Zielgruppe und Absicht

Dieses Dokument richtet sich in erster Linie an Produktionsfirmen, Produzenten und die technisch Verantwortlichen der TV-Sender mit der Absicht, die visuelle Wahrnehmung von UHD-HDR-Programmen vorhersagbar zu machen, indem für die verschiedenen Themenbereiche Referenzen geschaffen werden.

Die Zielstellung der vorliegenden Guidelines soll die Schaffung eines besseren UHD-HDR-Erlebnisses beim Endkunden sein.

Die nachfolgenden Kapitel definieren die notwendigen Voraussetzungen für erfolgreiche UHD-HDR Live- und auch szenische Produktionen. In einem weiteren Dokument werden später noch die Voraussetzungen innerhalb des Sendezentrums mit den Post-Produktionsprozessen sowie die Distribution an die Endkunden beschrieben.

Diese Dokumentenserie ist damit eine Empfehlung für die Umsetzung von UHD-HDR-Prozessen und dazu geeignet, die jeweiligen Hausstandards und Workflows zu unterstützen.

1.3 Inhalte des Dokuments

Neben vielen Detailfragen befasst sich das Dokument vor allem mit folgenden Hauptaspekten der UHD-HDR-Produktion:

- Definition von Workflows der Bereiche Live-Produktion, szenische Produktion, Reportage und News
- Einheitliches Erscheinungsbild von Produktionen gleicher Genres
- Umsetzung der Kompatibilität zwischen HDR und SDR
- Mapping zwischen HDR und SDR sowie zwischen verschiedenen HDR-Formaten
- Definition zur Qualitätskontrolle, Signalmessung und Kommunikation
- Umgang mit Metadaten auf der Video- und File-Ebene

2 Grundlagen von UHD und HDR

2.1 Absichten und Definition von HDR

2.1.1 Helligkeitswirkung

Die grundsätzliche Helligkeit einer Szene wird durch das Licht bestimmt, das von diffus reflektierenden Gegenständen ausgeht. Dies ist für High Dynamic Range (HDR) und Standard Dynamic Range (SDR) zunächst identisch. Davon abgeleitet sind also HDR-Bilder nicht allgemein heller.

2.1.2 Kontrastwirkung

In der Signalkette zwischen Kamera und Display lässt HDR gegenüber SDR die Übertragung eines größeren Kontrastes zu. Ziel der HDR-Verfahren ist ebenfalls eine natürliche, lineare Kontrastübertragung, die sich von der Technik des so genannten „Knees“ bei SDR positiv unterscheidet.

Während SDR einen Kontrast in der Größenordnung von rund 500:1, entsprechend 9 Blendenstufen überträgt, sind bei HDR Kontraste von 2000:1¹ und deutlich mehr möglich. Dies entspricht einem Blendenumfang von 11 Blenden-

stufen. Das menschliche Auge etwa kann einen Kontrastumfang von 16.000:1, respektive 14 Blendenstufen² verarbeiten.

Bei Live-Sendungen erzeugt der größere Kontrastumfang von HDR daher einen natürlicheren Bildeindruck. In der Außenübertragung kann beispielsweise der Kontrastunterschied eines Fußballspiels realistischer übertragen werden, bei dem eine Stadionhälfte von hellem Sonnenlicht getroffen ist, die andere Hälfte jedoch im Schatten liegt.

2.1.3 Highlights

Während hohe Kontraste beispielsweise bei Landschaftsaufnahmen oder bei Fußballübertragungen in der Fläche des Bildes auftreten, gibt es selbstleuchtende oder spiegelnde, kleinere Bildelemente, die Highlights genannt werden. Diese Highlights können Reflexe von Musikinstrumenten, von speziellen Kostüm- oder Deko-Elementen, oder auch natürliche Phänomene wie Wassertropfen oder Eiskristalle sein.

Solche Elemente tragen mit hoher oder sehr hoher Leuchtdichte zu natürlichen, brillanten Bildern mit einer Art Reliefwirkung bei, die man bei SDR-Bildern vermisst.

2.1.4 Farbwirkung

Wide Colour Gamut (WCG), der erweiterte Farbraum, ermöglicht die Übertragung und Darstellung von Farben, welche mit dem Standard Colour Gamut (SCG), nicht darstellbar waren. Damit wird dem Zuschauer ein natürlicherer Bildeindruck vermittelt.

Grundsätzlich kann WCG rund 75% des Farbraums nach CIE 1931³ korrekt übertragen, den das menschliche Auge erfassen kann. Dieser Stand ist derzeit von den Displays noch nicht vollständig erreicht.⁴ SCG kann nur rund 42% darstellen.

2.1.5 Das „richtige“ HDR

Grundsätzlich werden HDR- und SDR-Bilder unter künstlerischen Gesichtspunkten gestaltet. Ob man dabei versucht, möglichst nah an das Original zu kommen, wie beispielsweise die Darstellung der Trikot-Farben bei Fußballspielen, oder man eine eigene Welt schaffen möchte, obliegt der Kreativität.

Die hier im Dokument genannten Parameter sind ein Ausgangspunkt für die individuelle Gestaltung.

Wichtig ist, dass es eine Chance gibt, die erzeugten Bilder zum Zuschauer bringen zu können, ohne sie zu verfälschen. Dieser Aspekt wird auch oft mit dem Begriff Creative Intent umschrieben.

¹ Die Angabe bezieht sich auf HLG, welches die Übertragung von mindestens zwei weiteren Blenden ermöglicht.

² Das menschliche Auge kann etwa 14 Blendenstufen mit der Steuerung der Iris differenzieren, also ohne Adaptation über die Varianz der Empfindlichkeit, die zusätzlich Zeit im Minutenbereich benötigt.

³ CIE 1931 zeigt 100% der vom menschlichen Auge wahrnehmbare Farbarten. Eine Farbart ist die Kombination des Farbtönen und der Farbsättigung.

⁴ Stand der Technik im März 2021 sowohl für Referenz-Displays als auch für UHD-Consumer-Geräte ist der Farbraum DCI-P3, der 55% des sichtbaren Farbraums überträgt.

2.2 SDR-Definition

2.2.1 Kontrastwirkung

Die Kontrastwirkung von SDR ist grundsätzlich auf die Übertragung von 9 Blendenstufen begrenzt. Dies ist nicht der Kamera-, sondern der früheren Bildröhrentechnologie geschuldet. Die Beschreibung von 9 Blendenstufen lässt sich auch mit einem Kontrastverhältnis von 500:1 beschreiben.

Um eine Kompatibilität mit allen Display-Technologien zu erzeugen, gehen die Vorgaben auch bei HD⁵ von diesen 9 Blendenstufen aus.

2.2.2 Gamma

Der Begriff Gamma hat mehrere Bedeutungen. Im Zusammenhang mit Kennlinien beschreibt Gamma oft die SDR-Kamerakennlinie nach ITU-R BT.709. Für HDR-Belange ist es wichtig zu wissen, dass diese SDR-Kennlinie zweigeteilt ist.

$$U_{Video} = 4,5 \times (U_{Sensor})$$

für Sensorspannungen bis 1,8%

$$U_{Video} = 1,099 \times (U_{Sensor})^{\gamma_A} - 0,099$$

für Sensorspannungen ab 1,8% mit $\gamma_A = 0,45$

Daraus ergibt sich, das dunkle Bildteile stärker komprimiert und damit kontrastreicher dargestellt werden, als sie tatsächlich sind. An diese Bildeindrücke haben sich Produzenten und Zuschauer über Jahre gewöhnt. Diese Kennlinie wird in verschiedenen Publikationen auch „Strict“ genannt.

Darüber hinaus gibt es noch eine SQRT-Kennlinie⁶, die keine Teilung aufweist. Je nach verwendeter Transferfunktion und gewünschtem Systemlook, muss im Mapping entsprechend darauf reagiert werden.

Für die Wiedergabe sind in der ITU-R.BT 1886 zwei Varianten einer Display-Kennlinie genannt, „Simple Gamma 2,4“ und „CRT“. Letztere ist für LC-Displays empfohlen, weil sie etwas kontrastreicher wirkt.

2.2.3 Diffuse White

Die hellsten Bildteile, die bei SDR maximal übertragbar sind, werden mit einem Signalpegel von 100% übertragen⁷ und Diffuse White genannt. Darunter versteht man die Bildteile, die von diffus reflektierenden Materialien ausgehen.

Die Referenz stellt eine Weißkarte dar, die genau 89,9% des auftreffenden Lichts reflektiert. In der Praxis kann dies ebenso weißes Papier oder ein weißes Hemd sein.

2.2.4 Leuchtdichte

Bei SDR beträgt laut ITU-R BT.2035 die Leuchtdichte für Diffuse White Definition 100 cd/m². Dies ist historisch durch die Bildröhren der früheren Referenz-Display geschuldet. In der Regel können alle Displays im Produktionsumfeld diese Leuchtdichte erreichen und sind darauf auch abgestimmt.

Dies ist unabhängig von der oft höheren und unterschiedlichen Leuchtdichte der UHD-Consumer-Geräte. Ebenso ist der Bildeindruck abhängig von der beim Zuschauer vorherrschenden Betrachtungssituation.

Die Einheit cd/m² für Candela pro Quadratmeter entspricht der Einheit Nit.

Neueren Überlegungen⁸ zufolge wird eine SDR-Leuchtdichte für Diffuse White von 203 cd/m² diskutiert. Damit ließe sich eine Kompatibilität zu den im Kapitel 3.3.1 genannten Videopegeln von 58% bei PQ (Perceptual Quantizer) oder den unter Kapitel 3.3.2 genannten Pegeln von 75% Pegel bei HLG (Hybrid Log Gamma) herstellen. Damit nähert man sich auch der Leuchtdichte an, die bei den Consumern in der Praxis deutlich über 100 cd/m² liegt.

Die Voraussetzung einer Nutzung wäre eine Anpassung des gesamten SDR-Monitorings.

2.2.5 Farbwirkung

Der bei SDR verwendete Standard ITU-R BT.709 geht von dem Farbraum SCG aus, der rund 42% des vom menschlichen Auge wahrnehmbaren Farbraums entspricht. Auch dies ist der früheren Bildröhrentechnologie geschuldet.⁹

Referenz-Monitore mit OLED- oder LC-Technologie nutzen laut Herstellerangaben diesen Farbraum vollständig.

Auf vielen UHD-Consumer-Geräten ist für SDR-Inhalte eine Wiedergabe dieses Farbraums möglich, jedoch ist eine realistische Darstellung in den heimischen Wohnstuben stark abhängig von den individuellen Einstellungen.

SDR ist außerdem durch eine höhere Grund-sättigung¹⁰ charakterisiert. Diese repräsentiert zwar nicht eine natürlichen Bildwiedergabe, ist aber in seiner Bildwirkung akzeptiert.

⁸ Die technische Richtlinien US-amerikanischer Rundfunkanstalten weisen die 203 cd/m² bereits aus. Internationale Richtlinien sind in Vorbereitung. Zudem zeigen die Skalen moderne Videoanalyser bereits eine Leuchtdichte von 203 cd/m² für SDR.

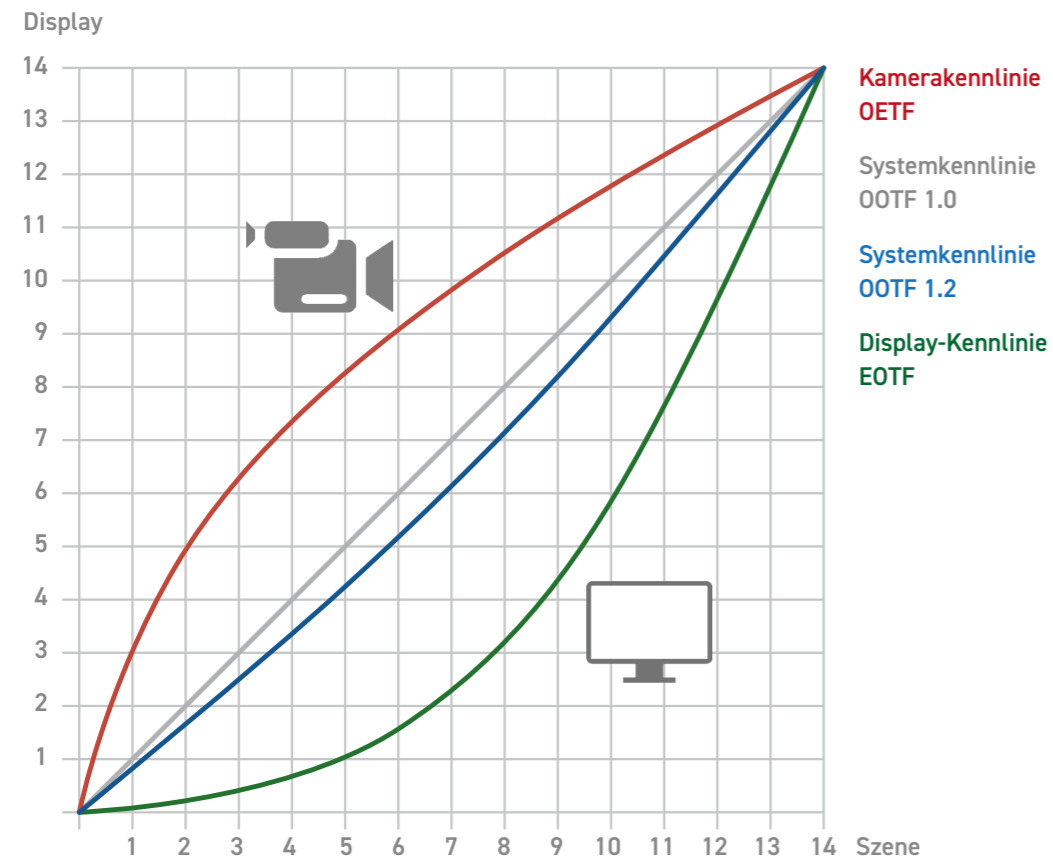
⁹ Die Einschränkung war aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bewusst gewählt worden. Theoretisch wäre bei der Einführung in den 70er Jahren auch ein größerer Farbraum, der jedoch die Lebensdauer der Röhrenfernsehgeräte verkürzt hätte. Ein aus heutiger Sicht kurioser Gedanke.

¹⁰ Dies liegt daran, dass die Systemkennlinie auf Basis von RGB wirkt.

2.3 Transferfunktionen

Für eine korrekte Wiedergabe eines Bildeindrucks müssen sich die Kennlinie der Kamera und die des Displays grundsätzlich immer entsprechen. Das Ziel ist eine Systemkennlinie von 1,2.¹¹

Abbildung 1: Transferfunktionen



¹¹ Die früher verwendete Systemkennlinie wurde zugunsten einer etwas kontrastreichereren Wiedergabe beim Konsumenten aufgegeben. Eine Systemkennlinie von 1,2 gilt für eine kontrastrichtig Wiedergabe in einer abgedunkelten Regie.

2.3.1 Sprachregelung

Bei HDR sollte man nicht mehr von Gamma sprechen, weil dieser Begriff mit dem im Kapitel 2.2 beschriebenen SDR und der damit verbundenen Kennlinie verknüpft ist.

Im Sprachgebrauch haben sich die deutschen Begriffe Transferfunktion und Transferkennlinie durchgesetzt. Dabei passt Transferfunktion in Anlehnung an die im Englischen verwendeten Begriffe etwas besser. Diese sind in Bezug auf Kameras als Opto-Electrical Transfer Function (OETF) und in Bezug auf Displays als Electro-Optical Transfer Function (EOTF) beschrieben.

Das Ergebnis aus Kamera- und Displaykennlinie – die frühere Über-alles-Kennlinie – wird Systemkennlinie genannt. Im Englischen spricht man von einer Opto-Optical Transfer Function (OOTF).¹²

2.3.2 HDR-Kennlinien

Für die Produktion und die Distribution von HDR kommen in der Praxis die beiden standardisierten Transferfunktionen PQ und HLG zum Einsatz. Die proprietäre Kennlinie S-Log3 hingegen wird nur innerhalb der Produktion verwendet. Alle Transferfunktionen verfolgen unterschiedliche Ansätze und sind zueinander nicht kompatibel.

Für die lineare Distribution auf klassischen Verbreitungswegen kommt in Europa derzeit vor allem das HLG-Verfahren zum Einsatz, für OTT und VOD-Auswertung sowohl HLG als auch PQ. Nicht jede Kamera stellt jede OETF zur Verfügung. Zusammen mit Fragen des Monitorings und der Aufzeichnung ergeben sich für die Wahl der Kennlinie für die Produktion verschiedene Aspekte, die im Folgenden thematisiert werden.

In der Praxis bleibt die Notwendigkeit von Wandlungen – sogenannte Mappings – zwischen den Verfahren nicht aus. Da es bei allen Verfahren darum geht, die 877 zur Verfügung stehenden Helligkeitsstufen des 10-Bit Signals¹³ optimal an das Prinzip der jeweiligen Transferfunktionen anzupassen, sind Mappings nach Möglichkeit zu vermeiden.¹⁴

¹² Ganz präzise sind auch EOTF und OETF nicht, denn streng genommen wird ja nichts transferiert, sondern konvertiert. Die Begriffe EOCF, OECF und OOCF sind daher hin und wieder auch in der Literatur zu finden.

¹³ Die eigentlich theoretisch notwendige Bittiefe von 12 Bits – um rauschfreie Bilder zu erzeugen – steht derzeit bei SDI-Signalen nicht zur Verfügung.

¹⁴ In der Praxis treten Banding-Effekte vor allem bei Computer-generiertem Material auf, da dieses – im Gegensatz zu Kamera-bildern – nicht rauscht.

2.4 PQ – Perceptual Quantizer

PQ stellt den Videopegel einer Kamera mit einem maximalen Kontrast von 15,5 Blendenstufen der absoluten Leuchtdichte eines Displays mit 10.000 cd/m² gegenüber.

Absolut bedeutet, dass jeder Videopegel zwischen 0 und 100% bei PQ einer definierten Leuchtdichte auf dem Display entspricht und sich grundsätzlich per Definition keine Interpretationsspielräume ergeben, wie dies bei HLG der Fall ist.

Der Verlauf der Kurve wurde so gewählt, dass die zur Verfügung stehenden digitalen Pegelstufen bei einer 10-Bit-Quantisierung den ganzen Kontrastbereich für eine visuell optimale Wiedergabe bestmöglich ausnutzen. Diese Idee wird durch die Begrifflichkeit Perceptual Quantizer (PQ) beschrieben.

In der Praxis nutzen Systemkameras, die in PQ akquirieren, von den möglichen 10.000 cd/m² in der Praxis momentan zwischen 1.500 und 2.000 cd/m². Grundsätzlich sind mit aktuellen Kameras jedoch schon 5.000 cd/m² und mehr möglich. Zwar bleiben die digitalen Pegelstufen oberhalb dieser Grenzen ungenutzt, jedoch sind die unteren Pegelstufen so verteilt, dass kein Tonwertabriss¹⁵ auftritt.

Die Transferfunktion PQ sollte nicht mit den Distributionsformaten, PQ10, Dolby Vision oder HDR10 verwechselt werden. Diese sind im Kapitel 2.7 beschrieben.

2.4.1 Diffuse White

Das Diffuse White, welches das Basisbild vom Bereich der Highlights trennt, liegt laut ITU-R BT.2408 bei einem Videopegel von 51% und entspricht einer Leuchtdichte von 100 cd/m². Damit ist die Leuchtdichte von Diffuse White zwischen PQ und klassischem SDR identisch. Die Grafik (Seite 13) zeigt diese ursprüngliche Definition.

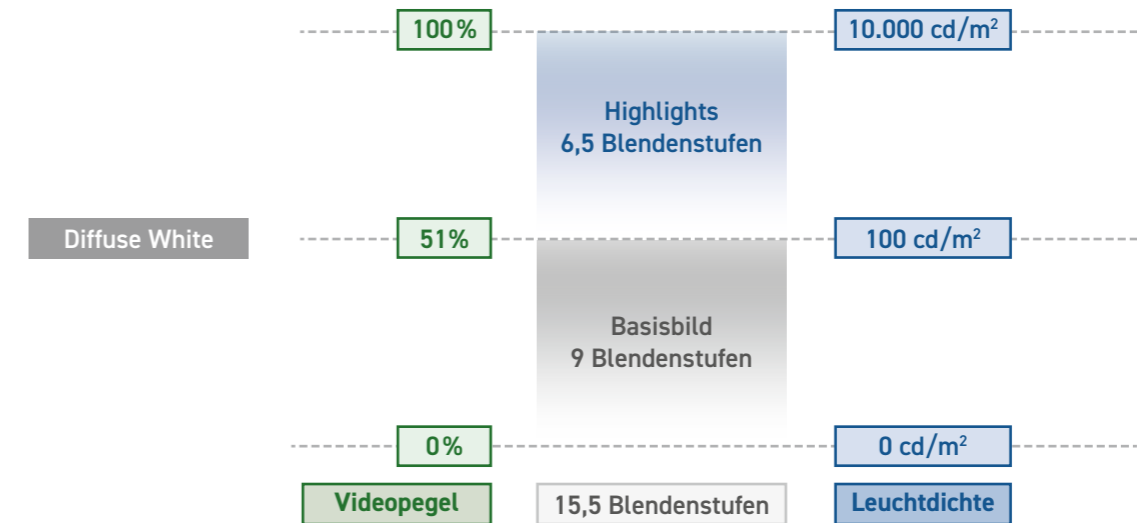
Nach ITU-R BT.2408 wird eine Aussteuerung des Diffuse White von 58% empfohlen, Hinweise dazu sind im Kapitel 3.3.1 zu finden.

2.4.2 Kompatibilität in der Produktion

Eine Kompatibilität zwischen PQ- und SDR-Signalen besteht grundsätzlich nicht. Das bedeutet, dass in der Produktion die Wiedergabe von PQ-Signalen auf einem SDR-Display zu keinem brauchbaren Ergebnis führt.

Werden jedoch nach der oben genannten Vorschrift ausgesteuerte PQ-Bilder auf PQ-Displays und korrekt ausgesteuerte SDR-Bilder auf SDR-Displays parallel betrachtet, ist das Basisbild auf

Abbildung 2: Leuchtdichte von Diffuse White



beiden Displays identisch. Eine Unterscheidung gibt es nur im Bereich der Highlights.

Wie im Kapitel 2.2.4 beschrieben, ließe sich bei SDR auch eine Definition von Diffuse White mit 203 cd/m² verfolgen. Diese wäre dann mit den genannten 58% bei PQ vergleichbar.

2.4.3 Videopegelbereich

PQ verwendet im Bereich in der Live-Produktion den sogenannten Narrow Range¹⁶. Damit sind Leuchtdichten aktueller Kameras¹⁷ über 5.000 cd/m² abbildbar.

¹⁶ Narrow Range umfasst die digitalen Pegelstufen 64 bis 940, Extended Range die Stufen von 64 bis 1019, bezogen auf eine 10-Bit-Quantisierung.

¹⁷ Die Leuchtdichte aktueller Systemkameras beträgt über 5.000 cd/m², die bisheriger Systemkameras bis zu 2.000 cd/m².

¹⁵ Unerwünschter Effekt, wenn Bilder mit Helligkeits- oder Farbverläufen streifenartige Muster aufweisen; der Grund ist in der Regel eine zu geringe Anzahl von Quantisierungsstufen.

2.5 HLG – Hybrid Log Gamma

Bei HLG wird das Kamerasignal mit einem Kontrast von 12,5 Blendenstufen einem Videopegel gegenübergestellt. HLG ist ein relatives System. Prinzipbedingt besteht kein Bezug zu einer absoluten Leuchtdichte, wie dies bei PQ der Fall ist.

Der Begriff „Hybrid“ weist auf die Kompatibilität bei der Wiedergabe zwischen dem Basisbild von HLG zur SDR-Gamma-Kurve hin. Da SDR-Displays entsprechend die untere Hälfte der Signalwerte aus der Übertragungsfunktion interpretieren, HLG-kompatible Displays jedoch den logarithmischen Teil der Signalkurve verstehen, so wird hier ein größerer Dynamikbereich verwendet.

2.5.1 Reference White / Diffuse White

Obwohl bei HLG keine absolute Leuchtdichte definiert ist, besteht derzeit innerhalb der Produktion nach ITU-R BT.2100 eine Vereinbarung, dem Videopegel von 100% eine Spitzenleuchtdichte von mindestens 1.000 cd/m² gegenüberzustellen.

Das Reference White beziehungsweise das Diffuse White¹⁸ wird auf 75% Videopegel angesteuert.¹⁹

2.5.2 HLG 400

In der Praxis hat sich eine Aussteuerung für Diffuse White von 75% durchgesetzt, die den Bereich der Highlights auf 2 Blendenstufen und eine Dynamik von 400% festlegt.²⁰ Zur Differenzierung verwenden wir in diesem Fall den Begriff „HLG 400“ (s. Abb 3). Durch die Verschiebung des Basisbilds in den Bereich, der ursprünglich für die Highlights vorgesehen war, erscheint das Bild gegenüber PQ und SDR weniger kontrastreich (siehe auch Kapitel 3.5.2).

Die Transferfunktion HLG sollte nicht mit dem Distributionsformat HLG10 verwechselt werden. Dieses ist im Kapitel 2.7 beschrieben.

2.5.3 Videopegelbereich und HLG Extended

Die Dynamik von HLG wird grundsätzlich im Narrow Range abgebildet. Um die bei HLG 400 vorhandene Dynamik zu erhöhen, ermöglicht der Extended Range²¹ die Nutzung einer weiteren Blendenstufe in den Highlights.

¹⁸ In der aktuellen Definition wird auf den Begriff Diffuse White zugunsten von Reference White verzichtet, auch wenn der Begriff Diffuse White in der Praxis weiterhin verwendet wird.

¹⁹ Der Wert ohne die Aussteuerungsrichtlinie betrug – ähnlich wie bei PQ ebenfalls 50%. Der aktuelle Wert von Diffus White liegt rein rechnerisch bei 73% und wird daher auf einigen Waveform-Skalen auch so angezeigt.

²⁰ In der ursprünglichen Definition von HLG lag die Dynamik bei 1.200% und der Bereich der Highlights entsprechend bei 3,5 Blendenstufen.

²¹ Der Extended Range umfasst die digitalen Pegelstufen von 64 bis 1019, bezogen auf eine 10-Bit-Quantisierung.

Abbildung 3: Diffuse White, HLG 400

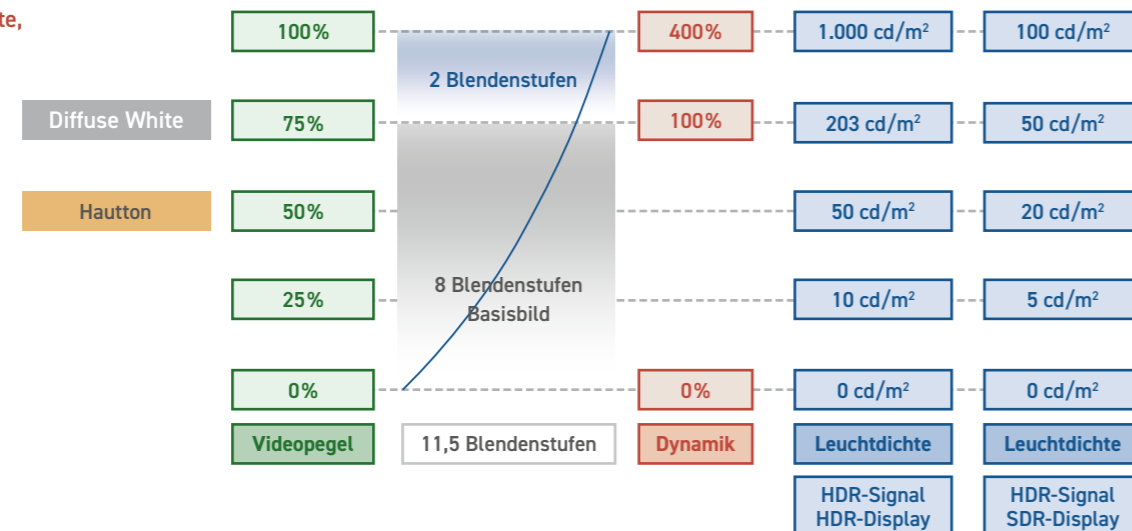
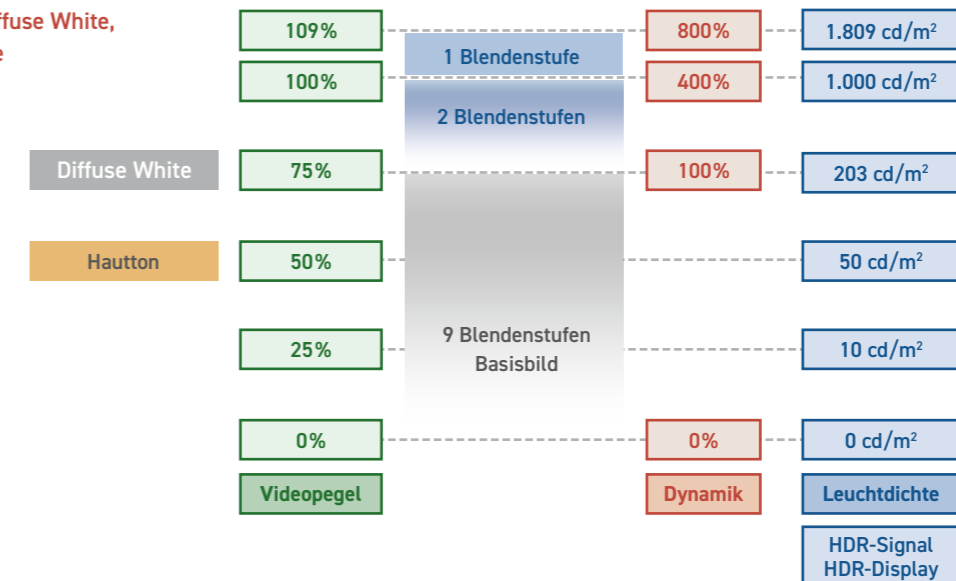


Abbildung 4: Diffuse White, Extended Range



2.5 HLG - Hybrid Log Gamma

Der Extended Range wird jedoch noch nicht von jeder Kamera und von allen Peripheriegeräten unterstützt. Auch die SDI-Metadaten sind in der Produktion noch nicht durchgängig nutzbar. Daher muss es vor Produktionsbeginn hierzu eine genaue Prüfung und Absprache geben.

Zu beachten ist auch, dass viele UHD-Consumer-Geräte die Videopiegel oberhalb von 100% beschneiden (Clipping).

2.5.4 Kompatibilität in der Produktion

Grundsätzlich lässt sich in der Produktion ein HLG-Signal auf einem SDR-Display darstellen.

Mit der Nutzung der HLG-Kennlinie nach dem Prinzip HLG 400 ist diese Kompatibilität jedoch eingeschränkt. Die Bilder werden im Vergleich zu einem HLG-Display deutlich zu dunkel wiedergegeben, und die Gradation des HDR-Signals ist ebenfalls nicht korrekt.

Zudem besteht keine Rückwärtskompatibilität bezüglich des bei HDR verwendeten Farbraums WCG zu SCG. Bei der Produktion muss daher Einigkeit erzielt werden, über welche der vier Monitoring-Varianten die Bilder betrachtet werden:

- native HLG-Bilder auf einem HLG-Display mit WCG
- native HLG-Bilder auf einem SDR-Display mit WCG
- native HLG-Bilder auf einem SDR-Display mit SCG
- native SDR-Bilder auf einem SDR-Display mit SCG

In Kapitel 2.7.4 werden die Kompatibilitäten innerhalb der Distribution beleuchtet.

2.6 S-Log3

Bei S-Log3 handelt es sich um die aktuelle logarithmische Kennlinie des Herstellers Sony.²²

Ursprünglich war S-Log3 für die Verwendung in der Bearbeitung vorgesehen. Jedoch geben heute auch Systemkameras, wie beispielsweise der Hersteller Sony, Grass Valley und Ikegami, S-Log3-Signale für Live-Produktionen aus. Damit ist man grundsätzlich auf einen Workflow ausgerichtet, der in Kapitel 3.2.8 beschrieben ist und auf S-Log3-kompatiblen Equipment basiert.

Ebenso wie HLG definiert S-Log3 keinen absoluten Videopiegel, sondern nur eine relative Dynamik. Diese geht jedoch über die 1.000 cd/m² von HLG hinaus und erreicht 4.000 cd/m². Damit umfasst der Highlight-Bereich auch mehr als 5 Blendenstufen und ist in diesem Punkt eher mit PQ vergleichbar.

2.6.1 Reference White

Das Diffuse White liegt bei 61%. Eine Kompatibilität zu SDR, PQ oder HLG existiert nicht, und ist auch nicht beabsichtigt. Findet die Akquise²³ der Kamerasignale in S-Log3 statt, muss das Monitoring auch auf Displays erfolgen, die S-Log3 korrekt darstellen können. Dabei ist zu beachten, dass die Darstellung mit dem späteren Ergebnis von PQ oder HLG nur eingeschränkt vergleichbar ist.

Die unten stehende Grafik bezieht sich auf ein Diffuse White von 100 cd/m². Eine Aussteuerung von Diffuse White bei 203 cd/m² ergibt eine Vergleichbarkeit zu HLG 400. Dabei geht bei der Übertragung der Highlights eine Blendenstufe verloren.

2.6.2 Videopiegelbereich

S-Log3 verwendet grundsätzlich den Extended Range²⁴. Bei der Verwendung in einer Live-Produktion müssen alle Systeme dafür durchgängig sein. Seit November 2021 gibt es laut dem Hersteller Sony eine neue Definition von S-Log3, die teilweise frühere Definition ersetzt. In der Übergangszeit ist mit Inkompatibilitäten zwischen Kameras, Mappern, Messgeräten und Schnittsystemen zu rechnen.

²² Frühere Varianten, wie S-Log2 sind für die Verwendung bei HDR nicht mehr sinnvoll.

²³ Unter Akquise wird Produktion, also die Erzeugung eines Videosignals mit einer Kamera und die nachfolgende Aufzeichnung verstanden, im englischen Acquisition.

²⁴ Der Extended Range umfasst die digitalen Pegelstufen von 64 bis 1019, bezogen auf eine 10-Bit-Quantisierung.

Abbildung 5: Diffuse White, S-Log3



2.7 Zusammenhang zwischen Produktion und Distribution

Videosignale mit den Transferfunktionen PQ und HLG 400 können ohne weiteres Mapping in die unten aufgeführten Distributionsformate überführt werden.

Grundsätzlich ist es möglich, Material zwischen PQ und HLG für die Distribution zu wandeln (Crossmapping), wobei nur die Richtung PQ nach HLG 400 das Zielformat ausnutzt. Ein Crossmapping von HLG nach PQ ist transparent.²⁵

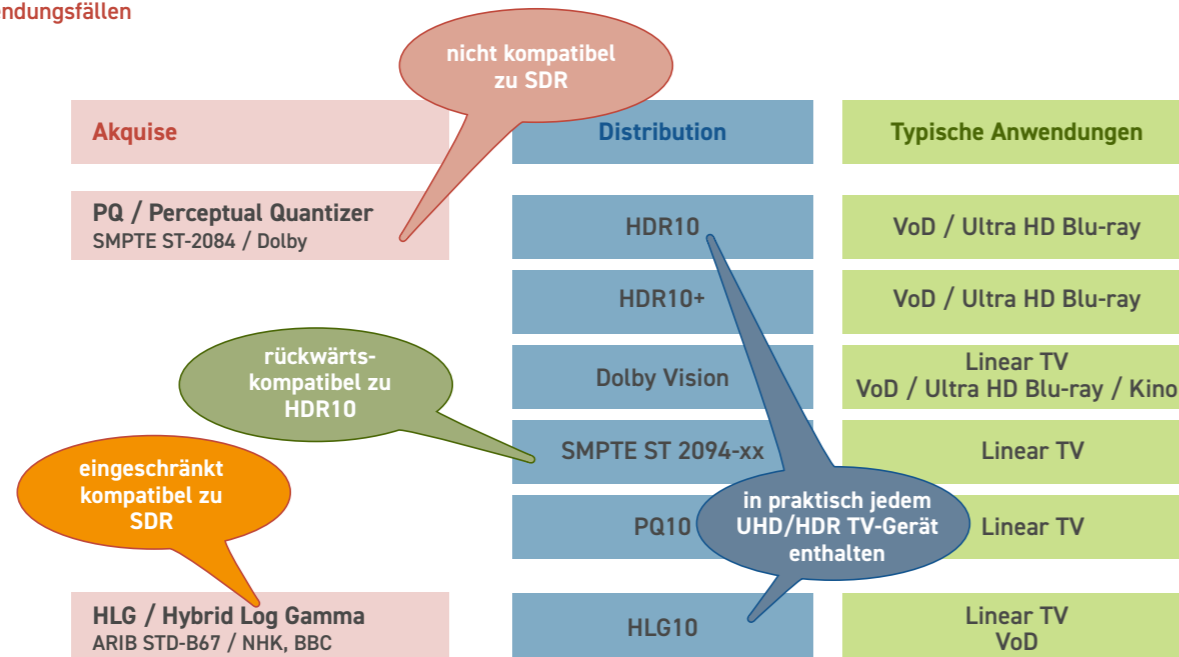
²⁵ Wie in ITU-R BT 2390 beschrieben.

S-Log3-Material muss ebenfalls für die Ausstrahlung gewandelt werden. In diesem Falle kann nur PQ die Performance von S-Log3 erhalten.

Die folgende Übersicht zeigt die Zusammenhänge, die ohne Crossmapping erreichbar sind und die Kompatibilitäten in Bezug auf die Distribution.

Die Standards SMPTE ST.2094 definieren vier verschiedene Sätze dynamischer, auf den Bildinhalt bezogene Metadaten (-10, -20, -30, -40).

Abbildung 6: Zusammenhang zwischen HDR-Formaten und typischen Anwendungsfällen



2.7.1 Metadaten für die Distribution

Während die Metadaten für die Produktion nur die Transferfunktion und den Farbraum signalisieren, beziehen sich die Metadaten der Distributionsformate auf den Bildinhalt. Wir nennen diese in der Folge „bildbezogene Metadaten“.

Dazu gehören beispielsweise die mittlere Leuchtdichte und die Spitzenleuchtdichte des Programmmaterials. Statische Metadaten beziehen sich auf den gesamten Beitrag, dynamische Metadaten enthalten Angaben pro Szene oder pro Bild. Damit können sich UHD-Consumer-Geräte an das Programmmaterial anpassen, um trotz ihrer teils eingeschränkten Kontrastfähigkeit ein für den Zuschauer optimales Bild zu erzeugen.

2.7.2 Lineare Distribution von HLG

HLG-Programme lassen sich über das Distributionsformat HLG10 an fast alle aktuellen UHD-Consumer-Geräte verteilen, da diese das Distributionsformat erkennen. HLG10 arbeitet ohne bildbezogene Metadaten. Die Signalisierung von HLG10 und WCG ist möglich.

Dies ist derzeit das bevorzugte Verfahren der TV-Sender in Deutschland für die Distribution linearer Programme mit HDR über DVB-S2, DVB-C und IPTV.

Alle Transferfunktionen HLG, PQ und S-Log können als Ausgangsbasis in der Produktion verwendet werden, wobei die Dynamik von PQ oder S-Log3 für eine Distribution mit einem Mapping eingeschränkt werden muss.

2.7.3 Lineare Distribution von PQ

Das Distributionsverfahren PQ10 eignet sich nur wenig für die lineare Distribution, da sich damit keine auf den Bildinhalt bezogenen Metadaten übertragen lassen.

PQ-Programme lassen sich stattdessen über das Distributionsformat HDR 10 an UHD-Consumer-Geräte verteilen, die Signale enthaltenen dann statische bildbezogene Metadaten.²⁶

²⁶ Eine Rückfallmöglichkeit auf PQ10 (alle Metadaten ignorieren) ist ebenfalls gegeben.

Grundsätzlich lassen sich PQ-Programme auch mit dynamischen bildbezogenen Metadaten über das Distributionsformat Dolby Vision verteilen, jedoch verfügen nicht alle UHD-Consumer-Geräte über die Möglichkeit, Dolby Vision zu decodieren.

Eine weitere Option besteht deshalb in der Ausstrahlung eines PQ-Programms mit auf den Bildinhalt bezogenen Metadaten nach dem Standard ST 2094-10. UHD-Consumer-Geräte mit einem neuen Dolby Vision-Decoder (frühestens ab 2019) werten diese dynamischen, bildbezogenen Metadaten aus. Andere Geräte können das zu

2.7 Zusammenhang zwischen Produktion und Distribution

HDR10 kompatible Signal nutzen und die enthaltenen statischen bildbezogenen Metadaten anwenden.

2.7.4 Kompatibilität von HDR und SDR bei der Distribution

Grundsätzlich ist eine Kompatibilität innerhalb der Distribution gewünscht, so dass HDR-Programme über den gleichen Sendeweg auch auf SDR-Displays wiedergegeben werden können. Dies ist nur über das Distributionsformat HLG möglich. Bei allen anderen Formaten muss eine differenzierte Programmbelegung vor Kunde erstellt werden.

2.7.5 SDR-Kompatibilität bei der Distribution von HLG

Die Kompatibilität betrifft ältere UHD-Consumer-Geräte, die zwar über eine UHD-1-Auflösung und einen Empfänger mit H.265 sowie WCG verfügen, jedoch keine HDR-Fähigkeit aufweisen.

Die Kompatibilität von HLG zu SDR bezieht sich auf den identischen Kennlinienverlauf der ursprünglichen HLG-Transferfunktion zu SDR.

Mit der aktuell verwendeten Nutzung der HLG-Kennlinie nach dem Prinzip HLG 400 ist diese Kompatibilität und der damit verbundene Nutzen jedoch eingeschränkt. Die Bilder werden dunkler wiedergegeben, die Gradation des HDR-Signals ist ebenfalls nicht korrekt.

Dies können UHD-Consumer-Geräte nur begrenzt rekonstruieren. Zudem besteht keine Rückwärtskompatibilität bezüglich des bei HDR verwendeten Farbraums WCG zu SCG.

3 Live-Produktionen

3.1 Monitoring

3.1.1 Referenz-Display

Referenz-Displays dienen zur vollständigen Kontrolle aller Parameter eines HDR-Bildes. Sie müssen der Klasse 1B-HDR nach EBU 3320 entsprechen, dürfen jedoch kein Power Limit aufweisen.

Betrachtungsabstand

Für eine Bildkontrolle, bei der Bilder unter den Gesichtspunkten Auflösung, Schärfe und Bildfehler beurteilt werden, ist für UHD-1 ein Betrachtungsabstand von 1,5-facher Bildhöhe zu berücksichtigen. Wird dies nicht eingehalten, können strukturelle Fehler oder ungenügende Schärfe nicht erkannt werden.

Spitzenleuchtdichte

Die Leuchtdichte eines Referenz-Displays muss mindestens 1.000 cd/m² betragen und über das gesamte Display erzielt werden. Eine von der Fläche abhängige und damit variierende Leuchtdichte – ein so genanntes Power Limit – ist nicht zulässig, weil sich damit der Look der Bilder verändert.

Display-Größe

Für eine Bildkontrolle, bei der Bilder unter den Gesichtspunkten Auflösung, Schärfe und Bildfehler beurteilt werden, kann nur eine Display-Größe von mindestens 31 Zoll zu einer verlässlichen Einschätzung führen. Artefakte wie beispielsweise eine falsche Link-Reihenfolge oder Skalierungseffekte lassen sich bei bewegten Bildern sonst nur schwer erkennen.

Display-Typen

Innerhalb einer Produktion sollten nur Displays desselben Typs verwendet werden. Werden OLEDs mit und ohne Power Limit, Dual LC- und Single LC-Displays gemischt, ist eine gemeinsame und einheitliche Aussage über den Kontrast nicht mehr möglich.

3.1 Monitoring

3.1.2 Produktions-Display

Für die Verwendung von Produktions-Displays an Timing-relevanten Arbeitsplätzen gilt, dass diese ebenfalls mit der richtigen Transferfunktion betrieben werden müssen. Je nach verwendeter Norm und Arbeitsweise der Mapper kommen sonst Delay-Zeiten von bis zu 80ms dazu.

Spitzenleuchtdichte

Erreicht das Produktions-Display keine Spitzenleuchtdichte von 1.000 cd/m^2 , muss es in einem Modus arbeiten, der das Bild bis zur Leistungsgrenze des Displays kontrastrichtig darstellt und darüber liegende Bildteile abschneidet, diese jedoch nicht komprimiert. Nur so sind vergleichenden Aussagen zu Bildern von Referenz-Displays möglich.

Die im Display überbelichteten Bildanteile lassen sich entweder durch eine Falschfarbenanzeige im Bild oder durch eine farbliche Hervorhebung im eingebauten Waveformer markieren, der die Videopegel misst.

3.1.3 Consumer-Display

Display-Prinzip

Werden Consumer-Displays an Stellen eingesetzt, bei der eine grundsätzliche Beurteilung des HDR-Eindrucks erwünscht ist, sollten nach dem derzeitigen Stand der Entwicklung nur OLED-Geräte eingesetzt werden. Nur mit diesen Geräten können die für eine Bildbeurteilung in der Produktion notwendigen Schwarzwerte dargestellt werden. Das in diesen Displays eingeschränkte Color Volume – die Kombination von Farbton, Farbsättigung und Farbhelligkeit – stellt jedoch keine Referenz dar.

Single LC-Display vermitteln im Vergleich zu Referenz- und Produktions-Displays nur ein kontrastschwaches Bild und führen zu missverständlichen Darstellungen.

Kalibrieren

Werden Consumer-Displays parallel zu Referenz-Displays eingesetzt, sollten sie mit einer geeigneten Software in den Punkten Kontrast und Farbe kalibriert werden. Wird diese Kalibrierung sorgfältig vorgenommen, kann man trotz Nutzung von verschiedenen Display-Techniken ein befriedigendes Ergebnis in der Gesamtbeurteilung erzielen.

Ansteuerung / Wandler

Während der Produktion muss der SDI-HDMI-Wandler für eine Überprüfung der Einstellungen zugänglich sein. Alle Einstellungen sollten ma-

nuell erfolgen. Ein automatisches Update des Displays muss ebenfalls ausgeschaltet sein. Ist dies nicht der Fall, kann es dazu führen, dass der Wandler oder das Display einzelne Einstellungen der Transferfunktion automatisch verändert.

3.1.4 Regie-Monitoring

Monitoring-Konzepte

Die Displays der Bildtechnik und der Lichttechnik sowie die des Programmausgangs und der Vorschau in der Bildregie müssen die gleiche Technologie verwenden. Wird zwischen OLEDs, Dual LCs und Single LCs gemischt, ist keine gemeinsame Absprache zwischen den Gewerken möglich.

Alle Displays – einschließlich des Multiviewers – dürfen nur Signale enthalten, deren Transferfunktion auch verarbeitet werden kann. Treffen beispielsweise UHD-HDR-Bilder auf ein HD-SDR-Display, ist der Bildeindruck für niemanden mehr nachvollziehbar und von korrekten Bildern nicht mehr zu unterscheiden.

Delay

Die Timing-Ebene aller Referenz- und Produktions-Displays, die an zeitrelevanten Arbeitsplätzen eingesetzt werden, muss identisch sein, und sollte nicht wegen eines Mappings verzögert sein.

3.1.5 Paralleles Monitoring von HDR und SDR

Eine gleichzeitige Kontrolle von HDR- und SDR-Material ist schwierig, da sich das Auge immer an helleren Bildern orientiert und damit eine objektive Bewertung erschwert.

PQ-Bilder, die mit einem Diffuse White von 51 % angesteuert werden, lassen sich mit SDR-Bildern vergleichen, da das Basisbild identisch ist und das Diffuse White in beiden Fällen 100 cd/m^2 beträgt.

Im Falle von HLG- und SDR-Bildern gestaltet sich das schwieriger, da das Diffuse White bei 203 cd/m^2 liegt. Eine Annäherung lässt sich erreichen, wenn man die Spitzenleuchtdichte des SDR-Displays von 100 auf 203 cd/m^2 anhebt.

3.1.6 Monitoring von S-Log3

Findet eine Produktion in S-Log3 statt, ist damit meist auch ein Monitoring von S-Log3-Bildern verbunden. Je nach Schwerpunkt der Produktion – HDR oder SDR – muss daher das Monitoring vorab definiert sein, da ansonsten das S-Log3-Bild nicht das gewünschte Ergebnis liefert.

Im Vergleich zu PQ besteht aufgrund ähnlicher Dynamik noch die größte Gemeinsamkeit, für die weitere Nutzung mit HLG oder als SDR-Signal muss aber ebenfalls eine entsprechende Absprache des Monitorings geklärt werden.

3.2 HDR-Workflows bei Live-Produktionen

Für die Wahl des richtigen Workflows einer UHD-HDR-Produktion gibt es im Wesentlichen drei verschiedene Fragen:

1) **Liegt der Fokus einer optimalen Bildqualität beim UHD-HDR- oder beim HD-SDR-Ergebnis?**

2) **Welchen technischen Aufwand stellt eine Sendung an die Ressourcen eines Studios oder eines Ü-Wagens?**

3) **Welche Auswirkungen hat die Entscheidung für die Aufzeichnung, die Bearbeitung und die Distribution?**

3.2.1 HDR- oder SDR-Schwerpunkt

Aufgrund der aktuell noch notwendigen parallelen Distribution von HDR- und SDR-Inhalten, muss bereits während der Produktion entschieden werden, ob das Ergebnis für UHD-HDR oder HD-SDR optimiert werden soll.

3.2.2 Aussteuerung und Mapping

Liegt der Schwerpunkt auf SDR, kann ein statischer Mapper²⁷ verwendet werden. Dieser wandelt von HDR nach SDR (Downmapping), da die Kamera in diesem Fall nach SDR ausgesteuert werden muss.

Steht HDR im Vordergrund, muss die Kamera nach HDR ausgesteuert werden, um alle vorhandenen Highlights einzufangen. In diesem Fall kann ein dynamischer Mapper²⁸ zum Einsatz kommen, um beispielsweise bei Outdoor-Sportveranstaltungen noch mehr der in HDR vorhandenen Highlights in das SDR-Signal zu „retten“. Die weiteren Vor- und Nachteile des Mappings sind in Kapitel 3.6 beschrieben.

3.2.3 Licht

Ein Sonderfall kann bei Show-Produktionen auftreten. Dort herrschen weitgehend kontrollierte Lichtbedingungen. Daher kann hier ein statischer Mapper zum Einsatz kommen, obwohl nach HDR ausgesteuert wird. Dies entspricht auch oft dem gestalterischen Wunsch der Produzenten, die eine definierte Anmutung der HD-SDR-Bilder wünschen.

Die Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Lichttechnik auch das HD-SDR-Ergebnis bei der Lichtgestaltung im Monitoring sieht.

3.2.4 Upconversion und Deinterlacing

Stehen nicht alle Bildquellen in UHD-HDR zur Verfügung, muss ggf. ein Deinterlacing und eine Upconversion von SDR zu HDR durchgeführt werden.

Dabei sollten alle Bildquellen grundsätzlich mit der Videonorm 1080p/50 betrieben werden. Die Nutzung von Bildquellen der Videonorm 1080i/25 ist zu vermeiden, da die vertikale Auflösung in diesem Falle bei der Upconversion um den vierfachen Wert erhöht werden muss. Dies führt, je nach Material, zu sichtbaren Artefakten. Auch beherrschen professionelle Videoprozessoren den gleichzeitigen – bei der Upconversion notwendigen – Prozess des Deinterlacings teils nur unzureichend, und es addieren sich die dabei entstehenden Artefakte zu denen der Upconversion.

Eine Angabe der dabei entstehenden Latenz ist erforderlich, da diese – je nach Prozessor – deutlich von den theoretischen Werten abweichen und damit auch variabel sein kann.

Im Falle von Schriftgeneratoren steht die Auflösung und die Wirkung von Effekten bei UHD gegenüber dem HD-Bild deutlich zurück. Deinterlacing-Artefakte machen sich bei grafischen Elementen besonders bemerkbar und beeinträchtigen die Gesamtwirkung des UHD-Bildes erheblich.

Um einen einheitlichen UHD-HDR-Bildeindruck zu schaffen, sollte daher sämtliches Bildmaterial, beispielsweise auch das Einspielmateriale, in UHD-HDR produziert werden. Sonst entsteht im Vergleich zu einem in HD-SDR vorproduzierten Material ein kontrastschwacher und wenig plastischer Bildeindruck.

3.2.5 Detail-Processing

Bei allen Prozessen der Up- und Downconversion zwischen 2160p/50 und 1080p/50 müssen die Detail-Settings zwischen der Kamera und den Konvertern aneinander angepasst werden.

Geschieht dies nicht oder werden Wandler ohne detaillierte Einstellmöglichkeiten verwendet, entstehen deutliche Unschärfen. Diese gilt insbesondere auch, wenn die Konvertierung zwischen 2160p/50 und 1080i/25 stattfindet.

3.2.6 Single Stream Workflow

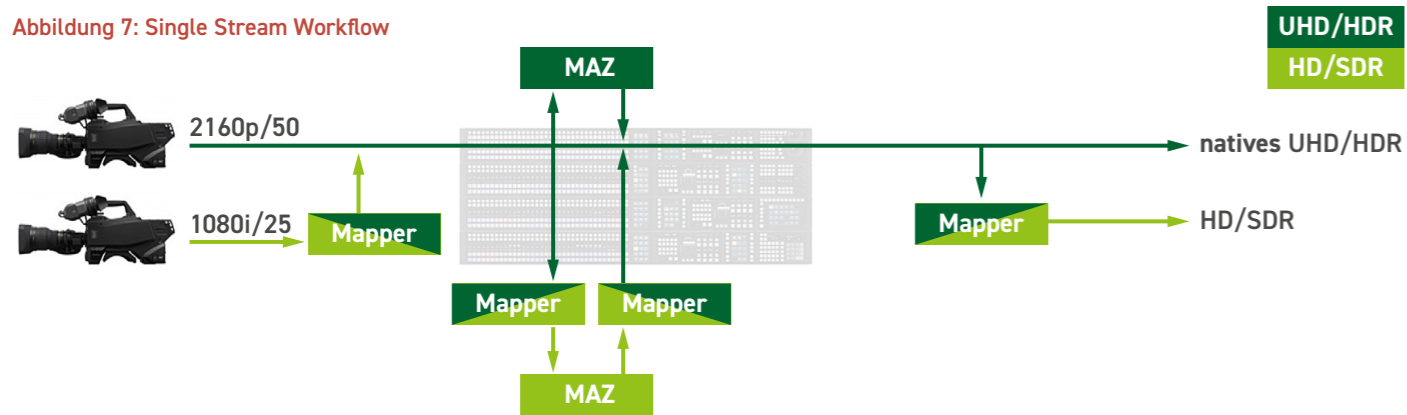
Ein Single Stream Workflow sieht vor, ausschließlich UHD-HDR-Bildquellen zu verwenden und alle Signale in UHD-HDR mit entsprechenden HDR-fähigen Displays zu monitoren.

²⁷ Ein statischer Mapper arbeitet mit festen Voreinstellungen.

²⁸ Ein dynamischer Mapper reagiert nach bestimmten Vorgaben automatisch auf Bildinhalte.

3.2 HDR-Workflows bei Live Produktionen

Abbildung 7: Single Stream Workflow



Am Ende der Signalkette wird das UHD-HDR-Signal zu einem HD-SDR-Signal gewandelt (Downmapping) und – wenn notwendig – mit weiteren Konvertierungen (Mappen) in andere HDR-Formate gewandelt (Crossmapping).

Dieser Workflow ist dann der richtige, wenn der Schwerpunkt der Nutzung tatsächlich auf UHD-HDR liegt, und die Anzahl der Bildquellen, die nicht nach UHD-HDR arbeiten und daher hochkonvertiert (Upmapping) werden müssen, überschaubar ist.

Beim Einsatz von PQ oder HLG entsteht das Ausgangssignal in der Kamera und steht für das Monitoring und die Aufzeichnung sowie für die Kontribution und Distribution nativ zur Verfügung. Dies entspricht der gewohnten und klaren Produktionspraxis von HD-SDR.

Die Besonderheiten von S-Log3 Produktionen sind im Kapitel 2.6 beschrieben. Der im folgenden Kapitel 3.2.7 vorgestellte Dual Stream Workflow kommt in diesem Fall nicht zur Anwendung.

Upmapping

Alle Bildquellen, die nicht in HDR vorliegen, müssen zu PQ bzw. HLG hochkonvertiert (Upmapping) werden.

Monitoring

Alle Referenz-Displays müssen den im Kapitel 3.1.1 genannten Vorgaben entsprechen und werden mit UHD-HDR-Signalen gespeist. Daraus resultiert eine gemeinsame, synchronisierte Ebene für alle Beteiligten. Eine Option für ein qualitatives SDR-Monitoring in der Bildtechnik existiert im Single Stream Workflow nicht. Die SDR-Qualität entsteht durch das Mapping des Sendesignals und kann erst danach im Monitoring beurteilt werden.

Das in der Basisstation einer Kamera erzeugte HD-SDR-Bild unterscheidet sich von dem zu HD-SDR herunterkonvertierten Bild (Downmapping) am Ende der Signalkette. Außerdem steht nicht von allen Bildquellen, wie beispielsweise Spezialkameras (z.B. Hintertor-Kamera, Action/Spider CAM etc.), ein paralleles HD-SDR-Bild zur Verfügung. Dies müsste mit einem Downmapping erzeugt werden, was zu einer Veränderung der Timing-Ebene führt.

Aufzeichnung

Für einen Single Stream Workflow in der HD-SDR und UHD-HDR Produktion, soll die Verarbeitung in allen Stufen des Workflows in UHD-HDR erfolgen – einschließlich von Slowmotion oder eines Highlight-Schnitts. Andernfalls entsteht wegen des dann auftretenden mehrfachen Down- und Upmapping's ein sogenannter Roundtrip, durch den das wieder eingespielte Material in einem direkten Vergleich deutlich schlechter dargestellt wird. Es entstehen Verluste in der Auflösung, und – je nach Einstellungen der Mapper – der HDR-Wirkung und der Gradation, die nur über speziell aufeinander abgestimmte Mappings minimiert werden können.

Im Übrigen würde im Falle abgesteckter Kameras und vieler Slomo-Kanäle die Anzahl der benötigten Mapper zu groß werden.

3.2.7 Dual Stream Workflow

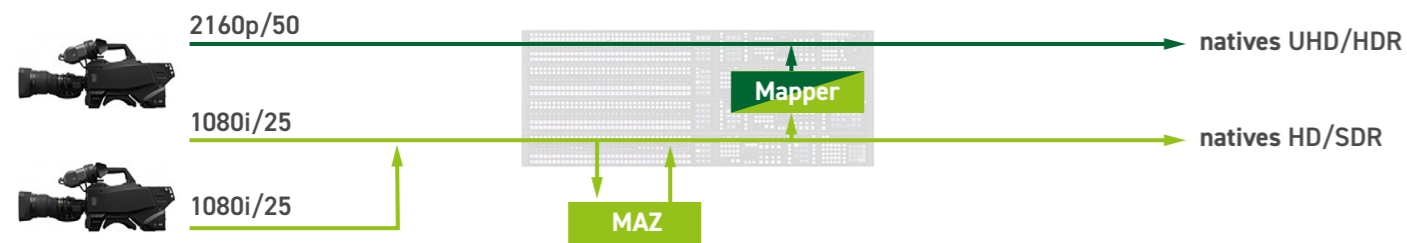
Der Dual Stream Workflow spielt seine Vorteile aus, wenn der Schwerpunkt auf den SDR-Inhalten liegt. Hier entsteht bereits in der Kamera ein natives SDR-Signal, welches in seinen visuellen Eigenschaften in Bezug auf Kontrast und Farbe unangetastet bleibt.

Ein Dual Stream Workflow bietet sich auch an, wenn ein größerer Anteil der Bildquellen, wie beispielweise Spezialkameras beim Fußball oder großen Sportübertragungen, nicht in UHD-HDR vorliegt. Hier wird dann mit getrennten Ebenen innerhalb des Bildmischpults für UHD-HDR und HD-SDR gearbeitet. Alle UHD-HDR-Bildquellen liegen parallel am Mischer auch als HD-SDR-Signale an.

Dazwischen liegt ein einzelner, zentraler Upmapper, der alle HD-SDR-Signalquellen nach UHD-HDR hochkonvertiert und entsprechend wandelt.

3.2 HDR-Workflows bei Live Produktionen

Abbildung 8: Dual Stream Workflow

**Upmapping**

Wird ein Programm auf der UHD-Mischebene geschnitten, findet im Falle eines HDR-SDR-Signals automatisch eine Substitution durch das hochkonvertierte und gewandelte Signal statt.

Bei dem zentralen Upmapper kann es sich entweder um einen im Mischer integrierten oder um einen externen Mapper handeln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Schnitt um die Laufzeit des Mixers verzögert wird. Wird dies nicht beachtet, entstehen Fehlschnitte. Zusätzlich müssen die nativen UHD-HDR-Bildquellen im Bildmischer ebenfalls um die Laufzeit des Mappers verzögert werden.

Monitoring

Da im Dual Stream Workflow alle Bildquellen auch als HD-SDR-Signale vorliegen müssen, findet das Monitoring für die Aussteuerung in der Bildregie und in allen anderen Bereichen auch auf dieser Ebene statt. Sie ist auch der Master für die Timing-Ebene.

Die Beurteilung des UHD-HDR-Signals kann dann nur im Endbild an wenigen Arbeitsplätzen, wie der Endkontrolle und der Lichttechnik stattfinden.

Aufzeichnung

Die Aufzeichnung findet grundsätzlich in HD-SDR statt. Damit werden Ressourcen gespart und der File-Austausch erleichtert.

Eine Aufzeichnung des UHD-HDR-Masters ist zwar möglich, jedoch besteht das Material aus einem Mix aus UHD-HDR- und HD-SDR-Inhalten, und beinhaltet damit verschiedene Signalqualitäten.

3.2.8 Workflow mit S-Log3

Für die Akquise hoher Kontraste hat der Hersteller Sony eine proprietäre Transferfunktion namens S-Log3 entwickelt. S-Log3 wird mittlerweile aber auch von Systemkameras anderer Hersteller unterstützt.

Systemkameras von Sony bieten zur Zeit²⁹ keine native PQ-Transferfunktion an. Möchte man mit diesen Kameras dennoch ein PQ-Sendesignal erzeugen, ist der Weg über S-Log3 als Zwischenformat mit dem dazugehörigen Mapping nach PQ sinnvoll. So kann der PQ-Container mit einem hohen Kontrast von S-Log3 gefüllt werden.

Wenn das gewünschte Ergebnis von Systemkameras HLG sein soll, kann die Kamera direkt im HLG-Mode betrieben werden. Der Weg über S-Log3 ergibt dann keinen Vorteil.

Für S-Log3-Produktionen, die im Anschluss der Aufzeichnung bearbeitet werden, ergibt sich für die Postproduktion mit S-Log3 ein gewohnter Workflow.

Mapping

Wird mit dem Zwischenformat S-Log3 gearbeitet, muss im Falle einer Live-Sendung das Sendesignal in jedem Falle nach PQ oder HLG gewandelt werden.

Zusätzlich müssen alle Bildquellen, die nicht in HDR vorliegen, zu S-Log3 konvertiert werden.

Monitoring

Im Gegensatz zu einer nativen PQ- oder HLG-Produktion ergibt sich für S-Log3 eine neue Monitoring-Ebene, die vom finalen PQ- oder HLG-Ergebnis abweicht, das durch ein Crossmapping am Ende der Produktion entsteht.³⁰

Aufzeichnung

In einem Single Stream Workflow ergibt sich bei Verwendung von S-Log3 automatisch eine entsprechende Aufzeichnung, die allerdings nicht überall problemlos austauschbar ist, da S-Log3 kein verbreitetes Austauschformat ist. Eine nachträgliche Wandlung erfordert dann Zeit und Kosten.

Bei einem Dual Stream Workflow finden die Aufzeichnungen in SDR statt, der S-Log3 Workflow ist hier nicht von Nachteil.

²⁹ Stand Juni 2021.

³⁰ Dabei muss zwischen visuellen und technischen Abweichungen mit unterschiedlichen Auswirkungen unterschieden werden.

3.3 Aussteuerung für HDR bei Live Produktionen

Grundsätzlich ist der Belichtungsspielraum bei HDR größer als bei SDR. Damit verschiedene Programme bei der Ausstrahlung jedoch eine vergleichbare visuelle Grundlage haben, sind für Live-Sendungen bestimmte Pegelwerte zu beachten. Diese Pegelwerte sind auch die Voraussetzung für das von den Mappern erwartete Ergebnis.

3.3.1 Aussteuerung bei PQ

Aus der höheren Dynamik bei PQ resultiert für die Aussteuerung ein größerer Spielraum als bei HLG400. Grundsätzlich liegt der – wie im Kapitel 2.4 und bei ITU-R BT.2100 genannte – Referenzpegel bei 51%. Dies entspricht einer Display-Leuchtdichte von 100 cd/m² auf einem Referenz-Display.

Folgt man dieser Anweisung, ist das HDR-PQ-Basisbild mit dem SDR-Bild mathematisch identisch.³¹ Damit sind die Bilder auch im Monitoring gut vergleichbar.

Davon abweichend wird in der ITU-R BT.2408-3 ein Richtwert von 58% Videopegel für Diffuse White genannt, entsprechend einer Display-Leuchtdichte von 203 cd/m². Diese entspricht der Idee von HLG, jedoch verliert man im Highlight-Bereich eine Blende bezogen auf ein Referenz-Display mit einer Spitzenleuchtdichte von 1.000 cd/m². Ein direkter Vergleich mit SDR-Bildern ist dann nicht mehr gegeben.

Aufgrund der verschiedenen Aussteueraspekte muss es daher vor einer Produktion eine Absprache geben, um ein korrektes PQ-Bild zu erreichen.

3.3.2 Aussteuerung bei HLG

Die Aussteuerung sollte sich nach den Richtlinien der ITU-R BT.2408-3 richten. Dabei ist ein Kontrastumfang von 11 Blendenstufen definiert.

Daraus geht der sogenannte Referenzpegel für Diffuse White von 75% hervor. Er entspricht einer Display-Leuchtdichte von 203 cd/m² auf einem Referenz-Display mit einer Spitzenleuchtdichte von 1.000 cd/m².

Werden diese Richtlinien eingehalten, entsteht ein normgerechtes HLG-Signal mit einem Bereich von 2 Blendenstufen für die Highlights, wie in Kapitel 2.5 beschrieben.

Gleichzeitig sind die 75% Diffuse White auch die Basis für ein korrektes Mapping.³² Alle Look Up Tables (LUT) der BBC³³ für HLG beziehen sich auf diesen Zusammenhang. Auch Mapper der verschiedenen Hersteller bauen auf dieser Vorgabe auf.

Grundsätzlich ist es möglich, aus gestalterischen Gründen hellere oder dunklere Bilder zu produzieren, jedoch sind die oben genannten Werte der Standard. Werden die Bilder darüber hinaus

deutlich heller, reduziert sich entsprechend der Signalanteil für die Highlights. Der umgekehrte Fall gilt ebenso.

3.3.3 Pegelbezug und Testtafel

Für eine kontrollierte Aussteuerung und Belichtung ist eine Kontrolle des Bezugspegels nach wie vor empfehlenswert. Dazu kann eine professionelle, diffus reflektierende Testtafel in der Szene als Referenz dienen, mit der ein Bezug zwischen Diffuse White und dem Hautton oder anderen Szenenelementen überprüft werden kann.

3.3.4 Beleuchtung

Um beispielsweise bei Aufnahmen von Shows, Musiksendungen, Opern und Theaterstücken die gesamte Szenerie korrekt übermitteln oder beeindruckenden HDR-Effekte erzielen zu wollen, muss das Lichtverhältnis zwischen den Akteuren auf der Bühne, sowie der Deko oder einer LED-Wand aufeinander abgestimmt sein.

LED-Wand

Für eine gute Wirkung darf die allgemeine Helligkeit der LED-Wand nicht heller als das Diffuse White der Szene sein. Sonst zeigen die Highlights in der Szene keine Wirkung mehr. Das gilt auch für LED-Bandenwerbung.

Nur HDR-fähige LED-Wände können HDR-Effekte in der Szene uneingeschränkt unterstützen. Ansonsten bleibt nur die Möglichkeit einer Content-abhängigen³⁴ Simulation von HDR-Effekten mit einer geringen Wirkung.

Lichteffekte

Die Gestaltungsoptionen von SDR lassen sich nicht 1:1 auf die HDR-Verhältnisse übertragen. Durch den höheren Kontrastumfang tritt eine Übersteuerung in einer Weißfläche viel später – oder wegen zu geringer verfügbarer Lichtmenge erst gar nicht ein.

Ist dies jedoch gewünscht, muss die Szene in Zusammenarbeit mit der Bildtechnik abgestimmt werden, um den Lichtaufwand für einen solchen Effekt in Grenzen zu halten.

Dies gilt beispielsweise auch für Effekte, die durch die Überlagerung der Beams von Scheinwerfern entstehen. Diese überlagern bei HDR oft nicht zu einem Ganzen, sondern sind weiterhin zu differenzieren.

Starlight

Gewünschte und gewohnte Starlight-Effekte sind an eine bestimmte Lichtmenge gebunden. Stehen diese durch das HDR-Lichtkonzept nicht zur Verfügung, fallen diese ebenfalls anders aus. Ebenfalls zu bedenken ist, dass der Einsatz aktueller Starlight-Filter bei UHD die Detailauflösung deutlich reduziert.

³⁴ Flächiger Content muss im Basisbild bleiben. Reflexionen oder kleine Spitzlichter können dann heller sein.

³¹ Dieser Zusammenhang ist aus der ITU-R BT 2100 erkennbar.

³² Ein Pegelwert von 73%, entsprechend 179 cd/m² wird nicht mehr verfolgt.

³³ British Broadcast Corporation.

3.4 Systemkameras

Grundsätzlich sollten Systemkameras mit drei Sensoren eingesetzt werden, deren Auflösung von 3840×2160 Pixeln aus 24 Millionen Bildpunktelementen³⁵ generiert wird. Kameras mit weniger Bildpunktelementen weisen neben der visuell geringeren Auflösung auch einen geringeren visuellen Kontrast der Bilder auf, was sich negativ auf das gewünschte HDR-Ergebnis auswirkt. Die dann notwendige Kantenanhebung erzeugt zudem einen weniger natürlichen Bildeindruck.

3.4.1 Objektive

Für UHD-Programme sollten ausschließlich nur UHD-Objektive der Premium-Serien³⁶ eingesetzt werden. Diese lassen sich in Bezug auf die chromatische Aberration leichter von der Kamera korrigieren. Im Gegensatz zu HD-Objektiven liegt der Sweet Spot der Auflösung nicht in der Bildmitte, sondern in den Randbereichen. Daher fallen sie an den Randbereichen nicht so stark ab.

Zudem sind UHD-Objektive kontrastreicher, womit der HDR-Eindruck – auch bei schlechten Lichtsituationen – zusätzlich unterstützt wird.

UHD-Objektive der Premium-Serien sind in ihrem Sweet Spot auf eine offene Blende ausgelegt und können damit zu einer Lichtreserve von etwa ein bis zwei Blenden kommen.³⁷

3.4.2 Auflagemaß

Die Einstellung des in der Praxis genannten Auflagemaßes³⁸ ist bei UHD deutlich kritischer als bei HD. Die notwendigen Details zur Einstellung (Kantenschärfe) lassen sich nur über Displays mit einer Mindestgröße von 31 Zoll erkennen.

Der exakte Einstellpunkt wird aus physikalischen Gründen erst im zweiten und dritten Durchgang sichtbar.

3.4.3 Detail-Processing

Bei allen Prozessen der Up- und Downconversion zwischen 2160p/50 und 1080p/50 muss das Detail zwischen der Kamera und dem Konverter aneinander angepasst werden.

Geschieht dies nicht oder werden Wandler ohne detaillierte Einstellmöglichkeiten verwendet, entstehen deutliche Unschärfen. Diese gilt insbesondere auch für den Einsatz von Deinterlacern, wenn die Konvertierung zwischen 2160p/50 und 1080i/25 stattfindet.

3.4.4 Schärfefehlen

Die Schärfentiefe bei UHD beträgt gegenüber HD nur noch ein Drittel. Daher sollten Sucher mit mindestens einer HD-Auflösung von 1920×1080 Pixel verwendet werden, bei denen das Bild in voller Größe ohne Skalierungsartefakte dargestellt wird, oder das Bild mit einem 1:1-Pixelmapping zu einer vollen Auflösung vergrößert werden kann.

Wegen der geringen Größe des Displays muss beim „Schärfefehlen“ sehr präzise gearbeitet werden. Selbst in der Vergrößerung auf einem HD-Display sind Bilddetails und damit die Schärfe nur sehr schwer erkennbar. Die Nutzung von Schärfassistenz-Systemen ist daher dringend zu empfehlen.

Im Falle von Spezialkameras sollte die Schärfekontrolle mindestens über 31 Zoll-UHD-Displays erfolgen, damit möglichst viele Bilder auch verwendet werden können.

3.4.5 Drahtlose Kamera

Die Latenz drahtloser UHD-Kameras sollte 20 Millisekunden nicht überschreiten.

In der Regel verfügen drahtlose UHD-HDR-Kameras über keinen HD-SDR-Ausgang an der Basisstation der Funkstrecke, und müssen im Falle eines Dual Stream Workflows für SDR herunterkonvertiert (Downmapping) werden.

Damit die dabei entstehende Latenz zwischen den UHD-HDR- und HD-SDR-Signalen nicht zu groß wird, sollte ein performanter Mapper eingesetzt werden.

3.4.6 Kamera-Settings

Kameras verschiedener Hersteller zeigen auf Grund unterschiedlicher Sensoren und Processing-Philosophien unterschiedliche Bilder in Bezug auf Lichtempfindlichkeit, Detail, Kennlinie und Farbe.

Werden verschiedene Kameras innerhalb einer Produktion verwendet, müssen entsprechende Settings erarbeitet werden, damit die Produktion aus vergleichbaren Bildern besteht.

³⁵ Ein Pixel, ein Bildpunkt besteht aus je einem roten, blauen und grünen Bildpunktelement.

³⁶ Einfache UHD-Objektive sind in Bezug auf UHD genauso in der Qualität reduziert, wie einfache HD-Objektive bei HD.

³⁷ Im Falle einer sehr langen Brennweite, ist dabei jedoch das Ramping zu beachten.

³⁸ Tatsächlich wird die Schnittweite des Objektivs verändert.

3.5 HDR-Look

3.5.1 SDR-Look

SDR-Bilder wirken kontrastreich, weil dunkle Bildteile durch die zweigeteilte Kennlinie ITU-R BT.709 unnatürlich komprimiert sind.³⁹ Ebenso ist die Grundsättigung gegenüber der tatsächlichen Szene zu hoch.⁴⁰ Diese beiden Faktoren ergeben den gewohnten SDR-Look.

3.5.2 HLG-Look

HLG-Bilder wirken trotz höherer Gesamtdynamik gegenüber SDR weniger kontrastreich, da hier keine Kompression dunkler Bildteile stattfindet. Ebenso fällt die Grundsättigung geringer aus.⁴¹ Beide Faktoren führen zu einem realistischeren, jedoch ungewohnten Bildeindruck. Zusätzlich wirkt das Bild wegen des Diffuse White von 203 cd/m² im Durchschnitt um eine Blende heller.

Möchte man zum gewohnten Look von SDR zurückkehren, muss in den nativen Look von HLG in jedem Produktionsschritt eingegriffen werden.

3.5.3 PQ-Look

Im Falle von PQ hat das Basisbild die gleiche Anmutung wie bei SDR und ist mit dem Diffuse White von 100 cd/m² mit dem von SDR identisch. Die Grundsättigung ist wie bei SDR gewohnt höher.

Möchte man dem SDR-Look nicht folgen, muss das PQ-Bild ebenfalls angepasst werden.

3.5.4 Sony-Looks

Die Kameras des Herstellers Sony bieten zusätzlich zwei individuelle Looks für die Produktion an.

Bei einer Produktion mit Kameras verschiedener Hersteller bietet hier dann nur der Standard-Look auf Basis der ITU-R BT.2100 eine direkte Vergleichbarkeit. Grundsätzlich kann immer ein individueller Look eingesetzt werden, andere Kameras müssen dann jedoch daran angepasst werden.

3.6 Mapper

Beim Upmapping werden die SDR-SCG-Inhalte zunächst grundsätzlich ohne Veränderung in den HDR-WCG-Container übertragen. Beim Downmapping von HDR-WCG nach SDR-SCG verliert man in der Regel die entsprechenden Inhalte.

Diese Mapping-Vorgänge folgen den entsprechenden Kennlinien und Farbräumen von HDR-WCG und SDR-SCG in einer transparenten Art und Weise ohne jede Abweichung von den Standards. Von dieser Grundfrage kann es aus zwei Gründen abweichende Einstellungen geben.

3.6.1 Scene Light / Display Light

Möchte man bei einem Mapping die visuellen Eigenschaften der ursprünglichen Quelle übernehmen, muss das Prinzip des Display Light Mappings zum Einsatz kommen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn von SDR nach HDR hochkonvertiert (Upmapping) wird und der SDR-Look nach HDR übertragen werden soll.

Im Falle von Scene Light Mapping möchte man sich von den visuellen Eigenschaften des Quellmaterials trennen und sich an denen des Zielformats orientieren. Dies tritt beispielsweise dann ein, wenn SDR nach HDR hochkonvertiert (Upmapping) wird, jedoch der HDR-Look erreicht werden soll.

Dies muss bei der Wahl und den Einstellungen der Mapper berücksichtigt werden. Dazu können entsprechende vorgefertigte Look Up Tables (LUT), beispielsweise der BBC oder NBCU⁴² verwendet werden. Ebenso können eigene Algorithmen der Mapper-Hersteller oder eigene LUTs zum Einsatz kommen.

3.6.2 Roundtrip

Ein Roundtrip entsteht, wenn Material, beispielsweise von HDR nach SDR und wieder zurückkonvertiert wird.

Dies kann dann notwendig sein, wenn bei einer HDR-Produktion nur die Möglichkeit einer SDR-Aufzeichnung existiert. Damit in diesem Falle nicht alle Highlights von HDR verloren gehen, müssen die Mapper entsprechende Settings erhalten, ohne dass sich die Grundhelligkeit verändert.

Auch im umgekehrten Fall, einem Mapping von SDR nach HDR und wieder zurück, sollten entsprechende Einstellungen dafür sorgen, dass die vorab in das SDR-Signal eingebrachten Highlights ohne Beeinflussung der Gesamthelligkeit nach HDR und wieder zurück nach SDR übernommen werden können.

³⁹ Die Kompression von Schwarz wurde in die Gamma-Kennlinie übernommen, um dem reduzierten Störabstand früherer Kameras entgegenzuwirken.

⁴⁰ Die Grundsättigung wurde in SDR erhöht, um den entsättigten Bildeindruck, der durch die Wiedergabe mit geringer Leuchtdichte in einem dunklen Umfeld entsteht, zu kompensieren; für HDR wird diese Kompensation bei HLG durch eine höhere Leuchtdichte des Basisbilds und bei Fußballübertragung durch flächige Highlights übernommen; ebenso wirkt die Kennlinie verstärkend auf die drei RGB-Kanäle.

⁴¹ Die Systemkennlinie wirkt nur auf den Luma-Kanal.

⁴² National Broadcasting Company Universal.

3.6 Mapper

3.6.3 Laufzeit

Bei allen Mapping-Fragen darf die benötigte Laufzeit der Mapper nicht dazu führen, dass das Timing-Konzept der Produktion gefährdet wird.

3.6.4 Interlacing / Deinterlacing

Kommt Material der Videonorm 1080i/25 bei einer HDR-Produktion zum Einsatz oder soll das Sendergebnis von 2160p/50 auch nach 1080i/25 gewandelt werden, muss der verwendete Mapper dafür geeignet sein, um die Bildqualität nicht zu gefährden.

3.6.5 Statisches / dynamisches Downmapping

Mapper, die das Bildmaterial nicht nur anhand einer statischen Vorgabe herunterkonvertieren, sondern auf wechselnde Bildinhalte unterschiedlich reagieren, können grundsätzlich mehr HDR-Bildanteile in das SDR-Ergebnis überführen.

Dabei ist jedoch das Ergebnis nicht immer vorhersehbar. Liegt der Schwerpunkt einer HDR-Produktion auf SDR und ist dieser SDR-Look festgelegt – beispielsweise durch die Lichtgestaltung einer Show-Sendung – so bedarf der Einsatz eines dynamischen Mappings einer Absprache und entsprechend genauen Einstellungen.

Werden abgesteckte Kameras herunterkonvertiert (Downmapping), entstehen bei einem dynamischen Mapping unterschiedliche Bildeindrücke, die in der Bearbeitung mit entsprechenden Korrekturen angeglichen werden müssen.

Sendungen, bei denen das Gewicht auf dem HDR-Ergebnis liegt und die für sich stehen, sind für den Einsatz eines statischen Mappers geeignet. Dieser muss im Signalweg jedoch so platziert werden, dass eingeblendete Grafiken das Mapping-Ergebnis nicht beeinflussen.

Alternativ kann dies auch mit entsprechend wirksamen Einstellungen des Mappers erreicht werden.

3.7 Aufzeichnungsformate

3.7.1 Aufzeichnungsformate für HDR

Für aktuelle Programme, die in UHD-HDR produziert werden, dürfen nur Videokodierformate mit einer Quantisierung von mindestens 10-Bit verwendet werden. Formate, die nur über eine 8-Bit-Quantisierung verfügen, führen beispielsweise bei Mapping-Prozessen zu deutlichen Artefakten.

UHD-Aufzeichnungsvarianten in der Norm 2160p/50 verlangen eine um den Faktor 8 höhere Datenrate, da die entsprechenden UHD-Videokodierformate jeweils auf den gleichen Generationen der Kompressionsverfahren wie die HD-Vorgängerformate basieren.⁴³ Daraus ergeben sich u.a. folgende Mindestempfehlungen für zulässige Formate:

- AVC-Intra vom Hersteller Panasonic mit einer Datenrate von 800 Mb/s
- XAVC QFHD Intra Class 30044 CBG vom Hersteller Sony mit einer Datenrate von rund 500 Mb/s (50 Frames per Second, fps)

Die eigentlich notwendige 8-Mal höhere Datenrate wird bei XAVC-I Class 300 nicht erreicht, womit sich in der Praxis eine gegenüber der HD-Variante eingeschränkte Generationsfestigkeit ergibt. Unnötige Umkodierungen sollten hier daher vermieden werden.

Die Formate DNxHR HQX des Herstellers Avid und ProRes 422 HQ des Herstellers Apple erfüllen mit Datenraten von rund 1.389 Mb/s bezie-

ungsweise 1.475 Mb/s die Forderung einer um den Faktor 8 höheren Datenrate gegenüber den HD-Vorgängern mit rund 184 Mb/s. Sie bieten daher auch eine höhere Generationsfestigkeit und mehr Qualitätsreserve an.

Aufgrund der hohen Datenrate werden sie in der Akquise nicht eingesetzt, bieten sich für die Bearbeitung jedoch besonders an. Videodatenreduktionsformate, die mit einer Group of Picture (GOP) arbeiten, sind für spätere UHD-Post-Produktionsprozesse nicht geeignet.

3.7.2 Aufzeichnungsformate für SDR

Die Qualität von Material, das im Highlight- oder Slomo-Schnitt entsteht und aufgrund fehlender HDR-Aufzeichnungskapazitäten zu SDR herunterkonvertiert (Downmapping) und mit HD-SDR aufgezeichnet wird, ist bei der Wiedergabe und dem dann notwendigen Upmapping besonders gefährdet. Dieses Verhalten wird in Kapitel 3.6 beschrieben.

Hier dürfen nur HD-Videokodierformate mit einer 10-Bit-Quantisierung wie XAVC-I oder AVC-Intra zum Einsatz kommen. Das in weiten Teilen für HD verwendete Videokodierformat XDCAM HD 422 sollte aufgrund der 8-Bit-Quantisierung und der Beschränkung auf Interlaced nicht die Grundlage für Programme sein, die später zu UHD hochkonvertiert (Upmapping) werden sollen.

⁴³ XAVC-I und AVC-Intra auf H.264 sowie DNxHD/DNxHR und ProRes auf DCT.

⁴⁴ Die Zahl 300 bezieht sich auf die Datenrate, die bei der Norm 29,97 Bilder pro Sekunde entsteht.

3.8 Signalübergabe zum Sendezentrum

3.8.1 SDI-Schnittstelle

Für die Übergabe sollten nur die Schnittstellen Single Link 12G-SDI, Quad Link 3G-SDI Level A oder 2 Sample Interleave (2SI) verwendet werden. Nur diese enthalten die notwendigen HDR-Metadaten, die für eine automatisierte Abwicklung notwendig sind. Square Division- und Level-B-Signale werden nicht von allen professionellen Videoprozessoren unterstützt, die sich in Sendezentren befinden.

Eine Abweichung von dieser Regel bedeutet, dass sich am Eingang des Schaltraums oder Übergabepunkt des Signales einer Außenstelle, die Verantwortung zur Übergabe eines korrekten Signals mit allen Metadaten nicht mehr beim Übergabepunkt liegt, sondern beim Ü-Wagen oder im Außenstudio.

3.8.2 SDI-Schnittstellenwandlung

Die Wandlung senderelevanter Signale zwischen Single Link 12G-SDI und Quad Link 3G-SDI sollte nur mit Geräten vorgenommen werden, die über ein doppeltes Netzteil verfügen und deren Parameter über das Netzwerk überwacht werden können. Die HDR-Metadaten müssen dabei gegebenenfalls entsprechend angepasst werden.

3.8.3 VPID-Metadaten

Die Metadaten aller Studiogeräte im Video Payload Identifier, kurz VPID genannt, die die senderelevanten Signale produzieren oder konvertieren, müssen den Signalinhalten ständig entsprechen und eventuellen Umschaltprozessen dynamisch folgen. Die Metadaten müssen mit den Standards SMPTE 358 sowie SMPTE 425-5 in der aktuellen Fassung übereinstimmen.

Die Metadaten der Sendesignale müssen so kontrolliert werden, dass jederzeit ein Informationsaustausch zwischen dem Studio oder Ü-Wagen auf der einen, und der Sendeabwicklung auf der anderen Seite stattfinden kann.

Werden Metadaten am Sendeausgang nicht automatisch korrekt ausgegeben, müssen diese entsprechend manuell korrigiert werden.

Falsche Metadaten können in nachfolgenden Messgeräten, Displays, Prozessoren oder Sende-Encodern zu falschen Darstellungen oder zu einer falschen Übergabe der HDR-Parameter bei der Aufzeichnung, oder im weiteren Verlauf des Sendewegs führen.

3.8.4 Line Up

Für ein Line Up von UHD-HDR-Programmen eignet sich der Farbbalken 100/100 nur eingeschränkt. Erstens erzeugt der Weißbalken nicht die entsprechende Leuchtdicht von Reference White, zweitens lassen die Videopegel keinen Schluss auf die HDR-Variante zu.

Im Falle einer Übergabe von HLG-Signalen sollte das in der EBU Tech 3373 beschriebene Testsignal verwendet werden. Dies weist neben einem maximalen Videopegel von 100% den für HLG genannten Wert für das Reference White von 75% auf. Mit weiteren im Signal enthaltenen Farbbalken lässt sich dann das Downmapping zu SCG prüfen.

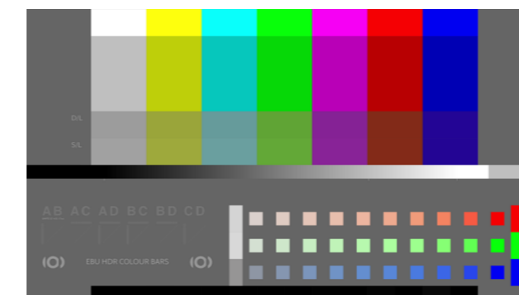


Abbildung 9: Testsignal EBU Tech 3373

Für die Beurteilung von anderen UHD-HDR-Signalen ist eine Alternative das in der ITU-R BT.2111-2 enthaltene Testsignal. Dieses enthält in der HLG-Variante ebenfalls ein Reference White von 75%, und in der PQ-Variante einen Wert von 58%. Damit lassen sich UHD-HDR-Signale auch eindeutig von HD-SDR-Signalen unterscheiden.



Abbildung 10: Testsignal ITU-R BT.2111-2

3.8.5 IP-Schnittstelle

Im Falle einer Übergabe der Signale über IP-Schnittstellen müssen die Metadaten ebenfalls entsprechend übergeben werden.

4 Szenische Produktionen

Im Gegensatz zu den in Kapitel 3 beschriebenen Live-Produktionen gibt es bei szenischen Produktionen teilweise ähnliche, in manchen Aspekten aber auch zusätzliche Anforderungen und Herausforderungen bei folgenden Themen:

- Größe der Files, abhängig vom jeweiligen Recording-Format, mit Auswirkungen auf ...
- ... Materialhandling, speziell bei Mehr-Kamera Produktionen
- ... Umkopier-/Transferzeit, speziell z.B. für den täglichen Musteraustausch
- ... Verfügbarkeit von Datenträgern
- ... Schnelle Datensicherung
- ... Renderzeiten
- ... Postproduktionszeit zwischen Dreh und Abgabe, hier auch speziell das zusätzliche UHD-HDR-Grading (Farbkorrektur)
- Verschiedene OETFs in digitalen Film-Kameras
- Grading-Prozesse (HDR, SDR)
- Auszuliefernde Fileformate
- HDR-Metadatenberechnung (z.B. maxCLL, maxFALL, Dolby Vision)
- Metadatenhandling
- (HDR-)Archivformat Varianten, insbesondere PQ vs. HLG vs. PQ&HLG
- Umgang mit „Alltags“ HDR (UHD-HDR-Content für Infotainment, Reportagen und News)

4.1 Kameras

Kameras für szenische UHD-HDR-Produktionen sollten über Sensoren mit Auflösungen von UHD (3.840×2.160) oder besser verfügen. Auch wenn die grundsätzliche Empfehlung die Nutzung von Sensoren mit nativer UHD-Auflösung (oder mehr) ist, erzielen auch hochwertige 3,2K Filmkameras bereits sehr gute Ergebnisse in Bezug auf Bild- und Farbqualität.

Bei der Auswahl der richtigen Kamera ist zu beachten, dass die Kamera eine native Auflösung von mindestens 3.200×1.800 Pixeln bei dem Format 16:9 bietet. Bei anamorphotischer Aufzeichnung („Cinemascope“) wird eine native Auflösung von mindestens 2.880×2.160 empfohlen.

Ein Hochrechnen auf 3.840×2.160 sollte danach in der Postproduktion stattfinden.

Als weitere Maßnahme sollte das „Clipping“ in der Kamera abgeschaltet sein, um den vollen HDR-Kontrastumfang aufnehmen zu können.

Beispiele geeigneter und derzeit üblicher digitaler Filmkameras für szenische UHD-HDR-Produktionen finden sich in der folgenden Auflistung (in alphabetischer Reihenfolge):

- ARRI: Alexa 65, Alexa LF, Alexa Mini LF, Alexa SXT, Alexa Mini, Amira⁴⁵
- Blackmagic: URSA MINI PRO
- CANON: EOS, C300 MKII & III, C500 (+ MKII), C700 (+FF), C70
- PANASONIC: VariCam 35, LT, Pure
- Panavision: DXL2
- RED: DSMC2 Weapon Monstro (8K), Dragon-X (6K), Raven (4,5K)
- SONY: FS7, F55, Venice 1 & 2, FX9
- ... oder vergleichbare Kameras

⁴⁵ Alexa SXT, Alexa Mini und Amira mit 3,2K-Auflösung (3.200×1.800).

4.2 Aufnahme-Formate

Für die Aufnahme von hochwertigen szenischen UHD-HDR Produktionen bieten sich unterschiedliche Aufnahmeformate an, die sich grundsätzlich in die Speicherung von Sensor-Rohdaten und die möglichst kompressionsarme Video-Encodierung unterteilen lassen können:

- unkomprimierte lineare Speicherung der Sensor-Rohdaten (typ. 16 Bit)
- datenreduzierte oder komprimierte logarithmisch encodierte Rohdaten (typ. ≥ 12 Bit)
- Aufzeichnung der nativen Sensorauflösung (erfordert nachträgliche Skalierung)
- Speicherung der Einzelbilddateien, teils in MXF verpackt (Wrapping); dieses Vorgehen bietet die größte Flexibilität und Qualität für die Postproduktion
- Beispielformate für die Speicherung sind: ARRI RAW (.ari), ARRI HDE (.arx), Canon Cinema RAW Light (.crm), REDCODE RAW (.r3d), Sony RAW (.dng), Sony X-OCN (.mxf), usw.

Die Rohdaten (RAW) müssen für die Ansicht immer speziell „entwickelt“ werden, beispielsweise mit einem De-Bayering⁴⁶.

Hochwertige Produktions-Video codecs haben eine Quantisierung von ≥ 10 Bit und arbeiten entweder mit einer kameraspezifischen logarithmischer OETF (z.B. ARRI LogC, Canon Log2, Sony S-Log3, etc.), oder mit einem kameraspezifischen Wide Gamut (z.B. ARRI ALEXA Wide Gamut, Canon Cinema Gamut, Sony S-Gamut3.cine, etc.).

In jedem Fall sind Datenraten von ≥ 250 Mbit/s bei 25p und ≥ 500 Mbit/s bei 50p erforderlich.

Passende Beispiel-Codecs sind ProRes 4444 (XQ), ProRes 422 (HQ), XAVC QFHD-Intra 4K Class 300/480 CBG, AVC-Intra 4K 4:2:2, etc.

Natürlich ist es jeder Produktion freigestellt, ob in RAW oder einem hochwertigen und möglichst kompressionsarmen Videocodec aufgezeichnet wird. Es gilt jedoch immer die Prämisse, das Material so unkomprimiert und „roh“ wie möglich aufzuzeichnen, damit für die Postproduktion die beste Qualität zur Verfügung stehen kann.

4.3 Monitoring, Aussteuerung beim Dreh

Die Voraussetzungen für das Monitoring und die Aussteuerung beim Dreh sind wie folgt zu beschreiben:

- 1) Ggf. notwendige Anpassungen der Beleuchtung auf Grund von unterschiedlich wahrgenommenen Lichtverhältnissen zwischen HDR- und SDR-Auswertung können mittels eines HDR- und SDR-Monitors am Set visuell verifiziert werden.
- 2) Eine sehr gute Bildkontrolle der HDR-Effekte / Highlights über einen entsprechenden HDR-Monitor mit ausreichender Auflösung⁴⁷ ist am Set unabdingbar; sofern am Set kein HDR-Monitor zur Verfügung steht, sollten die Auswirkungen unterschiedlicher Belichtungs- und Beleuchtungsverfahren vor Drehbeginn, z.B. während des Kameratests evaluiert werden.
- 3) Sämtliche am Set zur Bildkontrolle eingesetzten HDR- und SDR-Monitore müssen getestet und kalibriert sein; zudem soll das On-Set Monitoring unter kontrollierten Umgebungslicht-Bedingungen stattfinden.

4) Es ist unbedingt darauf zu achten, dass in den Bildern kein ungewolltes Sensorrauschen vorhanden ist; Bildrauschen, das in HD nicht sichtbar ist, kann in der UHD-HDR Fassung sehr wohl sichtbar sein.

5) Auch wenn aktuell noch HD-SDR BT.1886 (BT.709) das vorwiegend verwendete TV-Sendeformat ist, sollte die Bildgestaltung generell für UHD-HDR konzipiert sein, da man von der UHD-HDR-Basis sehr gut ein HD-SDR-Bild ableiten kann.

⁴⁶ De-Bayering bezeichnet die Rekonstruktion von Farbe aus den Helligkeitswerten eines mit Farbfiltern (Bayer- Pattern) ausgestatteten Bildsensors.

⁴⁷ Als Praxisbeispiel siehe auch <https://partnerhelp.netflixstudios.com/hc/en-us/articles/4409833378707>.

4.4 Postproduktion, Grading

Mit den Ausführungen in diesem Kapitel sollen lediglich der nötige Rahmen und die Leitlinien für die Postproduktion und das Grading beschrieben werden. Es ist nicht Absicht dieses Kapitels, den gestalterischen Prozess und den Look einer Produktion zu beeinflussen.

Zunächst ist es ratsam, die Referenz- und Consumer-Displays nur bis P3 D65 auszusteuern, da es aktuell keine hinreichende Abdeckung des Farbraums BT.2020 gibt. Die Speicherung findet aber im BT.2020 „Container“ statt.

Das UHD-HDR-Grading muss zwingend mit einem Monitoring in BT.2100 (PQ oder HLG) erfolgen. Für das Grading muss ein Class-1b-fähiges Referenzdisplay mit Spitzenleuchtdichte von mind. 1000 cd/m² verwendet werden. Dabei muss der Farbraum P3 D65 vollständig wiedergegeben werden, womit sich zwei mögliche Monitoring- und Bearbeitungsvarianten ergeben:

1) P3 nativ mit anschließender Wandlung nach BT.2020

- Das Farbkorrektursystem gibt das final farbkorrigierte Bild in P3 aus, und das jeweils eingesetzte HDR-Referenzdisplay ist ebenfalls nach P3 kalibriert
- Vor der finalen Auslieferung wird das Signal von P3 nach BT.2020 gewandelt

Eine ggf. weitere visuelle Überprüfung hat dann auf einem nach BT.2020 kalibrierten Display zu erfolgen.

2) BT.2020 nativ mit Begrenzung des Farbraums auf P3 (P3 im BT.2020 „Container“)

- Das Farbkorrektursystem gibt das final farbkorrigierte Bild in BT.2020 mit Einschränkung auf P3 aus
- Das jeweils eingesetzte HDR-Referenzdisplay ist ebenfalls nach BT.2020 kalibriert

4.4.1 Color Management Systeme / Color Managed Grading

Color Management Systeme (CMS) bieten eine einfache Möglichkeit, Bilddaten mathematisch korrekt und visuell ansprechend zu transformieren, um sie dann z.B. in einem großen, kameraunabhängigen Farbraum zu bearbeiten.

Hierfür muss der Zustand der Bilddaten in jedem Schritt der Signal-/Bildverarbeitung bekannt sein. Bei Kameramaterial kann das z.B. durch Metadaten erfolgen, die die Bildeigenschaften definieren (z.B. ARRI LogC Wide Gamut). Sind keine Metadaten vorhanden, können die Bildeigenschaften manuell zugewiesen werden.

Das CMS wandelt das Ausgangsmaterial jeglicher Kameras, VFX, Archive, Grafiken, etc. in einen einheitlichen Arbeitsfarbraum, in dem dann u.a. Color Grading und VFX Compositing stattfinden. Um die Bilder betrachten zu können, transformiert das CMS die Daten außerdem stets aus dem Arbeitsfarbraum in ein Zielformat, z.B. in einen Displayfarbraum, wie HDR PQ BT.2020.

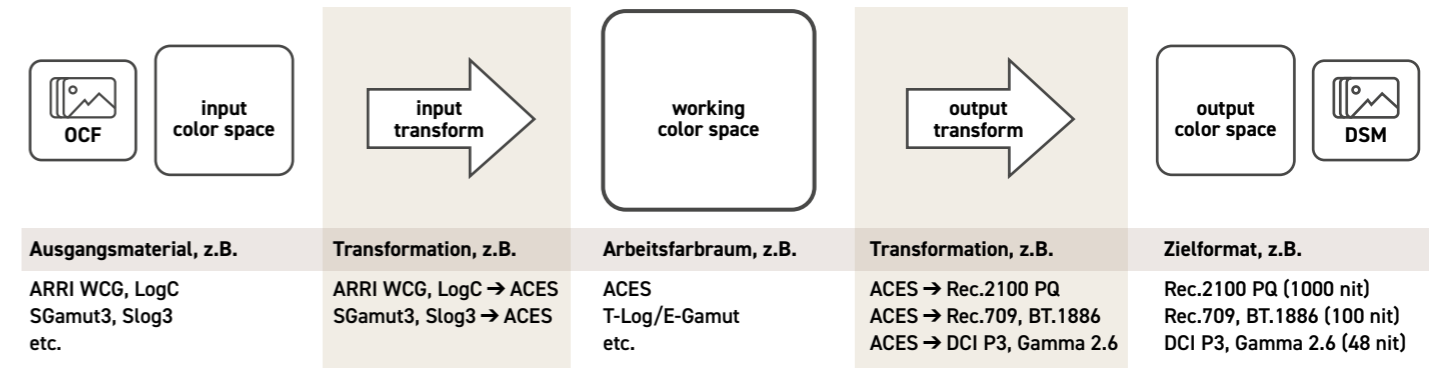
Wechselt man den Displayfarbraum (z.B. auf SDR BT.1886, BT.709), wandelt das CMS die Bilddaten aus dem Arbeitsfarbraum nun dorthin und bietet einen visuell ansprechenden Startpunkt für weitere Anpassungen. Color Managed Grading bietet somit den Vorteil auf bestehende Transformationen für definierte Farbräume zurückzugreifen, und so verschiedene Quellen und Ziele einfach in einem Workflow miteinander kombinieren und bedienen zu können.

In einem „Nicht Color Managed“ Workflow übernehmen die Coloristen die Anpassung verschiedener Quellen auf die jeweiligen Display-

farbräume. Dies geschieht üblicherweise mittels manueller Korrekturen und/oder starrer Look Up Tables (LUTs). Ein CMS nimmt eine diese technische Arbeit ab, sodass sich hauptsächlich auf kreative Entscheidungen der Bildgestaltung konzentriert werden kann.

Ein seit langem bekanntes und genutztes CMS ist ACES (Academy Color Encoding System, herstellerunabhängig) von der Academy of Motion Pictures Arts and Sciences. Die meisten Grading-Systeme verfügen inzwischen aber auch über eigene CMS neben der Implementierung von ACES.

Abbildung 11:
„Color managed Workflow“ (OCF= Original Camera Format/File; DSM=Digital Source Master)



4.4 Postproduktion, Grading

4.4.2 Schnitt / Grading-Workflow

Für die HD-SDR- und UHD-HDR-Postproduktion gilt als Grundvoraussetzung, dass das native Kamera-Ausgangsmaterial als Basis für alle weiteren Schritte dient. Davon ausgehend wird entweder mit Low-Res-Proxies in der HD-SDR- oder in der UHD-HDR-Auflösung weiter gearbeitet.

Die Auswahl, mit welchem Format begonnen wird und in welcher Reihenfolge das anschließende Grading erfolgt, muss jeweils separat betrachtet und kalkuliert werden.

Relevante Fragen sind hier:

- Liegen Grafik, Titel und Abspann in HD-SDR oder UHD-HDR vor?
- In welchem Format liegt benötigtes weiteres Material (Archiv-, Fremdmaterial, usw.) vor?
- Ist eine Wandlung dieses Materials vorab notwendig?

Hat man z.B. mit HD-SDR begonnen und dafür das Optimum erreicht, muss für das Grading in UHD-HDR vieles noch einmal angefasst werden, da das Optimum für UHD-HDR nicht berücksichtigt werden konnte. Daraus resultieren dann in der Summe ggf. deutlich mehr Grading-Prozesse.

Wurde umgekehrt mit UHD-HDR begonnen, ist das maximal Mögliche schon herausgeholt, und unter Verwendung der bestehenden Timelines sehr effektiv für HD-SDR zu verwenden.

Zwei beispielhafte, aktuell häufig angewendete Postproduktions-Varianten als SDR FIRST und HDR FIRST werden nachfolgend beschrieben.

Postproduktions-Variante 1, SDR FIRST

- 1) Offline-Schnitt (Low-Res) und inhaltliche Abnahme
- 2) Anpassen (Conforming) auf das native Kameramaterial
- 3) Abnahme des HD-SDR-Gradings mit dem DOP (Director of Photography)
- 4) UHD-HDR-Grading mit Übernahme und Anpassung des SDR-Gradings
- 5) Ggfs weitere Abnahme des UHD-HDR mit dem DOP
- 6) Export/Rendering des HD-SDR und UHD-HDR als 2 separate Source Master (ggf. auch direkt als Service Master) entsprechend der geforderten technischen Spezifikationen

Postproduktions-Variante 2, HDR FIRST

- 1) Offline-Schnitt (Low-Res) und inhaltliche Abnahme
- 2) Anpassen (Conforming) auf das native Kameramaterial
- 3) UHD-HDR-Grading für BT.2100 (HLG/ST.2084 PQ) oder für P3/D65 (ST.2084 PQ) und Abnahme des Gradings mit dem DOP

- 4) Erstellung der SDR-Version mit statischem Mapping von HDR zu SDR (Variante A) oder mit dynamischen Mapping zwischen HDR und SDR (Variante B)

Variante A:

- Mapping des HDR Grading mittels LUT / Output-Transformation nach SDR
- Manuelle Anpassung des SDR-Ergebnisses mittels SDR-Grading
- Export/Rendering des HD-SDR und UHD-HDR als 2 separate Source Master (ggf. auch direkt als Service Master) entsprechend der geforderten technischen Spezifikationen

Variante B:

- Automatische Berechnung dynamischer Metadaten (per Shot / per Szene)
- Optionale Anpassung der dynamischen Metadaten (mittels Trim-Pass für SDR und opt. Trim-Passes für weitere HDR-Spitzenleuchtdichten, z.B. 600 cd/m²)
- Export/Rendering des UHD-HDR als Source Master (ggf. auch direkt als Service Master) inkl. der dynamischen Metadaten entsprechend der geforderten technischen Spezifikation
- Optionaler Export der „tonemapped“ SDR-Fassung (abgeleitet vom HDR via dynamischer Metadaten)

Das Mapping von HDR nach SDR wie in Var. A/B beschrieben erfordert ggfs. unter künstlerischen Ansprüchen und in Abhängigkeit der jeweiligen Bildgestaltung manuelle Anpassungen. Es ist aber auf jeden Fall in allen Varianten problemlos möglich – unter Einhaltung der technischen Parameter – ein sehr gutes Ergebnis zu erreichen.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten muss insbesondere für TV-Sender das Ziel sein, nur ein ein Sendefile/Service-Master zu nutzen, von dem automatisch alle Distributionsformate in HDR und SDR für die lineare und nicht-lineare Auspielung (DVB, OTT) abgeleitet werden können.

4.4.3 HDR für News, Reportagen und Magazine

Pro- und Consumer Kameras, wie auch eine Vielzahl von Smartphones, wie z.B. das Apple iPhone 12 bis 14, oder das Samsung Galaxy Z, sind bereits heute in der Lage, HDR-taugliche Bilder in ST.2084 (PQ) oder Hybrid Log Gamma (HLG) aufzuzeichnen und unter Berücksichtigung der jeweiligen Sensor- und Processing-Kapazitäten sehr gute Ergebnisse zu erzielen. Da heutige Smartphone-Displays ebenfalls HDR-fähig sind, ist eine Aussteuerung und spätere Begutachtung des aufgezeichneten Materials ebenfalls möglich. Die native Verarbeitung des aufgezeichneten HDR-Materials (ST.2084 oder HLG) wird mittlerweile in nahezu allen NLEs unterstützt.

4.4 Postproduktion, Grading

Dennoch sollte der Einsatz von HDR vor allem dann gründlich abgewägt werden, wenn die Aufnahmen unter Bedingungen stattfinden, welche keine sorgfältige Aussteuerung des Signals zulassen, da Fehlbelichtungen in HDR störender wahrgenommen werden als in SDR. Zudem muss geklärt werden, ob die Verarbeitung des aufgezeichneten HDR-Materials von nachgelagerten Redaktions- und Media Asset Management (MAM) Systemen unterstützt wird.

Unter Berücksichtigung der vor allem im News-Bereich über Sende- und Rundfunkanstalten hinweg eingesetzten, und eng miteinander verzahnten Systeme (News-, Redaktions-, Media Asset Management Systeme), und dem Stand 2022 vorherrschenden HD-SDR-Sendebetrieb, scheint die Aufzeichnung und Programmausstrahlung in HDR für diese Formate noch wenig praktikabel. Im Zuge der fortwährenden Transformation zu einem UHD-HDR-Regelbetrieb müssen diese Anwendungsfälle dediziert untersucht und mit den jeweiligen Partnern abgestimmt werden.

4.4.4 Inverses Tone Mapping

Ein Inverses Tone Mapping (Upmapping) von SDR nach HDR sollte bei neuen Produktionen nur in begründeten Fällen erfolgen (z.B. Archivaufnahmen, Drohnenaufnahmen, Aufnahmen mit sog. Action Cams, etc.) und muss im Vorfeld abgestimmt werden.

Gängige Color Management Systeme unterstützen mittlerweile das Inversive Tone Mapping.

4.4.5 Gestaltung

Kameraleute sollten die Möglichkeit bekommen, beim Grading-Prozess involviert zu sein. Der gestalterische Schwerpunkt soll hierbei idealerweise auf der Erstellung der HDR-Fassung liegen (HDR FIRST).

4.4.6 Schriften

Sämtliche Schriften, Grafiken und visuellen Effekte sind für eine Auswertung in HDR BT.2100 unter Beachtung der ITU 2408-448 zu gestalten.

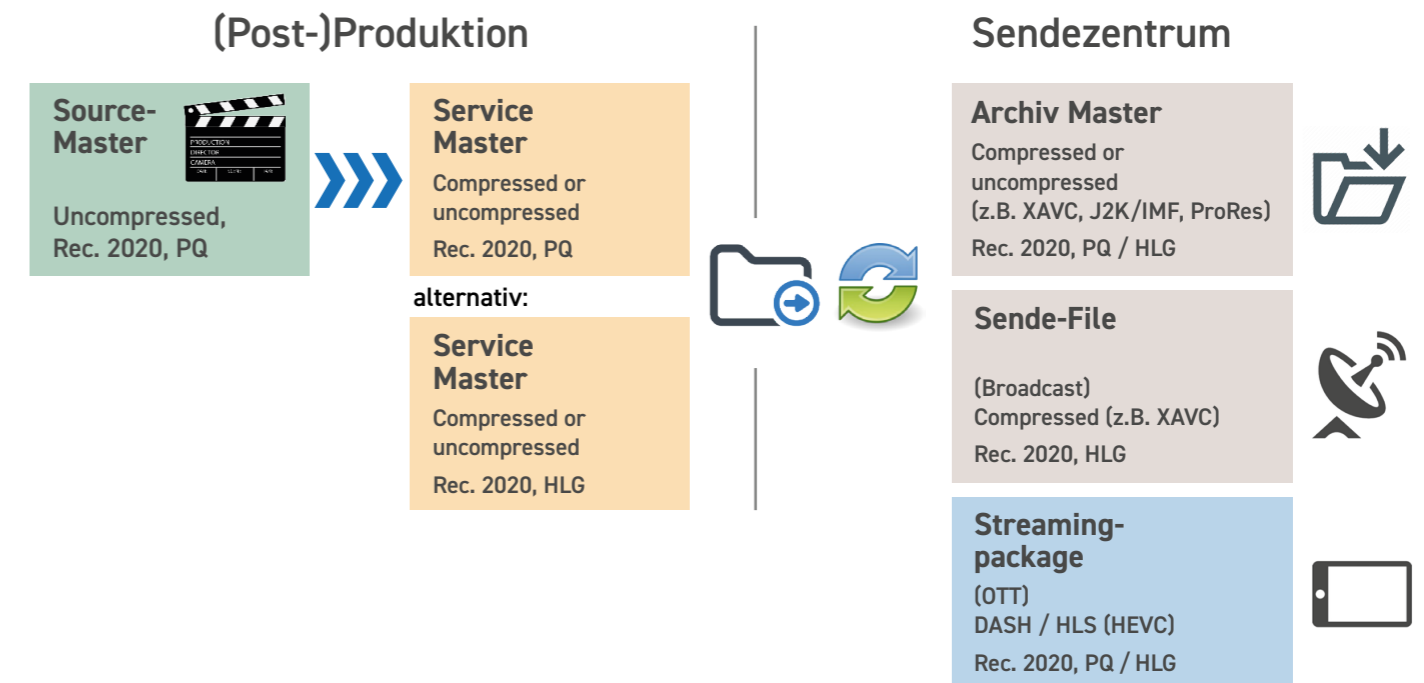
In der Praxis haben sich Leuchtdichten von 100 – 400 cd/m² für Schriften bewährt. Die Spitzenleuchtdichte der Schriften ist jeweils in Abhängigkeit der Leuchtdichte des zu Grunde liegenden Titeluntergrunds zu wählen. Maßgeblich ist der Gesamteindruck der Bilder, schlussendlich muss die Gesamtkomposition stimmen.

Neutrale HDR-Titeluntergründe werden mit dem identischen Mapping (statisch, oder dynamisch via Dolby Vision) der jeweiligen betitelten Sequenz versehen.

4.5 Master Files, Auslieferungsprozess, Zielformate

Die folgende Grafik zeigt die benötigten Workflows im UHD-HDR-Auslieferungsprozess. Die hierfür benötigten Source- und Service-Master werden in diesem Kapitel beschrieben, wobei der Schwerpunkt weiterhin auf der Auslieferung eines UHD-HDR-Signals liegt.

Abbildung 12: Workflows im UHD-HDR-Auslieferungsprozess



⁴⁸ ITU 2408-4: „Guidance for operational practices in HDR TV production“.

4.5 Master Files / Auslieferungsprozess / Zielformate

4.5.1 Source-Master

Darunter versteht man die native, final gegradete Version. Daraus können dann später alle weiteren hochwertigen Bilder abgeleitet werden. Aus dem Source Master wird das Service-Master (siehe Kapitel 4.5.2) erstellt.

Die Eigenschaften des Source Masters sind wie folgt zu beschreiben:

- Ein hochwertiges Masterformat, z.B. in ProRes 4444 XQ, 25/50P, BT.2020, PQ
- Mit / ohne Text / Inserts / Grafiken
- Quantisierung von mindestens 10bit

Alternative, übliche Fileformate (je nach erforderlicher Datenrate) für ein Source-Master sind:

- ProRes 4444 (XQ), ProRes 422 (HQ)
- TIFF, DPX, openEXR, Cineon etc.

4.5.2 Service-Master

Darunter versteht man das Auslieferungs-Masterfile (auch Mezzanine-File genannt), welches an Broadcaster und Streaming-Plattformen ausgeliefert wird. Hieraus wird ggfs. noch das jeweilige Sende-File erstellt.

Übliche Fileformate für Service-Master sind:

- ProRes 4444 (XQ), ProRes 422 (HQ)
- XAVC QFHD-Intra Class 300/480 CBG
- DNxHR-HQX, DNxHR-444
- IMF Application 2 Extended (SMPTE ST.2067-21)

Ein zukünftiger möglicher Workflow könnte darin bestehen, dass als Service-Master ausschließlich ein ein kompatibles Hauptformat, das sogenannte IMF-Package (IMF; Interoperable Master Format), ausgeliefert wird. Entscheidender Vorteil hierbei ist, dass anstelle von mehreren dedizierten einzelnen Master Files im IMF-Master verschiedene Programmversionen (FSK, etc.) und die verknüpften (assoziierten) Metadaten enthalten sind und distribuiert werden können. Daraus resultieren wesentlich effizientere Workflows.

Beispielsweise können aus einem IMF-Package somit automatisiert die Sende- und Distributions-Formate in SDR und HDR erzeugt werden.

In einem IMF-Package können folgende Inhalte vorhanden sein:

- UHD-HDR-„Master-Schnittfassung“
 - FSK / Directors-Cut,
 - verschiedene Sprachversionen
 - verschiedene Untertitel (Subtitles)
- Statische HDR10 Metadaten
- Dynamische Metadaten, wie z.B. aktuell bei Dolby Vision
- Immersives Audio

Für weitere detaillierte Angaben zu Kontributions-Codecs siehe auch das White Paper „Optimal Handover-point and Quality Characteristics“ Deutschen TV-Plattform.⁴⁹

Die unterschiedlichen Ausprägungen von HLG und PQ in der Auslieferung des Service-Master sind nachfolgend beschrieben.

UHD-HDR PQ

- Transferfunktion: ST.2084 (PQ)
- Farbraum: BT.2020 (limitiert auf P3)
- Weißpunkt: D65
- Auflösung: 3840×2160 (UHD)
- 1000 cd/m² (Nit) Master (bzw. nach Vereinbarung)
- Color Encoding in RGB 444 als Full Range oder in YCbCr 422 als Narrow Range
- Bildwiederholfrequenz: 24 / 25 / 50 fps

UHD-HDR HLG

Ausgehend vom BT.2100PQ Source-Master wird die HLG-Fassung via Konvertierung nach ITU-R BT.2390-7 erstellt. Sollte die Referenzspitzenleuchtdichte des PQ encodierten HDR-Masters 1000 cd/m² übersteigen, muss das PQ HDR-Master vor der Konvertierung nach HLG auf eine Spitzenleuchtdichte von 1000 Nit limitiert werden. Dies kann erfolgen durch ...

... eine Signalbegrenzung auf 1000 cd/m²

... statisches Mapping auf 1000 cd/m²

... dynamisches Mapping mit Metadaten auf 1000 cd/m²

4.5.3 SDR-Fassung

Die SDR-Fassung kann als gesondertes SDR-Source-Master angeliefert, oder aus dem Source- oder Service-Master abgeleitet werden. Dies kann automatisch mittels statischem Mapping, und der dazugehörigen LUT sowie der Display / Output Transformation, oder durch ein dynamisches Mapping, mit den dazugehörigen Metadaten (inkl. der optionalen Trim Metadaten), erfolgen.

Sofern künstlerisch beabsichtigt, kann die SDR-Fassung zusätzlich mit manueller SDR-Farbkorrektur erzeugt werden. Das Encoding der SDR-Fassung muss nach BT.1886 (BT.709) durchgeführt werden.

⁴⁹ <https://tv-plattform.de/wp-content/uploads/2022/05/Optimal-Handover-DTVP-042022.pdf>

4.6 Qualitätskontrolle szenischer Produktionen

Die Qualitätskontrolle von szenischen UHD-HDR-Produktionen im Sendezentrum verläuft nach den gleichen Prinzipien und Maßstäben wie in langjährig etablierten HD-SDR-Workflows. Dennoch gilt es einige Besonderheiten zu beachten, die im Folgenden skizziert werden sollen.

Grundsätzlich sollte zunächst geklärt werden, welches Material in welcher Form und in welchem Ausmaß geprüft werden muss. Je nach sender-spezifischer Archiv-Philosophie ist entweder das Service-Master oder das ggfs. hausintern erstellte Sendefile einer umfangreichen Qualitätskontrolle zu unterziehen.

Wünschenswert wäre immer die Prüfung aller Versionen, meist ist dies jedoch aus Zeit- und Kostengründen nicht umsetzbar.

Um den Arbeitsaufwand einer manuellen Qualitätskontrolle in einem professionell ausgestatteten Sichtraum zu optimieren, ist es daher ratsam, das Material vorab durch software-gestützte und automatisierte Metadaten- und Videoanalysen (z.B. Interra Systems BATON, Tektronix Cerify, u.a.) kontrollieren zu lassen.

Obwohl die langjährige Erfahrung mit HD-SDR-Workflows eine wichtige Grundlage für die Beurteilung von HDR-Bildmaterial bietet, ist eine umfangreiche Schulung des Personals über die theoretischen Grundlagen und Ausprägungen von HDR notwendig. Wichtige praktische Erfahrungen können z.B. mit Referenz- und Open Source Material (z.B. Netflix Open Content) gesammelt werden.

Für die Kontrolle von UHD-HDR-Material entstehen allerdings neue Anforderungen an Hard- und Software, für die im Folgenden Empfehlungen an den Referenzmonitor, an die Player und Messtechnik sowie für den Sichtraum gegeben werden.

Referenzmonitor

- Auflösung 3840×2160 (oder 4096×2160)
- Class 1b (nach EBU T 3320 v4.1)
- ≥ 31 Zoll Bildschirmdiagonale
- ≥ 1000 cd/m² Spitzenleuchtdichte (bei weißem Vollbild, kein Automatic Brightness Limiting „ABL“)
- ≤ 0,005 cd/m² Schwarzwert
- ITU-R BT.2020-fähig und vollständige Abdeckung des P3-Farbraums
- schnelle Bedienmöglichkeiten (Frontpanel)
- reflexionsarme Displaybeschichtung
- Beispielgeräte: Sony BVM HX310, Canon DP V3120, EIZO CG3146

Player und Messtechnik

- Echtzeitwiedergabe von UHD-HDR-Material in mindestens 25p und 50p (ideal DCI-4K 23,976p bis 59,94p)
- Unterstützung verschiedener EOTFs (mind. BT.2100 bei HLG und SMPTE ST.2084 bei PQ)
- Ideal: Echtzeit Tone-Mapping/Konvertierung (HLG↔PQ)
- HDR-Messtechnik (Software oder Hardware):
 - Videopiegel-Anzeige als Leuchtdichte mit Warnung bei Leuchtdichten über 1000 cd/m²
 - Gamut-Ausnutzung (bezogen auf CIE 1931/1976 Farbraum als CIE-xy / u'v' Diagramm)
- Beispiele: Colorfront QC Player, R&S Clipster Play, AJA HDR Image Analyzer (Messgerät), etc.

Sichtraum

- Reflexionsarme Oberflächen und Wände
- Hintergrundbeleuchtung mit 5 cd/m²
- Raumbelichtung ≤ 5 cd/m²
- Zusätzlicher HDR-fähiger Consumer-TV, der parallel angesteuert wird
- Siehe auch SMPTE ST.2080-3

Bei der Abnahme von UHD-HDR-Material sind insbesondere die HDR-Metadaten zu überprüfen. Unter gewissen Umständen kann durch falsch gesetzte Metadaten das Material mit einer falschen EOTF wiedergegeben werden. Dies führt im Ergebnis dann zu extrem flauen bzw. völlig übersättigten und gestauchten Bildern.

Innerhalb der Abnahme sollte daher immer die Möglichkeit bestehen, verschiedene EOTFs am Monitor und im Player auswählen zu können. In Bezug auf Grafiken und Schriften, z.B. in Titeln, Untertiteln und Abspännen, ist insbesondere auf gute Lesbarkeit zu achten. Zu viel Kontrast und zu hohe Spitzenleuchtdichte kann zu einem unangenehmen und störenden Bildeindruck führen.

Abbildung 13: Szene mit $>1000 \text{ cd/m}^2$, YCbCr Waveform mit rot gefärbter 1000 cd/m^2 -Markierung

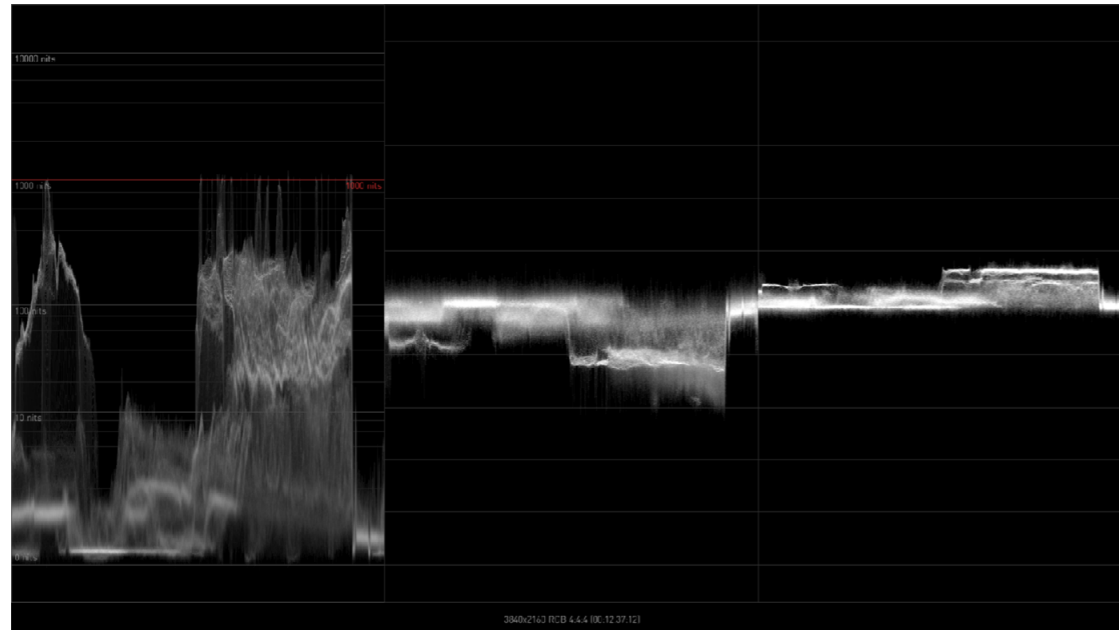


Abbildung 14:

Linker Balken: Anzeige der Peak & Average Brightness in Nits (rot gefärbt da Peak $>1000 \text{ cd/m}^2$),

Rechter Balken: Gamut-Ausnutzung in Prozent (bezogen auf P3, rot gefärbt da P3 überschritten wird), Rechts: CIE-xy Diagramm

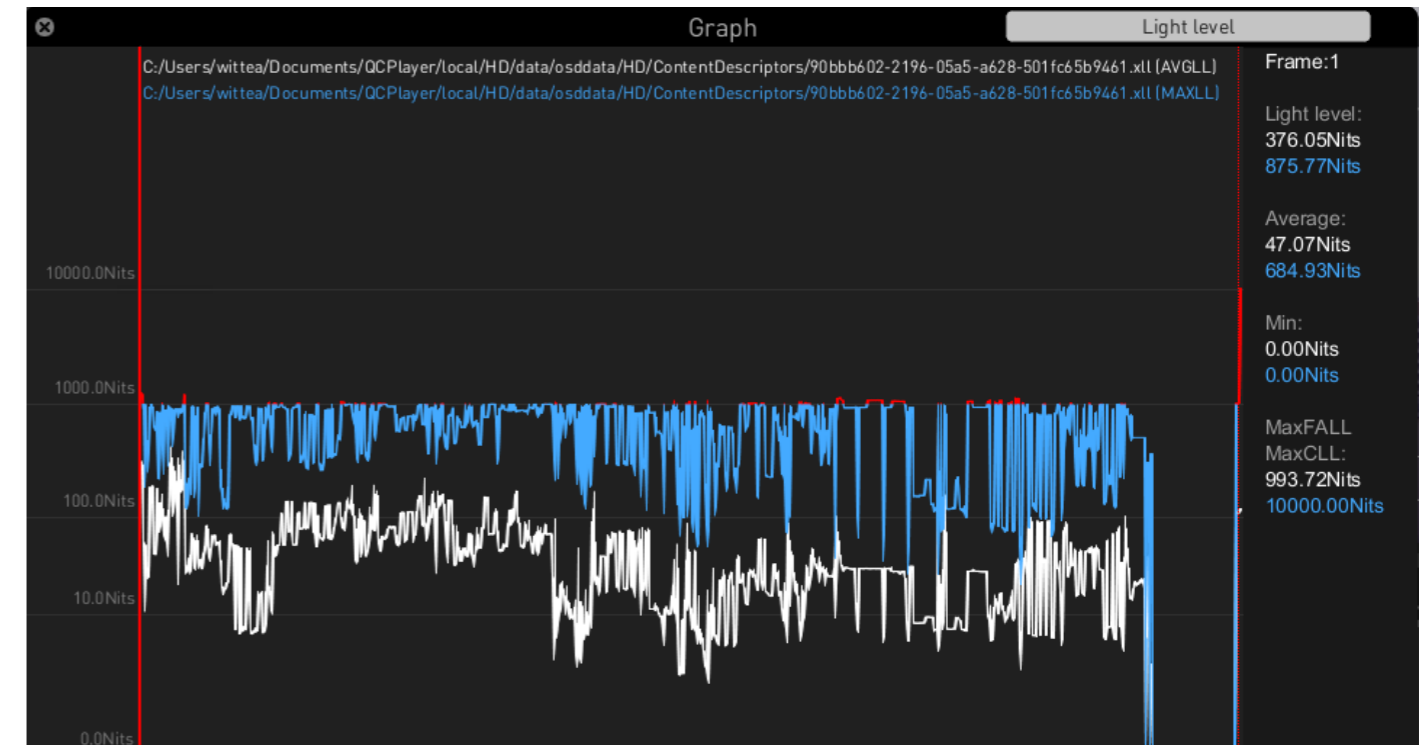
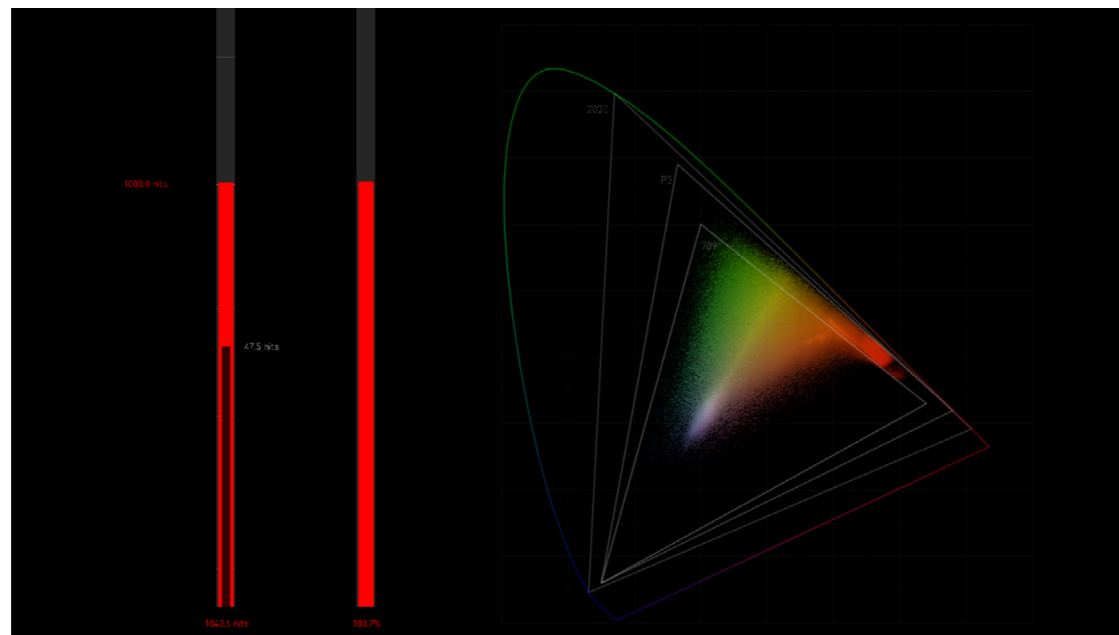


Abbildung 15: Plot in weiß Frame Average Light Level (FALL) und in blau Content Light Level (CLL) eines Files

Hinweis:

Bei der Bestimmung der Spitzenleuchtdichte ist zu beachten, dass der Kompressionsgrad des Videocodex, die Farbunterabtastung und das verwendete Signalformat (RGB, YCbCr, ...) einen Einfluss auf die gemessene Leuchtdichte haben können.

Auch existiert aktuell kein Standard für Mess-toleranzen bei HDR-Material. In der Industrie hat sich allerdings eine Toleranz von 0,02% etabliert. Damit dürfen bis zu 0,02% der Pixel eines Frames über der maximal zulässigen Leuchtdichte (z.B. 1000 cd/m^2) liegen.

5 Metadaten

Neben den üblichen Metadaten zu den Normen und File-Attributen benötigen alle UHD-HDR-Files korrekte und eindeutige Angaben zu den Themen Transferfunktion (PQ, HLG, S-Log3 oder SDR), Farbraum (WCG oder SCG) und zum Videopegelbereich⁵⁰.

Fehlen diese, kann dies bei der Wiedergabe dazu führen, dass die HDR-Attribute nicht korrekt in den im Kapitel 3.8.3 erwähnten Video Payload Identifier des SDI-Signals übernommen werden, und von nachfolgenden Studiogeräten nicht für eine automatische Erkennung und Anpassung von notwendigen Einstellungen zur Verfügung stehen.

Die Metadaten eines Files müssen mit Metadatenlesern wie beispielsweise MediaInfo⁵¹ und den darauf basierenden Programmen lesbar sein. Folgende Metadaten, unterteilt in Basis-, statische und dynamische HDR-Metadaten, müssen im Source- und Service-Master-File korrekt vorhanden, bzw. als eigenständiges File mit angeliefert werden.

1. Basis-Metadaten (Video, PQ und HLG)

- Image Resolution: z.B. 3840 x 2160
- Aspect Ratio: z.B. 16:9
- Framerate: z.B. 24 / 25 / 50 fps
- Chroma subsampling: z.B. 4:2:2
- Video signal format: z.B. YCbCr
- Bit depth: z.B. 10 bits
- Signal range: z.B. Limited
- Color primaries (Color space): z.B. BT.2020
- Transfer characteristics (EOTF): PQ oder HLG
- Matrix coefficients: z.B. BT.2020 non-constant

2. Statische HDR-Metadaten (nur PQ, notwendig für HDR10-Distribution)

- Mastering Display Metadaten, beschrieben in ST.2086:
 - Mastering display color primaries
 - Mastering display luminance
- Content Metadaten, beschrieben in CTA 861.3
 - Maximum content Light Level (maxCLL)
 - Maximum frame average light level (maxFALL)

3. Dynamische HDR-Metadaten (optional), z.B.

- ST.2094
- Dolby Vision Metadaten (CMv4.0 oder CMv2.9) lt. XML-Spezifikation v4.0.2 oder v2.0.5

⁵⁰ Der Videopegelbereich bezeichnet die genutzte digitalen Pegelstufe, beispielsweise beim Narrow der Extended Range.

⁵¹ Plattformübergreifendes Open-Source-Programm, das technische Metadaten von Files anzeigt.

Hinweis:

Die Validierung und Bestimmung von statischen HDR-Metadaten (maxCLL, maxFALL) sollte ausschließlich auf möglichst unkomprimiertem RGB-Material (z.B. dem Source-Master) erfolgen.

Anhang

Weitere Referenzen

EBU R 153

Parameters for live contribution of UHD/HDR programmes

EBU R 154

Parameters for UHD/HDR programmes exchanged as files

EBU R 103

Video Signal Tolerance in Digital Television Systems

EBU Tech 3372

UHD/HDR Service Parameters

Report ITU-R BT.2408-4 (March 2021)

Guidance for operational practices in HDR television production

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Transferfunktionen	10
Abb. 2	Leuchtdichte von Diffuse White	13
Abb. 3	Diffuse White, HLG 400	14
Abb. 4	Diffuse White, Extended Range	15
Abb. 5	Diffuse White, S-Log3	17
Abb. 6	Zusammenhang zwischen HDR-Formaten und typischen Anwendungsfällen	18
Abb. 7	Single Stream Workflow	26
Abb. 8	Dual Stream Workflow	28
Abb. 9	Testsignal EBU Tech 3373	39
Abb. 10	Testsignal ITU-R BT.2111-2	39
Abb. 11	Color managed Workflow	45
Abb. 12	Workflows im UHD-HDR-Auslieferungsprozess	49
Abb. 13	Szene mit >1000 cd/m ²	54
Abb. 14	Peak & Average Brightness, Gamut-Ausnutzung, CIE-xy Diagramm	54
Abb. 15	FALL & CLL eines Files	55

Index

2SI	38	Kontrastwirkung	6
3G-SDI	38	Objektive	32
12G-SDI	38	OETF	11, 40, 42
Aberration	32	OOTF	11
Ansteuerung	22	Pegelbezug	31
Auflagemaß	32	Perceptual Quantizer	12
AVC-Intra	37, 42	Power Limit	21
Beleuchtung	31, 43	Quad Link	38
Betrachtungsabstand	21	Roundtrip	27, 35
Color Volume	22	Sample Interleave	38
Consumer-Display	22	Scene Light	35
Deinterlacing	25, 36	Signalübergabe	38
Display Light Mapping	35	Single Link	38
Display-Typen	21	Single Stream Workflow	25
DNxHR	37, 50	Sony-Looks	34
Drahtlose Kamera	33	Standard Colour Gamut	7
Dual Stream Workflow	26	Starlight	31
Dynamische Metadaten	19, 51	Testsignal	39
Dynamisches Mapping	51	Testtafel	31
EOTF	11, 53, 56	Tonwertabriss	12
Farbbalken	39	Video Payload Identifier	38
Gamma	8	VPID	38, 56
Helligkeitwirkung	6	Wandler	22
High Dynamic Range	4, 6		
Downmapping	24, 26, 27, 33, 35, 36, 37, 39		
Farbraum	7, 9, 19, 44, 51, 53, 56		
Highlights	6, 12, 13, 15, 24, 30, 35, 43		
HLG	2, 6, 9, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 23, 26, 29, 30, 34		
SCG	7, 9, 16, 20, 35, 39, 56		
Systemkamera	12, 16, 29, 32		
Upmapping	26, 27, 28, 35, 37, 48		
WCG (Wide Colour Gamut)	4, 7, 16, 19, 35, 56		

Aufzeichnung

Dual Stream Workflow	27
Generationsfestigkeit	37
Single Stream Workflow	25
S-Log3 Workflow	29

Aufzeichnungsformate

HDR	37
SDR	37

Aussteuerung

HDR/SDR	24
HLG	30
PQ	30
Produktion	42

Detail-Prozessing

HDR	24
Systemkameras	32

Diffuse White

Definition	8
HLG	14
HLG 400	15
Kompatibilität	16
PQ	12
Reference White	14
SDR-Definition	9
S-Log3	17

Displays

CIE 1931	7
Consumer-Displays	44
CRT	8
EOTF	11
HLG	14
Kennlinie	10
Leuchtdichte	9
PQ = Perceptual Quantizer	12
Produktions-Display	22
Reference White	16
Referenz-Displays	21
Smartphone	47
Spitzenleuchtdichte	14, 44

Distribution

Formate	18
HLG	19
IMF	50
Kompatibilität HDR/SDR	20
Kompatibilität HLG	20
Linear	11
Metadaten	19
Optimierung	24
PQ	19
Workflow	25

Farbwirkung

HDR	7
SDR	8

Grundsättigung

HLG	34
PQ	34
SDR	9, 34

HDR

Auslieferungsprozess	49
Definition	7
Erlebnis	5
Grading	44
Grundsatz	4
Inverses Tone Mapping	48
Kameras	41
Kennlinie	10
Look	34
News, Reportagen und Magazine	47
Postproduktion	44, 46
Qualitätskontrolle	52
Sprachregelung	11
Workflows	24

ITU

BT.2100	34
BT.2111-2	39

Mapping

Crossmapping	18
Downmapping	24
Dynamisches Mapping	36
Einführung	35
HDR-Kennlinien	11
HLG	30
Inverses Tone Mapping	48
S-Log3 Workflow	29
Statisches Mapping	36
Szenische Produktionen,	
HDR FIRST	46
Testsignale	39
Upmapping	26

Metadaten

Abnahme	53
Color Managed Grading	44
Distribution	18
Dynamische Metadaten	51
HLG	19
IMF Master	50
PQ	19
Sendezentrum	38
Überblick	56

Monitoring

Allgemein	43
Delay	22
Dual Stream Workflow	27
HDR-Grading	44
HDR SDR Parallel	23
Konzepte	23
Lichtgestaltung	24
PQ	26
Single Stream Workflow	25
S-Log3	23
S-Log3, Diffuse White	16
Varianten Produktion	16

Produktionen

Live-Produktionen	21
Szenische Produktionen	40

Schärfe

Betrachtungsabstand	21
Display-Größe	21
Kantenschärfe	32
Schärfefahren	33
Schärfekontrolle	33

Schärfentiefe	33
Unschärfe	25, 32

Schnittstelle

IP	39
Quad Link	38
Sample Interleave	38
Schnittstellenwandlung	38
SDI	38
Single Link	38

SMPTÉ

358	38
425-5	38
ST.2067-21	50
ST.2080-3	53
ST.2084	53
ST.2094	18

Spitzenleuchtdichte

Abnahme	53
Grading	44
HLG	30
Konvertierung	51
Metadaten	18
Paralleles Monitoring	23
Postproduktion	44
PQ	30
Reference White	14
Referenz-Display	21
Referenzmonitor	52
Schriften	48
Spitzenleuchtdichte	21

Transferfunktion

Definition	11
Distributionsformate	18
HDR-Kennlinie	11
HLG	14, 18
Mapping	11
Metadaten	16
Monitoring-Konzept	23
PQ	12
Produktions-Displays	22
S-Log3	17
Transferkennlinie	10
Wandler	22

Videopegelbereich

HLG	14
Metadaten	56
PQ	12
S-Log3	17

Workflow

Auslieferungsprozess	49
Color Managed	44
Dual Stream	26
Grading	44
Live-Produktionen	31
Nicht Color Managed	45
Service-Master	50
Single Stream	25
S-Log3	17, 29

Impressum

Herausgeber/Publisher:

Deutsche TV-Plattform e.V.
www.tv-plattform.de
Amtsgericht Frankfurt am Main, Nr. 73VR9797

Redaktion:

Taskforce HDR Regelbetrieb der Arbeitsgruppe Ultra HD
der Deutschen TV-Plattform

Leiter der Arbeitsgruppe Ultra HD:

Stefan Kunz, Sky Deutschland

Autorenteam:

Michael Hackl, Dolby
Frank Heineberg, RTL Deutschland/CBC
Andreas Kohlstock, Seven.One Entertainment Group
Stefan Kunz, Sky Deutschland
Alexander Lutz, Sky Deutschland
Michael Mücher, BET
Arnd Paulsen, Dolby
Alexander Witte, RTL Deutschland/CBC
Berufsverband Kinematografie, BVK

Kontakt:

Deutsche TV-Plattform
Lyoner Str. 9, c/o ZVEI
60528 Frankfurt am Main
mail@tv-plattform.de
Tel.: 0049-69-6302-311

Über die Deutsche TV-Plattform:

Die Deutsche TV-Plattform ist ein Zusammenschluss von über 50 Mitgliedern, darunter private und öffentlich-rechtliche Sender, Streaming-Anbieter, Gerätehersteller, Internetunternehmen, Infrastrukturbetreiber, Service- und Technik-Provider, Forschungsinstitute und Universitäten, Bundes- und Landesbehörden sowie andere, mit den digitalen Medien befasste Unternehmen, Verbände und Institutionen. Ziel des eingetragenen Vereins ist seit seiner Gründung 1990 die Einführung digitaler Technologien auf Grundlage offener Standard.

Haftung:

Die Informationen in diesem Bericht wurden genau und gründlich recherchiert und im besten Wissen zusammengestellt unter Beachtung des neutralen Ansatzes der Arbeitsgruppe Ultra HD der Deutschen TV-Plattform. Alle Informationen spiegeln den aktuellen Stand zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses wieder. Allerdings können die Mitglieder der Arbeitsgruppe und die Deutsche TV-Plattform nicht für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit und /oder Qualität der hier veröffentlichten Informationen garantieren. Deshalb sind Haftungsansprüche gegen die Deutsche TV-Plattform e.V. als Herausgeber wegen materiellen und immateriellen Schäden, die durch die Verwendung dieser Publikation bzw. der dargebotenen Inhalte bzw. durch die Nutzung fehlerhafter oder unvollständiger Informationen verursacht werden, grundsätzlich ausgeschlossen.