

<p align="center"><b>T e c h n i s c h e   R i c h t l i n i e</b>  der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten  in der Bundesrepublik Deutschland</p>	<p align="center"><b>Richtlinie</b>   <b>Nr. 8/4</b></p>
<p align="center">Bearbeiter dieses Heftes: Fernsehbetriebsleiter-Konferenz  Herausgeber: Institut für Rundfunktechnik</p>	<p>6. Auflage</p> <hr/> <p>43 Seiten</p> <hr/> <p>Datum: Sept. 2011</p>
<p align="center"><b>Kamerasysteme für die Fernsehproduktion</b></p>	

Schutzrechte - Hinweis:

Es kann nicht gewährleistet werden, dass alle in dieser Richtlinie enthaltenen Forderungen, Vorschriften, Richtlinien, Spezifikationen und Normen frei von Schutzrechten Dritter sind.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Zitierfreiheit des Urheberrechtsgesetzes ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des IRT nicht zulässig.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Grundsätzlicher Aufbau – Typisierung</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Anforderungen an die Kameras</b>	<b>6</b>
3.1	Allgemeines	6
3.2	Stativbefestigung	6
3.3	Kabelanschlüsse	7
3.4	Klimafestigkeit	7
3.5	Eigengeräusche	8
3.6	Aufnahmesensoren	8
3.7	Optische Ausrüstung	8
3.8	Farb- und Neutralfilter	11
3.9	Farbteilungssystem	11
3.10	Elektronische Sucher	11
<b>4.</b>	<b>Anforderungen an die Bedieneinrichtungen</b>	<b>12</b>
4.1	Grundeinstellungen	12
4.2	Betriebseinstellungen ("Nebenbediengerät")	13
4.3	Automatikfunktionen	13
4.4	Speichern von Einstellungen	13
<b>5.</b>	<b>Elektrische Anforderungen</b>	<b>14</b>
5.1	Anforderungen an einzelne Baugruppen	14
<b>6.</b>	<b>Anforderungen "Über alles"</b>	<b>18</b>
6.1	Einlaufzeit, zeitliche Konstanz, Netzspannungsabhängigkeit	18
6.2	Bilderzeugung	18
6.3	Empfindlichkeit	19
6.4	Störabstand	20
6.5	Dynamik	20
6.6	Modulationstiefe, Aliaseffekte	21
6.7	Einfluss der mittleren Szenenleuchtdichte – Streulichtkompensation (Flare)	23
6.8	Verarbeitungszeit	24
6.9	Pixelfehler	24
6.10	Störsignale	25
6.11	Farbwiedergabeeigenschaften	25
<b>7.</b>	<b>Störungen</b>	<b>27</b>
7.1	Übersprechdämpfung	27
7.2	Periodisch auftretende Störspannungen	27
7.3	EMV	27
7.4	Störungen durch magnetische Felder	27
<b>8.</b>	<b>Kamerakabel</b>	<b>27</b>
<b>9.</b>	<b>Signalisierung, Sprechverständigung und Nutzton</b>	<b>28</b>
9.1	Signalisierung	28

---

9.2	Sprechverständigung	28
9.3	Tonleitungen	28
<b>10.</b>	<b>Batterien, Netzadapter, Netzgeräte</b>	<b>29</b>
<b>11.</b>	<b>Normen</b>	<b>29</b>
<b>12.</b>	<b>Quellenverzeichniss</b>	<b>30</b>
<b>13.</b>	<b>Anhänge</b>	<b>31</b>
13.1	Anhang 1: Geräuschpegel - Grenzwerte	31
13.2	Anhang 2: Normierte Spektralwertkurven	32
	<b>Bild 13.2: Normierte Spektralwertkurve und Toleranzen</b>	<b>32</b>
13.3	Anhang 3: Farborte der EBU-Testfarben	33
	<b>Bild 13.3: Lage der EBU Testfarben im CIE-UCS-Diagramm</b>	<b>33</b>
13.4	Anhang 4: Bewertungszonen im Bild	34
13.5	Anhang 5: Messverfahren	35
13.6	Anhang 6: Testbilder	39
13.7	Anhang 7: Umrechnungsformeln	41

## 1. Einleitung

In dieser Richtlinie sind die Bedingungen für verschiedene Arten von Fernseh-Kameraanlagen festgelegt. Allgemeine Anforderungen, insbesondere die sicherheitstechnischen Richtlinien, sind dem Pflichtenheft 3/1 - 8/2 zu entnehmen.

Für die Kontrolle der Richtlinienanforderungen sind die im Anhang sowie die von der EBU beschriebenen Messrichtlinien zu verwenden.

Stereoskopische Kameras (3D) sind in dieser Richtlinie nicht explizit aufgeführt. Für die Einzelkameras eines solchen Systems gelten die Anforderungen dieser Richtlinie.

## 2. Grundsätzlicher Aufbau – Typisierung

Farbkameraanlagen können für verschiedene Anwendungszwecke optimiert werden und in Baukastenform zusammengestellt werden.

Die nachfolgenden Spezifikationen in diesem Dokument beziehen sich auf folgende Kameratypen:

Kameratyp 1: Kameraanlagen für szenische Produktionen, Kategorie qualitativ über der Kategorie 2 (z. B. Kameras mit höherer Auflösung und /oder größeren Aufnahmesensor)

Kameratyp 2: Kameraanlage mit höchster Bildqualität für Betrieb auf dem Stativ bzw. mit tragbarem Kamerakopf. (Studiokameras und Kameras in Ü-Wagen)

Kameratyp 3: EB/ENG - bzw. Studio-Kameraanlage hoher Bildqualität. (tragbar, bzw. Camcorder)

Kameratyp 4: VJ-Kameras mit Abstrichen an Bildqualität und Bedienkomfort.

Die Anlagen können als Kompaktkamera (Abgabe eines SD/HD-SDI-Signals) oder in der bekannten Aufteilung

Kamera – Basisstation – Bedieneinheiten

konzipiert sein.

Dieses Dokument spezifiziert auch den Kamerateil von Kameras mit Aufzeichnungsmöglichkeit sogen. Camcordern.

Die **Kamera** soll zumindest, die Aufnahmesensoren mit Farbteiler und Filtereinheiten, eine erste Signalverarbeitung und die Anpassung an die gewählte Signalübertragung (z.B. Kamerakabel) enthalten. Das Objektiv, in der Regel ein Varioobjektiv, gehört - wenn auch leicht abnehmbar - mit seinen Bedieneinrichtungen zur Kamera. Gleiches gilt für den elektronischen Sucher, die Sprech- und Signalisierungseinrichtungen.

Die Verbindung Kamera - Basisstation kann durch Kamerakabel in Multi-Core-, Triax-, Lichtleitertechnik oder drahtlos erfolgen.

Die überbrückbare Distanz hängt von der gewählten Verbindungsart, der Art der Stromversorgung und dem Signalformat ab. Für die folgenden Mindestbedingungen muss auch eine Stromversorgung gewährleistet sein:

Verbindungsart	SD	HD
Multi-Core	75 m	-
Analoges Koax (Triax)	1,5 km	1,5 km
Digitales Koax (Triax)	500m	500 m
Glasfaser Verbindung	2 km	2 km

Im analogen Koaxbetrieb (Triax!) müssen die geforderten Entfernungen überbrückt werden können, ohne dass die Störabstände gemäß 6.3 um mehr als 3 dB verschlechtert werden.

Die zu verwendenden Steckertypen sind mit der auftraggebenden Rundfunkanstalt abzustimmen.

Der Umfang und das Vorhandensein einer Basisstation hängt stark vom Kamerasystem ab. Die Basisstation (Prozessor) soll alle nicht in der Kamera vorhandenen Signalverarbeitungsprozesse durchführen, die für die Erzeugung von SD- und HD-SDI- (in 1,5 Gbit bzw. 3 Gbit) Signalen nötig sind. Sie muss die Stromversorgung, einen Takt- und Testsignalgeber, zwei getrennte, unabhängige Rückkanäle und eine entsprechende Einrichtung für Teleprompter bereit stellen. Für die Übertragung des Audiosignals sind zwei hochqualitative Audiokanäle vorzusehen. Die Kommunikation ist mit einer entsprechenden Intercom-Anlage sicherzustellen.

Die **Bedieneinheiten** zur betriebsmäßigen Einstellung und Überwachung können bei Anlagen nach Typ 2. und Typ 3. einen großen Umfang annehmen und in mehrere Baugruppen aufgeteilt sein (Hauptbediengerät, Betriebsbediengerät, Monoknopf (Joystick)). Die Zuordnung der Bediengeräte zu den Kameras muss frei wählbar sein. Die Übergabe bestimmter Bedienfunktionen auf diese Baugruppen oder auf Automatikbetrieb soll hierbei möglich sein. Für die Verbindung von Kamera und Bedienplätzen sind Signalisierungseinrichtungen erforderlich.

Tragbare Kameras sollen in ergonomisch optimaler Weise im Schulterbetrieb die Bedienung des Kamerateils ermöglichen und ausbalanciert (Objektiv und Kamera) sein. Die Kamera mit Standard Objektiv soll nicht mehr als 8 kg wiegen. Bei Camcordern ist die Bedienung von Aufzeichnungs-Geräten von der Kamera aus zu berücksichtigen.

### **3. Anforderungen an die Kameras**

#### **3.1 Allgemeines**

Entsprechend dem Einsatz der Kameras im Studio und im Freien bzw. im Reportagebetrieb sind die mechanischen und klimatischen Beanspruchungen beim Transport und im Betrieb zu berücksichtigen. Tragegriffe für den Transport und Anordnung der Bedienelemente müssen ergonomisch günstig vorgesehen sein. Abdeckungen mechanisch und optisch empfindlicher Elemente sind für den Transport bereitzustellen. Alle nicht zugänglichen Oberflächen der optischen Einrichtungen müssen gegen Verstauben und Beschlagen geschützt sein.

Elektrische und mechanische Justagen und Betriebseinstellungen müssen so durchgeführt werden können, dass die Sicherheitsanforderungen gemäß Pflichtenheft 3/1 - 8/2 eingehalten werden.

Platinen oder Baugruppen sind in ihrer Position zu kennzeichnen und gegen versehentliches Vertauschen an Stecker/Buchse zu sichern. Alle für Reparatur- und Abgleicharbeiten erforderlichen Adapter, Kabel und Werkzeuge müssen als Zubehör lieferbar sein. Eine automatische Fehlererfassung (Logging-Datei) wird vorausgesetzt.

Wünschenswert bei Kameras vom Typ 2 und 3 ist außerdem eine Befestigungsmöglichkeit für einen kleinen Scheinwerfer, bei Typ2 zusätzlich ein Manuskriphalter mit einstellbarer und abschaltbarer Beleuchtung.

Für tragbare Kameras und Camcorder soll auch eine Mikrofونbefestigung mit guter Isolation gegen Körperschall vorgesehen sein.

#### **3.2 Stativbefestigung**

Alle Kameras müssen für den Betrieb auf Stativen mit stabilen Schnellwechsel-Keilplatten ausrüstbar sein. Die Verbindung Kamera – Stativ muss ausreichen fest, verdrehsicher und ohne Spiel ausgeführt sein. Dazu sind die handelsüblichen Schraubverbindungen mit 1/4“ oder 3/8“ Whitworth-Gewinde zu verwenden.

Für den Gewichtsausgleich von Kamera und Objektiv sind geeignete Einstellmöglichkeiten vorzusehen. Bei tragbaren Kameras sollte eine Bruststütze angebracht werden können.

### 3.3 Kabelanschlüsse

Mindestens folgende Anschlüsse müssen bei den unterschiedlichen Kameras vorhanden sein:

Anschlüsse am Kamera-Kopf	Kameratyp	2.	3.	4.
Kamerakabel (Triax oder Glasfaser)		1	-	-
SD/HDSDI-Ausgang		1	1	-
Sprechgarnitur		2	-	-
Reportageton		2	2	2
Testausgang Video analog (Monitoring wählbar R,G,B, Y)		1	1	-
HDMI-Ausgang		(1)	(1)	1
Rotlichtanschluss für Dolly		1	-	-
FBAS-Ausgang		-	-	1
Eingang Fremdsynchronisation (black burst/Tri-level)		1	1	-
Stromversorgungsausgang 230 V / >100 W		1	-	-
Stromversorgungsausgang 12 V / > 20 W		-	1	-
Rückton zur Kamera (Programmton)		1	-	-
Stromversorgung 230 V/12 V		1*	1	1
Ausgang Rückkanal		2	-	-
Bediengeräte-Anschluss		1	1	-
Teleprompter		1	-	-
IEEE 1394/USB		-	1	1
Ausgabe von Sucheranzeigen und Menue (schaltbar)		1	1	-
Timecode-Eingang		-	1	-

\* Anmerkung:

Die Netzanschlüsse müssen über VDE-gerechte Trenntrafos oder isolierte Schaltnetzteile in das Kamerakabel eingespeist werden, abgesichert und am Bediengerät getrennt abschaltbar sein. Die Kabelanschlüsse müssen unverwechselbar und sicher gegen Beschädigungen und Lösen beim Bewegen ausgeführt sein.

( ) bedeutet wünschenswert.

### 3.4 Klimafestigkeit

Kameras und Zusatzeinrichtungen (wie z.B. Objektive, Batterien) sollen bei folgenden Umgebungstemperaturen und Luftfeuchten die Bedingungen der Pflichtenhefte im Dauerbetrieb einhalten:

Kameratyp	2./3.	4.
Temperaturbereich	-15 ... + 35 °C	-10 ... + 35 °C
Luftfeuchte	90 %	80 %

Bemerkung:

Der VJ-Kameratyp müsste auf Grund des Einsatzbereichs für einen wesentlich höheren Temperaturbereich ausgelegt werden. Forderungen die über den oben genannten Bereich hinausgehen müssen gesondert vereinbart werden.

Das Einschalten und der Betrieb der Kameras bei Umgebungstemperaturen im Bereich von -20 bis + 40 °C dürfen zu keinem Defekt der Kameras führen.

Für den Betrieb unter -15 °C und zum Schutz gegen starke direkte Sonneneinstrahlung sollen geeignete Zusatzeinrichtungen erhältlich sein.

Die Kameras sollen zumindest durch Regenschutzhauben spritzwasserdicht gemacht werden können. Regendichte Ausführung der Kamera ist besonders bei Typ 3 und 4 erwünscht.

Im ausgeschalteten Zustand dürfen Kameras bei Umgebungstemperaturen von -25 bis +60 °C und relativer Luftfeuchte bis 90 % keinen Schaden erleiden (DIN 50 010).

### 3.5 Eigengeräusche

Die von der Kamera einschließlich der Objektive ausgehenden Geräusche (z.B. durch Tasten, Schalter, Servogetriebe, Flügelblende, Lüfter) dürfen in 1 m Entfernung und in Richtung der stärksten Störgeräuschabstrahlung je Terzbereich die für Dauergeräusche in Fernsehstudios vorgeschlagenen Werte der GK10 Kurve (siehe ) nicht überschreiten. Servogetriebe sind bei einer Durchlaufzeit von 3 s zu messen; bei maximaler Geschwindigkeit ist die GK 20 Kurve zulässig. Für Kameras vom Typ 3 und 4 wird wegen der integrierten Mikrophone die GK 5 Kurve gefordert.

### 3.6 Aufnahmesensoren

Mit der vom Hersteller gewählten Bildaufnehmerbestückung sollen die in 6.1 bis 6.11 angegebenen Forderungen erfüllt werden können.

### 3.7 Optische Ausrüstung

Die nachfolgenden Forderungen können nur bedingt für die Kameras von Typ 4 gefordert werden, da diese in der Regel keine Wechselobjektive verwenden.

#### 3.7.1 Allgemeines, Formate, Bereiche, Messbedingungen

Um reproduzierbare, vergleichende Messungen durchführen zu können, muss vor allem auf die Einhaltung gleicher Versuchsbedingung geachtet werden. Vorzugsweise sollte dasselbe Objektiv, bei gleicher Blende verwendet werden. Anzahl, Ort, Geometrie und Beschaffenheit jeder einzelnen reflektierenden Oberfläche beeinflussen das Streulicht und somit die gemessene sensitometrischen Daten.

Der Messaufbau für die Ermittlung der Broadcastempfindlichkeit hat gemäß Anhang bzw. E-BU Tech 3281 zu erfolgen.

Die Objektive sind - entsprechend den verwendeten Bildaufnehmern - für die nutzbaren Bilddiagonalen auszulegen. Weit verbreitete Bildaufnahmesensoren sind 2/3" (11 mm Diagonale), 1/2" (8 mm Diagonale) und 1/3" (6 mm Diagonale).

Für tragbare Kameras vom Typ 2. und 3. sind Varioobjektive mit einem Brennweitenbereich bis 33-fach, bei horizontalen Bildwinkelbereichen von etwa  $< 2^\circ$  bis  $> 70^\circ$  die Regel; für stativbetriebene Kameras sind Objektive mit Brennweitenbereichen bis zu 100-fach (AÜ) und 40-fach (Studio) gebräuchlich. Eine - abschaltbare - blendenabhängige Begrenzung (F-drop oder Ramping) des Zoom-Bereiches ist erforderlich.

Die Scharfabbildung muss in einem Bereich von mindestens 0,7 m (EB 0,3 m) bis  $\infty$  möglich sein. (Bei speziellen Tele-Varioobjektiven genügen 2 m.) Makroeinrichtungen sind erwünscht.

Diese Objektive müssen als kleinste Szenenbildfläche eine Vorlage von etwa 60 mm x 110 mm - ohne Makro und ohne Nahlinse scharf abbilden können.

Anstelle der vorstehend beschriebenen Objektive sollen an Kameras 2. und 3. auch spezielle Objektive (vario- oder festbrennweitig) an die Kamera angesetzt werden können, um extrem kleine ( $< 2^\circ$ ) oder große ( $> 70^\circ$ ) horizontale Bildwinkel bzw. extrem große Öffnungen - soweit mit dem Farbteilersystem verträglich - erreichen zu können.

Optische Zusatzglieder (Nahbereichslinsen, Tele-Konverter, Brennweitenverlängerer, Range Extender) sollen angebracht oder eingeschwenkt werden können. Hierbei sind geringe Qualitätsabstriche (z. B. Schärfe, Lichtverluste, Abbildungsfehler) zulässig. Eine Blendennachführung und Signalisierung bei Range Extender-Wechsel sind erforderlich.

Gegenlichtblenden (rechteckig, 16:9) bzw. Masken sind am Ein- und Ausgang des optischen Kanals vorzusehen, um Streulichterscheinungen so gering wie möglich zu halten. Dabei sind Abschattungen am Bildrand durch die Gegenlichtblenden nicht zulässig.

Es sind Schnittstellen zwischen Objektiv und Kamera vorzusehen die einen Datenaustausch für eine elektronische Korrekturen von Objektivfehlern ermöglichen (z. B. Chromatische Abberation - CAC oder ALAC)

### 3.7.2 Objektivgüte

Die UER-Anforderungen EBU Tech. 3249, Teil 1 und 2 und die entsprechenden Erweiterungen für HD-Objektive („Technical Guidelines – Parameters for the classification of HD-lenses for ARD, ZDF, ORF and SRG“) sind einzuhalten. Zusätzlich sind die Forderungen der technischen Richtlinie für HD-Objektive von ARD, ZDF, ORF und SRG einzuhalten.

Die Qualität der verwendeten Objektive muss bezüglich Kontrastübertragung, chromatische Aberrationen, Vignettierung, Streulicht, Transparenz und Geometrieverzerrungen so gut sein, dass insbesondere im betrieblich optimalen Blendenbereich (1 bis 2 Blenden unter der vollen Öffnung) keine merklichen Verschlechterungen, der durch die komplette Kameraanlage gegebenen Eigenschaften auftreten. Das Objektiv darf keine Polarisations- und Sterneffekte verursachen. In den Grenzbereichen - bei voller Öffnung und bei extremen Brennweiten - sind geringe Abstriche zulässig die in den „Technical Guidelines – Parameters for the classification of HD-lenses for ARD, ZDF, ORF and SRG“ festgelegt sind.

### 3.7.3 Objektivhalterung und Einstellung

Die **Objektivhalterung** soll möglichst so angeordnet werden, dass die erste Hauptebene (in Richtung Kamera) des Objektivs nahe der Dreh- und Neigeachse des Stativs bzw. bei Schulterbetrieb nahe dem Auge liegt. Durch entsprechende Passflächen muss gewährleistet sein, dass beim Auswechseln von Objektiven das Auflagemaß erhalten bleibt, damit eine Nachjustierung nicht erforderlich wird und die optischen Achsen übereinstimmen. Das Auflagemaß muss für den oben spezifizierten Temperaturbereich stabil bleiben. Dabei dürfen keine Abschattungen durch die Konstruktion in den Bildecken im gesamten Schärfe- und Brennweitenbereich auftreten. Bei Kameras muss mit der Auflagemaß-Einstellung am Objektiv für alle 3 Farbkanäle ein Optimum geboten sein.

Die Halterung soll einen schnellen Objektivwechsel ermöglichen. Für tragbare Kameras < 10 kg muss sie so fest ausgeführt sein, dass die Kamera auch an große, am Stativ befestigte Objektive angeflanscht werden kann. Sie muss gegen versehentliches Lösen gesichert sein. Für Kameras Typ 1 und Typ 2 sollen extrem große Objektive mit Objektivbrücken ( large lens adapter) montiert werden können, weshalb es erforderlich ist, die Kamera-Keilplatte in definierter Lage zur optischen Achse an den Kameras zu befestigen, damit ohne Nachjustage alle Kameras eines Typs auf der Brücke angesetzt werden können.

Eine firmenübergreifende Vereinheitlichung der Anschlüsse Objektiv/Kamera - optisch, mechanisch und elektrisch – wird gefordert.

Die Auswanderung der Bildmitte darf im gesamten Einstellbereich der Brennweite die in den „Technical Guidelines – Parameters for the classification of HD-lenses for ARD, ZDF, ORF and SRG“ festgelegten Werte - bezogen auf die Einstellung bei größter Brennweite und gemessen bei kleinster Brennweite – nicht überschreiten und darf keinesfalls sprunghaft erfolgen.

Bei Objektiven für Kameras des Typs 2 und 3 muss die **Einstellung der Schärfe und der Brennweite** über Servosteuerungen absetzbar bzw. fernsteuerbar sein. Die Wahl der Einstellgeschwindigkeit sowie ein leichter Austausch von elektrischen und mechanischen Einheiten der Servosteuerung und deren einfache Justage werden vorausgesetzt. Eine getrennte Anwahl von Voreinstellungen und die stoßfreie Übernahme von einer Voreinstellung auf die Handbedienung ist als Option vorzusehen.

Für die **Servosteuerung** der Schärfe bzw. der Brennweite wird festgelegt:

Kürzeste Durchlaufzeit (von Anschlag zu Anschlag):

1 s (Neigung + 30 °, T > 10 °C); 2 s (Neigung + 30 °, T > -15 °C)

Mechanische Auflösung  
(in Tele-Stellung für Schärfe): < 1/4000 des gesamten Bereiches

Spiel bzw. Wiederkehrgenauigkeit  
bei Vorwahl: 1/1000 des gesamten Bereiches

Zusätzlich gilt für die Brennweite:  
Längste ruckfreie Durchlaufzeit >2 min

(Geräusche siehe 3.5)

Wenn für die Vorgabe der Sollgeschwindigkeit ein Handeinsteller (z. B. Daumengriff) vorgesehen ist, muss der Bereich für langsame Bewegung gedehnt sein.

Ein Balkenindikator für die eingestellte Brennweite der Variooptik mit elektronischen Endpunkten ist am Rand des Sucherbildbereiches vorzusehen, ebenso ein numerischer Indikator (2stellig) für die Schärfereinstellung (0 = Nahpunkt, 99 =  $\infty$ ).

Für Stativbetrieb sollen die Anordnung der Bedienelemente für Schärfe und Brennweite wahlweise links- oder rechtsseitig erfolgen. Zusätzliche Funktionen, wie z. B. Range Extender, Anwahl externer Signale und Anwahl Mikrophon Kameramann, sollen vom Zoombedienteil des Objektiv möglich sein.

**Objektive für tragbare Kameras vom Typ 3** sollen ebenfalls servobedienbar sein (insbesondere bei Stativbetrieb). Gewicht, Preis und Leistungsfähigkeit beeinflussen sich gegenseitig. Daher muss zugunsten von Gewicht und Preis bei EB-Objektiven Abstriche bei der Leistungsfähigkeit hingenommen werden. Abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall müssen die erforderlichen Werte zwischen auftraggebender Rundfunkanstalt und Auftragnehmer abgestimmt werden. Die Handeinstellung direkt an den Einstellringen des Objektivs soll nach Abschaltung des Servos z. B. über Rutschkupplung möglich sein, ohne dass das Getriebe leidet. Die Wippe für den Brennweiten-Servo gehört zur Standardausrüstung.

Die MakroEinstellung soll manuell über einen separaten Einstellring oder kombiniert mit der Brennweite nach Überfahren einer Endmarke erfolgen. Die MakroEinstellung soll durch eine Arretierung außer Betrieb genommen werden können.

Bei Objektiven für Kameras vom Typ 4. sind weitere Einschränkungen zu erwarten.

Automatische Scharfeinstellung (Autofocus) - besonders für Reportagebetrieb interessant - muss abschaltbar und manuell bedienbar sein.

#### 3.7.4 LichtstromEinstellung, Blendenautomatik

Die LichtstromEinstellung erfolgt durch Servosteuerung der Blende und durch Filterumschaltung (siehe 3.8). Die Blendensteuerung bei Kameras vom Typ 2 darf etwa 1 s, bei Kameras vom Typ 3 maximal 2 s von Anschlag zu Anschlag benötigen. Die Auflösung dieser Einstellung soll bei Kameras vom Typ 2 und 3 mindestens 1/12 Blendenstufe und das Überschwingen maximal 1/8 Blendenstufe betragen. Die Bedienung muss hysteresefrei und verzögerungsfrei erfolgen. Bei digitaler Steuerung muss die Auflösung mindestens 10 bit betragen. Eine Bereichspreizung mit separater Positionierung ist an den Bediengeräten erforderlich.

Automatische Blendenregler sollen vorzugsweise in die Kameraelektronik integriert sein, so dass nur die Motorsteuerspannung dem Blendenservo angeboten wird. Die Automatik muss abschaltbar sein. Der Blendenservo von Kameras vom Typ 3 soll abgeschaltet werden können, so dass Handeinstellung möglich wird. Bei der Umschaltung Hand/Automatik muss sich der neue Blendenwert ohne Überschwingen einstellen. Die Automatik soll bei Kameras vom Typ 2, 3 und 4 beeinflussbar sein, indem vorzugsweise zwischen Spitzen- und Mittelwertbewertung kontinuierlich gewählt werden kann und eine Über- bzw. Unterbelichtung von etwa 2 Blenden vorgegeben werden kann. Eine zusätzlich wählbare Automatikfunktion, die die Blende nur während Knopfdruck einstellt und in einem kleinen Bereich (etwa 2 % der Bildfläche) in Bildmitte (Anzeige im Sucher) wirksam ist, wird gewünscht. Die Blende soll für Wartung und Messung direkt am Objektiv ablesbar sein.

### 3.8 Farb- und Neutralfilter

Bei Kameras vom Typ 1 bis 3 muss ein Farbtemperaturbereich von 2500 K bis mindestens 12 000 K durch Konversionsfilter in Verbindung mit der elektrischen Farbanpassung kontinuierlich erfasst werden können. Dabei ist es erforderlich, dass die elektrische Umstimmung ohne Filter den Bereich von etwa 2500 K bis 7000 K abdeckt. Es soll möglich sein, jeweils ein Farbumstimmungs- und ein Graufilter bzw. Sterneffektfilter gleichzeitig oder ein kombiniertes Filter in den Strahlengang zu legen. Graufilter (ND-Filter) müssen einen Bereich bis mindestens 1/64 abdecken. Eine Anzeige der gewählten Filterstellung muss vorhanden sein.

Bei Kameras vom Typ 4 muss die Farbanpassung im gesamten Farbtemperaturbereich – 2500 K bis 12000 K - elektrisch erfolgen.

### 3.9 Farbteilungssystem

Für die Kameras vom Typ 2 und 3 sind Farbteilerprismen vorzusehen. Die Öffnung der dreiteiligen Strahlenteiler soll so gewählt werden, dass wenigstens folgende relative Öffnungen erreicht werden:

Sensordurchmesser	8 mm oder 11 mm
in der opt. Achse	f: 1,4
in den Ecken (Vignettierung)	f: 2,0

Die Flanken der Strahlenteiler sollen Toleranzen von  $< \pm 3,5$  nm aufweisen (vgl. 6.11).

Infrarot- und Ultraviolettstrahlungen dürfen keinen Einfluss auf die Signalerzeugung haben. Ein entsprechendes Sperrfilter, insbesondere für die Begrenzung nach Rot/Infrarot, ist in Kameras vorzusehen. Das Farbteilungssystem darf keine merkliche Beeinträchtigung der optischen Eigenschaften verursachen, wie z. B. Streulicht, Reflexionen, Vignettierung, Verminderung des Kontrastübertragungsfaktors, Verzeichnungen.

### 3.10 Elektronische Sucher

Sucher für Stativbetrieb müssen in der Neigung und im Schwenk veränderbar an die Kamera angesetzt und nach Möglichkeit in der optischen Achse sein. Sucher für tragbare Kameras müssen in drei Ebenen, zur optimalen Anpassung an das rechte Auge des Kameramanns, einstellbar sein.

Die Bilddiagonalen für Suchermonitore von Kameras vom Typ 2 sollten mindestens 7" für SD und 9" für HD, für tragbare SD- und HD-Kameras wenigstens 2" bei monokularem Betrieb und 7" für SD und 9" für HD bei Stativbetrieb betragen. 2,5fach-Lupen vor dem 2"-Sucher sollen großflächig und für Brillenträger einstellbar ( $\pm 2,5$  Dioptrien) sein. Dabei soll das Auge auf  $> 1$  m adaptiert sein.

Für die Sucher zu Kameras vom Typ 2 und 3 gelten sinngemäß die Bedingungen für einen „Viewfinder“-Monitor gemäß EBU Tech 3320.

Einsteller für Kontrast und Helligkeit sowie eine abschaltbare Aperturkorrektur sind vorzusehen. Das Maximum der Anhebung für SD soll zwischen 3 und 4 MHz liegen. Für HD müssen geeignete Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden um die richtige Schärfereinstellung zu finden (z. B. Darstellung in nativer Auflösung). Der Grad der H- und V-Anhebung soll intern und unabhängig von der Detaileinstellung des Ausgangssignals der Kamera einstellbar sein. Der Bildausschnitt des Sucherbildes muss ein Seitenverhältnis von 16:9 aufweisen.

Dem Sucher müssen bei Kameras vom Typ 2 und 3 die Signale der einzelnen Kanäle R,G,B, das Y-Signal sowie bei Farbsucher das RGB- bzw. Y-C<sub>R</sub>-C<sub>B</sub>-Komponentensignal zugeschaltet werden können. Dabei sollte die Kamerafarb-Matrix und Aperturkorrektur abgeschaltet werden.

Außerdem muss es für den Kamera Typ 2 möglich sein, dem Sucher - von der Kamera aus wählbar - ein internes und zwei externe normgerechte systemtaktssynchrone SD/HD-SDI-Signale zuzuführen. Möglichst beide Signale sollten mit dem internen Signal alternativ zu einem normgerechten SD/HD-SDI-Signal gemischt werden können.

Marker:

Folgende zuschaltbare Marker werden gefordert:

- Eine Markierung der Bildmitte
- Markierungslinien für die „Save Area“ gemäß „Technische Richtlinien zur Herstellung von Fernsehproduktionen HDTV (TPRF-HDTV)“
- Einstellbare Leitlinien

Diese Marker sollen in Farbe und Helligkeit einstellbar sein.

Die Einblicktuben sollten leicht auswechselbar sein. Bei Okularsuchern sind die Einblicktuben klappbar auszuführen. Der Sucher soll separat abschaltbar sein.

Der Sucher sollte die volle native Auflösung des Kamerasystems aufweisen, mindesten aber der halben Auflösung des Kamerabildformates bei HD entsprechen.

Kameras 3. und 4. im Reportageeinsatz sollen das zuvor aufgezeichnete Signal auf dem Sucher mit „Wiedergabekennung“ darstellen können. Im Sucher soll das aufzuzeichnende Signal (auch im Fall Farbbalken) eindeutig identifizierbar sein. Eine Einblendung wichtiger Betriebszustände ist vorzusehen. (z.B. für Schwarz-Weißautomatik, „Zebra“, Filterrad).

Am Rand des Sucherfeldes sollen Rotlicht, Batteriewarnung, Aufzeichnungskontrolle usw. durch LEDs oder Schrifteinblendung signalisiert werden. Eine Aussteuerungsanzeige für die Hauttöne bei 70 % Signal ist ebenfalls erwünscht („Zebra“ intern einstellbar: 60 % - 100 %).

Unterschiedliche Aussteuerungsanzeigen müssen eindeutig zugeordnet werden können (Zebra 1, Zebra 2).

Ist eine Belichtungsmessung mit frei definiertem Messfeld vorhanden, so muss das Messfeld im Sucher angezeigt werden.

Einsteller für Kontrast und Helligkeit sowie Schalter für die Aperturkorrektur, das Rotlichtsignal und Aussteuerungsanzeige sind für den Sucher vorzusehen. Diese Bedienelemente sind gegen versehentliche Betätigung zu schützen.

#### **4. Anforderungen an die Bedieneinrichtungen**

Bei Studiokameras sind frei zuordenbare Bediengeräte vorzusehen (z. B. Einstell- und Betriebsbediengeräte, Monoknopf und Matching-Einheit). Die Einstellelemente sind so auszuführen, dass ein schnelles Auffinden der Normalstellung möglich ist. Alle Einstellungen müssen kontinuierlich und verzögerungsarm erfolgen.

Tragbare Kameras vom Typ 3 sind so auszustatten, dass, außer der Bedienung durch den Kameramann allein, auch eine Fernbedienung der wichtigen Betriebsfunktionen von einer entsprechenden Bedieneinheit aus möglich ist.

Von der Herstellerfirma sind verbindliche Angaben über die vorgesehenen Einstellbereiche der Bedienelemente bereit zu stellen. Die Einstellmöglichkeiten der Kamera sollen auch von den Bediengeräten erreicht werden. Nicht dauernd benötigte Bedienelemente sind gegen versehentliches Verstellen durch geeignete Maßnahmen zu schützen.

Bei menügeführter Bedienung von Einstellungen sollte die Menüstruktur nicht über drei Ebenen hinausgehen, ergonomisch gestaltet und in deutscher Sprache ausgeführt sein. Eine kontext-sensitive Hilfefunktion muss vorhanden sein.

##### **4.1 Grundeinstellungen**

Für Studiokameras vom Typ 2 müssen alle fernbedienbaren Funktionen zur Justierung der Kameraanlage auf einem Haupt-Bediengerät (z.B. MCP; MSU) zusammengefasst und ergonomisch günstig angeordnet sein. Hierzu gehören: Auto-Setup, Streulichtkorrekturen (Flare), Detail-/ Apertur-Einstellungen mit diversen Unterfunktionen, Gamma und Weißbegrenzer der einzelnen Kanäle, Störsignalkorrektur (Shading). Farbbalken Ein/Aus sowie die für das Betriebsbe-

diengerät vorgesehenen Einsteller sind ebenfalls auf dem Hauptbediengerät anzuordnen (Matrix, Farbkorrektur).

Tragbare Kameras 3. und 4. werden im Allgemeinen nur direkt (ohne Fernbedienung) am Kopf über Menü justiert. Die Grundeinstellungen sollen von den Betriebseinstellungen durch geeignete Menüeinstellungen und Zugriffsmechanismen geschützt sein.

#### **4.2 Betriebseinstellungen ("Nebenbediengerät")**

Auf den Nebenbediengeräten (z. B. OCP; RCP) sind Betriebseinstellungen durchzuführen die für den täglichen Betrieb notwendig sind. Zu den Betriebseinstellungen der Studiokameras vom Typ 2. zählen z. B. folgende Elemente:

Blende mit numerischer Anzeige der Werte, gemeinsamer Schwarzwert (Master Black) mit Anzeige, Schwarz- und Weißwerte der Farbkanäle, Gamma, Schwarzdehnung und –kompression (Blackstretch), Farbtemperatur (elektrisch), Filterrad, Master Gain in 3-dB-Stufen sowie Detail, Streulicht (Flare), Farbbalkenumschaltung, Signalisierung (Tally) und Automatikfunktionen Ein/Aus. Außerdem sind die Funktionen Knee, Scene-Files und Shutter vorzusehen.

Die Übergabe der Funktionen an Nebenbediengeräte darf nicht bewirken, dass andere Einstellmöglichkeiten am Hauptbediengerät außer Funktion gesetzt werden.

Nebenbediengeräte sollen in zwei Versionen angeboten werden. Die Bedienelemente für Blende, Master Black und Vorschau sollen wahlweise in einem Monokopf (Joystick) zusammengefasst oder getrennt ausgeführt sein.

Bei tragbaren Kameras vom Typ 3. sollen alle oben genannten Funktionen an der Kamera bedienbar sein.

Bei tragbaren Kameras vom Typ 4. sollen mindestens folgende Funktionen an der Kamera bedienbar sein:

Brennweite, Schärfe, Blende (automatisch und von Hand), Filterrad, Verstärkung, Schwarz- und Weißautomatik.

Bei akkubetriebenen Kameras ist eine Signalisierung des Betriebszustands der Stromversorgung notwendig.

Die Bedienelemente für Kameras vom Typ 3 für die Aufzeichnung (Start/Stop) sollen sowohl am Recorder als auch am Objektiv vorhanden sein.

Die Bedienelemente für Aufnahme-/Wiedergabefunktionen sind an der Kamera auszuführen.

Die Einstellvorgänge für den laufenden Betrieb dürfen durch die Steuerung nicht merklich (< 0,1 s) verzögert werden.

#### **4.3 Automatikfunktionen**

Blendenautomatik, Schwarz- und Weißautomatik sind Standard.

Eine automatische Korrektur von Objektivfehlern auf der Basis der vom Objektiv übermittelten Daten ist vorzusehen (z. B. Chromatische Aberration – CAC oder ALAC).

Weitere Automatikfunktionen, die bis zum gesamten Abgleich der Kamera gehen, sind hilfreich, Automaten müssen grundsätzlich abschaltbar sein.

Betriebsanzeigen der Automatikschaltungen und Diagnoseprogramme sind vorzusehen.

#### **4.4 Speichern von Einstellungen**

In sog. Scene-Files werden szenische Einstellwerte (z. B. Filterstellungen, Gain, Weisabgleich etc. ) zur erneuten Nutzung hinterlegt. Lens-Files beinhalten objektivspezifische Abgleichwerte (z. B. Shading, Flare, White offset) die automatisch oder manuell abgerufen werden können. Mindestens jeweils 8 Scene- und Lens-Files müssen von den Kameras Typ 2 und 3 unterstützt werden.

Abgespeicherte Einstellwerte müssen auch bei ausgeschalteter Kamera erhalten bleiben. Die Speicherbausteine sollen in der Kamera angeordnet sein, zusätzlich muss die Abspeicherung auf einen externen Speicher möglich sein. Abgleichwerte einer ersten Kamera (Master) müssen auf die übrigen Kameras gleichen Typs übertragen werden können.

## 5. Elektrische Anforderungen

Anstelle des Signals aus dem Bildaufnahmesensor muss bei Kameratypen 2 und 3 die Einspeisung von Testsignalen (z. B. Sägezahn, EBU-3305 Testbild etc. ) in allen Farbkanälen (R,G,B) möglich sein. Hiermit sollen alle Teile des Signalverarbeitungswegs erfasst werden.

Für Kameras vom Typ 2 und 3 ist der Signalverarbeitungspfad mindestens in 14 bit auszuführen. Kameras vom Typ 4 sind mindestens 12 bit gefordert.

### 5.1 Anforderungen an einzelne Baugruppen

#### 5.1.1 Stufen vor dem A/D Wandler

Der analoge Teil der Signalverarbeitung muss so übersteuerungssicher ausgeführt sein, dass Schaltungen zur Verminderung von Überbelichtungseffekten einwandfrei arbeiten (> 8 Blendenstufen).

#### 5.1.2 Störsignalkompensation

Schaltungen zur additiven bzw. multiplikativen Störsignalkompensation sind zur Einhaltung der Forderungen unter 6.10 erforderlich. Die verschiedenen Kompensationen sollen abschaltbar sein und für mehrere Objektive mit Kennung eingespeichert und abgerufen werden können (z. B. Lens-File).

#### 5.1.3 Farbmatrix (Farbkorrekturereinheit, 6 Sektoren)

Die Farbmatrix muss von Signalen gespeist werden, die bereits auf Weiß- und Schwarzwert abgeglichen und bezüglich Störsignale und Streulicht kompensiert sind. Sie soll bei Studiokameras vom Typ 2. vom Hauptbediengerät aus unabhängig von anderen Funktionen abgeschaltet werden können. Die Umschaltung auf weitere feste oder abgleichbare Matrizen ist für Kamera von Typ 2 und 3. erwünscht. Umfangreichere Farbkorrekturereinheiten sollen in mindestens 6 Sektoren separat Farbton und Sättigung beeinflussen lassen.

#### 5.1.4 Aperturkorrektur, horizontal und vertikal (Konturkorrektur, Detail)

Die folgenden Angaben beziehen sich auf Kameras vom Typ 2 und 3. und werden mit den Testbild T7 für SD und T 239 für HD mit Frequenzangaben (siehe 13.6). Für nachfolgenden Forderungen beziehen sich die Frequenzwerte auf die Angaben in den entsprechenden formatfüllend aufgenommenen Testbildern.

Der Verlauf der Entzerrung (Apertur) in **horizontaler** Richtung ist etwa dem Amplitudengang der Bildaufnehmer bei hohen Frequenzen anzupassen, so dass ein linearer Frequenzbereich entsteht.

Abhängig vom Format sind folgende Anhebungsmaximums (Detail) gegeben:

Für 576i/25:

Das Anhebungsmaximum des H-Korrektursignals soll einstellbar beginnend bei etwa 3,5 MHz liegen und bis 6 MHz verschoben werden können.

Für 720p/50:

Das Anhebungsmaximum des H-Korrektursignals soll einstellbar beginnend bei etwa 7 MHz liegen und bis 22 MHz verschoben werden können.

Für 1080i/25 und für 1080p/50:

Das Anhebungsmaximum des H-Korrektursignals soll einstellbar beginnend bei etwa 8 MHz liegen und bis 26 MHz verschoben werden können.

Soft-, Skin- und Knee-Detailschaltungen und Korrekturen der Farbkanten (Chroma Detail) sind erwünscht. Die Verwendung eines einstellbaren Rauschbegrenzers ist erforderlich.

Bei Kameras vom Typ 4 werden diese Einstellungen selten bereitgestellt sind aber wünschenswert.

Die **vertikalen** Apertur- und Detailkorrektur soll in der Standardeinstellung der horizontalen Apertur- und Detailkorrektur folgen. Das Verhältnis vertikaler zur horizontaler Apertur- und Detailkorrektur soll einstellbar sein.

Die **Gesamtkorrektur** muss abschaltbar sein und (bezogen auf die Frequenz maximaler Anhebung) von 0 bis 12 dB kontinuierlich - und fernbedienbar bei Kameras vom Typ 2. - eingestellt werden können.

#### 5.1.5 Weißwertbegrenzer

Die eingesetzten Weißwertbegrenzer der einzelnen RGB-Kanäle sollen in ihren Eigenschaften gleich sein, insbesondere unabhängig von Frequenz und Mittelwert des Signals. Die Begrenzer - bei Kamera vom Typ 2. fernbedienbar - sollen auf Werte zwischen 100 und 109 % des Weißwertes einstellbar sein und dürfen von anderen Einstellfunktionen nicht beeinflusst werden. Die eingestellten Begrenzungspegel dürfen sich im Dauerbetrieb nicht verändern und zwischen R, G, B nicht voneinander abweichen.

#### 5.1.6 Kennlinienanpassung

Die opto-elektrische Transferfunktion (Gamma) soll kontinuierlich so einstellbar sein, dass die Kennlinien der Bildaufnehmer je nach Format an den Verlauf der Richtlinien ITU-R BT601 bzw. ITU R BT709 -Teil 2 angepasst werden können (siehe Bild 4). Zusätzlich soll mindestens eine voreingestellte Kennlinie abrufbar sein. Der Toleranzgrenzen für die normgerechte opto-elektrische Transferfunktion betragen  $\pm 0,02$  vom Sollwert.

Die Kameras werden so eingestellt, dass dem Szenenkontrastumfang von 40:1 ein Signalbereich von 10 bis 100 % entspricht. Der Signalbereich zwischen 0 und 10 % ist der Übertragung von noch dunkleren Szenenteilen als im Kontrastbereich 40:1 enthalten zugeordnet.

Die Umschaltung auf mindestens eine zusätzliche voreinstellbare Schwarzdehnung (Blackstretch) sowie Schwarzkompression zur Verwendung in besonderen Fällen ist erforderlich.

Im Signalbereich von etwa 90 % bis zum Begrenzereinsatz soll ein weicher Übergang der Kennlinie zur Verarbeitung von Eingangssignalen bis zu etwa 600 % vorgesehen werden. Diese "Knee"-Funktion sollte intern abschaltbar sein. Eine automatisch wirkende Knee-Schaltung, die in Abhängigkeit von der Überbelichtung den Einsatzpunkt zwischen 100 % und 80 % verschiebt und die Neigung verändert, ist für Kameras nach Typ 2. und 3. erforderlich.

Die Kennlinien der einzelnen Farbkanäle müssen im Pegelbereich zwischen 30 und 100 % auf  $\pm 0,5$  % und im Bereich von 0 bis 30 % auf  $+ 0,2$  % des Weißwertes in Übereinstimmung gebracht werden können.

Die Entzerrungen müssen für Messzwecke unwirksam gemacht werden können.

#### 5.1.7 Schwarz- und Weißbalance-Automatik

Die Einstellung der Schwarzautomatik soll auf einen intern vorgegebenen Pegel (nahe 5 %) bei geschlossener Blende (Lens Cap) erfolgen.

Die Einstellgenauigkeit soll (gemessen mit Kennlinienvorentzerrung) im Dauerbetrieb unter 0,2 % liegen.

Die Weißautomatik soll bei Eingangssignalen zwischen 70 und 120 % im Grünkanal den Angleich der R- und B-Signale auf das G-Signal mit Fehlern  $< \pm 1$  % durchführen. Die Einstellzeit soll  $< 3$  s sein. Eine gekoppelte Zwangsumschaltung auf Blendenautomatik ist zweckmäßig.

Das bei der Messung verwendete Testfeld soll  $< 1$  % der Bildfläche sein und im Sucher und im Vorschaumonitor markiert werden. Farbtemperaturen der Szenenbeleuchtung sollen von 2500 bis 12000 K ausgeglichen werden können (vgl. 3.8).

**5.1.8 Testsignalgeber**

Ein Testsignalgeber ist in die Kameraanlage einzubeziehen.

Im Kamerakopf ist anstelle des Signals aus dem Bildaufnahmesensor bei Kameratypen 2 und 3 die Einspeisung von Testsignalen (z. B. Sägezahn, EBU-3305 Testbild etc. ) in allen Farbkanälen (R,G,B) vorzusehen. Hiermit sollen alle Teile des Signalverarbeitungswegs erfasst werden.

Ein weiterer Testsignalgeber mit mindestens einem EBU-Farbbalken muss bei Kameras vom Typ 2 eingebaut sein und anstelle der Kamerasignale auf die Ausgänge geschaltet werden können (von den Bediengeräten aus schaltbar).

**5.1.9 Taktversorgung**

Die Kameras vom Typ 2 und 3 sind mit Genlock-Taktgebern auszurüsten. Der Genlock-Eingang muss wahlweise mit Black-Burst oder Tri-Level im entsprechenden Format arbeiten. Pegeltoleranzen des synchronisierenden Signals von  $\pm 3$  dB und überlagerte Störspannungen von 20 % sollen von der Kamera noch verarbeitet werden können. Die Ausgangssignale der Kameras müssen im Timing über H und V einstellbar sein, wobei eine synchrone Ausgabe von verschiedenen Videoformaten gewährleistet sein muss.

**5.1.10 Eingänge – Ausgänge am Kamerasystem**

Folgende Ein- und Ausgänge sind an den Kameras vorzusehen:

**1. Eingänge**

	Kamera Typ 2, 3 (Studio)	Kamera Typ 2, 3 (tragbar)	Kamera 4
Stromversorgungen	Netz 230 V sowie externes Netzgerät	Akkubetrieb 10,5 V – 17,5 V sowie externes Netzgerät	Akkubetrieb sowie externes Netzgerät
Synchronisation	Black-Burst Tri-Level	Black-Burst Tri-Level	
Verständigung	4Draht	4Draht (nicht bei Camcorder)	
Rückkanäle	2 Kanäle (SDI, HDSDI)	2 Kanäle (nicht bei Camcorder)	
Teleprompter	1 x SDI / FBAS		

**2. Ausgänge**

	Kamera 2., 3. (Studio)	Kamera 3. (tragbar)	Kamera 4.
Video	4 x SDI / HDSDI	2 x SDI / HDSDI	1 x FBAS HDMI
Hilfssignale (schaltbar) für: Y, RGB,	1 x Testausgang	1 x Testausgang	
Netzwerkschnittstelle für Service, Steuerung, Datentransfer	1 Ethernet	IEEE1394	IEEE1394

**Bedingungen für Ausgänge:**

Die serielle digitale Videoschnittstelle (SDI) ist gemäß der ITU-R BT.656 auszuführen. Nachfolgend sind Auszüge aus diesem Standard aufgeführt.

Ausgangswiderstand	75 $\Omega$
Rückflussdämpfung von 10 bis 270 MHz	> 15 dB
Signalamplitude	800 mV <sub>ss</sub> $\pm$ 10% an 75 $\Omega$
Gleichspannungsoffset (DC-Offset)	$\pm$ 0,5 V
Steig-/Fallzeiten (270 Mbit/s)	1,0 $^{+0,5}_{-0,25}$ ns
(Gemessen zwischen 20% und 80% der Signalamplitude an 75 $\Omega$ )	
Amplitude der Über-/Unterschwinger Signalamplitude	< 10% der realen
Timing Jitter (> 10 Hz)	< 0,2 UIss
Alignment Jitter (> 1 kHz)	< 0,2 UIss

Die HDSDI-Schnittstelle ist gemäß der ITU-R BT.1120 auszuführen. Nachfolgend sind Auszüge aus diesem Standard aufgeführt und durch weiterführende Grenzwerte aus der SMPTE 424M ergänzt.

Ausgangswiderstand	75 $\Omega$
Rückflussdämpfung von 5 MHz bis $f_c/2$	> 15 dB
Rückflussdämpfung von $f_c/2$ bis $f_c$ ( $f_c$ serial clock frequency (1,485 GHz oder 2,97 GHz))	> 10 dB
Signalamplitude	800 mV <sub>ss</sub> $\pm$ 10% an 75 $\Omega$
Gleichspannungsoffset (DC-Offset)	$\pm$ 0,5 V
Steig-/Fallzeiten (1,485 Gbit)	< 270 ps
Steig-/Fallzeiten (2,970 Gbit)	< 135 ps
(Gemessen zwischen 20% und 80% der Signalamplitude an 75 $\Omega$ )	
Amplitude der Über-/Unterschwinger Signalamplitude	< 10% der realen
Timing Jitter (> 10 Hz) (1,485 Gbit)	< 1 UIss
Alignment Jitter (> 100 kHz) (1,485 Gbit)	< 0,2 UIss
Timing Jitter (> 10 Hz) (2,970 Gbit)	< 2 UIss
Alignment Jitter (> 100 kHz) (2,970 Gbit)	< 0,3 UIss

### 5.1.11 Einstellbereiche

<b>Gemeinsamer Weißwert:</b> (Gain)	Kamera Typ 2.: -3, 0, +3, +6, +9, + 12 dB
	Kamera Typ 3.: 0, +6, +12 dB oder 0, +9, +18 dB
	Kamera Typ 4.: 0 bis +12dB

Gleichlauffehler (Gain):  $\pm$  0,2 %, bezogen auf den 100% Weißwert

<b>Gemeinsamer Schwarzwert:</b> (Master-Black)	einstellbar $\pm$ 20 % des 100% Weißwertes (ohne Kennlinienvorentzerrung, abgeschnitten bei 0 %)
---	---

Gleichlauffehler (Black):  $\pm$  0,1 % des 100% Weißwertes  
(bei optimaler Kennlinienvorentzerrung)

Für die Farbkanäle ist ein gemeinsamer Schwarzwertesteller vorzusehen, um größere Abweichungen in der Szene ausgleichen zu können. Korrektursteller für Schwarzwert, Kennlinienvorentzerrung und Weißwert sind für Rot, Grün und Blau erforderlich. Einzel- sowie Summenswarzwerte müssen vor der Kennlinienvorentzerrung einstellbar sein.

Weiter gilt für Kameras des Typs 2:

Bei Schwarz-Matching und Änderung des gemeinsamen Schwarzwertes um  $\pm 5\%$  dürfen sich die Weißwerte um nicht mehr als  $\pm 1\%$  ändern. Umgekehrt gilt bei Weiß-Matching um  $\pm 10\%$  eine Toleranz im Schwarz von  $\pm 0,2\%$ . Der Bereich für die Matching-Einstellung soll  $\pm 40\%$  im Weiß und  $\pm 5\%$  im Schwarz (ohne Kennlinienvorentzerrung) betragen.

Bei tragbaren Kameras vom Typ 3. und 4. sind die oben genannten Bedingungen für interne Einsteller sinngemäß anzuwenden. Ebenso gelten diese Angaben für zusätzliche Fernbedieneinheiten bei Kamera vom Typ 3.

## 6. Anforderungen "Über alles"

Die Messungen erfolgen - sofern nicht anders erwähnt - im linearen Betrieb am ersten Videohauptausgang und zwar ohne Kennlinienvorentzerrung, ohne Weißwertbegrenzung, ohne Rauschkompensation aber mit Shading-, und Aperturkorrekturereinheit (ohne Korrektursignal (Detail)).

Die folgenden Forderungen gelten für die serienmäßig in der Anlage enthaltenen Einrichtungen, auch für das Objektiv. Die verwendeten Bildaufnahmesensoren und das Objektiv sind anzugeben.

### 6.1 Einlaufzeit, zeitliche Konstanz, Netzspannungsabhängigkeit

Die Kameras sollen bereits nach etwa 1 min ein akzeptables Bildsignal abgeben können. (Richtwerte: Weißabgleich  $\pm 3\%$ , Schwarzwerte  $\pm 1\%$ .) Nach einer Einlaufzeit von 10 min, bei konstanter Spannungsversorgung ( $\pm 4\%$ ) und bei konstanter Umgebungstemperatur ( $\pm 1\text{ °C}$ ), sollen die Betriebswerte und die Videosignalpegel so konstant sein, dass bei Dauerbetrieb Nachjustierungen nicht mehr nötig sind. Nach dieser Zeit müssen die Pflichtenheftswerte eingehalten werden. Insbesondere dürfen die zeitlichen Schwankungen der Verstärkung – gemessen einschließlich der optimal eingestellten Aperturkorrektur und der Kennlinienvorentzerrung – nicht größer sein als  $\pm 1\%$ , wobei die einzelnen Kanäle voneinander nicht mehr als  $\pm 1\%$  abweichen dürfen. Die Schwarzwerte dürfen gemeinsam nicht mehr als  $\pm 1\%$  des Weißwertes von dem einmal eingestellten Wert abweichen, wobei die einzelnen Kanäle bei optimaler Kennlinienvorentzerrung nicht mehr als  $\pm 0,3\%$  voneinander abweichen sollen.

Für EB-Kameras ist eine Betriebsbereitschaft nach  $< 2$  Minuten erforderlich.

Diese Konstanz soll eingehalten werden, wenn an aufeinanderfolgenden Tagen die Kameraanlage wiederholt aus- und eingeschaltet wird. Die Umgebungstemperatur darf dabei  $+15\text{ °C}$ ,  $-10\text{ °C}$  um einen Ausgangswert von  $20\text{ °C}$  schwanken. Außerdem sind Netzspannungsschwankungen im Bereich von  $\pm 4\%$  vom Nennwert zulässig. Die Betriebswerte der Kameras dürfen sich beim Batteriebetrieb im Bereich von 10,5 bis 17 V nicht ändern.

Durch nichtkonstante Netzfrequenz (z. B. Betrieb am Aggregat) dürfen keine merklichen Störungen entstehen.

## 6.2 Bilderzeugung

### 6.2.1 Geometrie – Rasterdeckung

Die Abweichungen von der idealen **Geometrie** dürfen bei Kameras vom Typ 2 und Typ 3. maximal  $\pm 0,5\%$ , bei Kameras vom Typ 4  $+ 1\%$  der Bildhöhe betragen. Die Differenz der Geometrieabweichungen benachbarter Kreise darf nicht mehr als  $0,3\%$  der Bildhöhe betragen. Die Brennweite ist dabei so einzustellen, dass das Objektiv die geringsten Verzerrungen aufweist (nach Angaben des Objektivherstellers, vgl. 3.7.2.) Geometrieabweichungen bei anderen Brennweiten: Kameras vom Typ 2 und 3  $< \pm 1\%$ , Kameras vom Typ 4  $< \pm 1,5\%$ .

Die **Rasterdeckung** wird im Bildfeld innerhalb eines Kreises mit einem Durchmesser  $0,8$  Bildhöhe (Zone 1) und im Bildfeld außerhalb der Zone 1 bis zu einem Kreis mit einem Durchmesser gleich der Bildbreite (Zone 2) bewertet. Die Abweichung der einzelnen Raster gegeneinander darf in keiner Richtung größer sein als entsprechend einem Laufzeitfehler von:

Format	Zone	Kameratyp 2 und 3	Kameratyp 4
576i/25			
	1	20 ns	30 ns
	2	30 ns	50 ns
	>2	40 ns	120 ns
720p/50			
	1	2 ns	6 ns
	2	3 ns	9 ns
	>2	4 ns	20 ns
1080i/25			
	1	2 ns	6 ns
	2	3 ns	9 ns
	>2	4 ns	10 ns
1080p/50			
	1	1 ns	3 ns
	2	1,5 ns	4 ns
	>2	2 ns	10 ns

Die Messung erfolgt ohne Aperturkorrektur und im mittleren Brennweitenbereich.

Mechanische Erschütterungen, die im normalen Betrieb vorkommen können, dürfen die Rasterdeckung nicht beeinflussen (siehe auch Pflichtenheft 3/1 - 8/2, Abschnitt 1.6.2.).

Die oben angegebenen Werte gelten jeweils für den im Absatz 3.4 angegebenen Temperaturbereich.

### 6.2.2 Bildlage/Bildgröße

Das aktive Bild ist so auszuschreiben, dass das erste und letzte Pixel bzw. die erste und letzte aktive Zeile des digitalen Bildes bereits mit Bildinhalt beginnt bzw. endet, wobei die systembedingten Steigzeiten zu berücksichtigen sind. Einschwingvorgänge an den Bildrändern sind zu vermeiden.

### 6.2.3 Sicherheitsschaltungen

Eine Sicherheitsabschaltung für Kamerakabel (bei offener oder kurzgeschlossener Leitung) ist erforderlich. Fehleranzeigen sind erwünscht.

### 6.2.4 Überbelichtungen

Kameras sollten wenigstens 120 dB Überbelichtung ohne vertikale Streifenbildung (< 3,5 mV) vertragen (V-Smear); elektronische Shutter-Einrichtungen können diesen Wert entsprechend reduzieren.

## 6.3 Empfindlichkeit

Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Mindestangaben über Empfindlichkeit, d. h. Beleuchtungsstärke E, Blende (f und T) und Störabstände, beziehen sich auf eine Farbtemperatur von 3200 K und einen Remissionsfaktor der Vorlage von 89,9 % bei 0 dB Verstärkung.

Sensor	Blende f	E (Lux)
2/3"	3,5	200
1/2"	3	200
1/3"	3	200

Tabelle 6.1

Zusätzlich ist die Grenzemfindlichkeit bei maximaler Objektivöffnung und 0 dB Verstärkung anzugeben (z. B. f:1,7 - 200 lx). Die Integrationszeit (abhängig von der Bildwechselfrequenz) ist hierfür anzugeben.

Digitale Kamerasysteme mit einer „nativen“ Empfindlichkeit zu beschreiben ist nur dann möglich, wenn sichergestellt ist, dass das verfügbare Signal eindeutig linear ist. Auch bei einer Einstellung von 0 dB ist zu überprüfen, ob der OECF-Verlauf (**O**pto **E**lectronic **C**onversion **F**unction) tatsächlich über den verwendeten Dynamikbereich linear verläuft.

Um bei Kameravergleichen aussagefähige Werte zu bekommen muss zusätzlich das im Absatz 13.5 beschriebene erweiterte Messverfahren mit dem ARRI - DRCT-Testbild durchgeführt werden.

#### 6.4 Störabstand

Die Störabstandsmessung erfolgt im Y-Kanal bei 5% Schwarzabhebung mit: Schwarzdehnung aus, Gamma aus, Farbkorrektur aus, Aperturkorrektur aus, „Knee“ aus, Flair ein und Rauschreduktion aus. Zur Ermittlung der Wirkung der Rauschreduktion ist eine weitere Messung mit Rauschreduktion ein durchzuführen.

Sensor	Störabstände in dB, alles linear	
	576i25	720p50/1080i25/1080p50
2/3"	65	60
1/2"	65	60
1/3"	60	54

Tabelle 6.2

$$SN = 20 \log \frac{\text{nomSignallevel}}{\text{RMSnoiselevel}} [dB]$$

Der nomSignallevel  $\triangleq$  100% Signalpegel

Grenzfrequenzen der Bewertungsfilter für SD:  $f_{gu} = 200\text{kHz}$ ,  $f_{go} = 5\text{ MHz}$   
 Grenzfrequenzen der Bewertungsfilter für HD 720p/50 und 1080i/25:  $f_{gu} = 200\text{kHz}$ ,  $f_{go} = 27\text{ MHz}$   
 Grenzfrequenzen der Bewertungsfilter für HD 1080p/50:  $f_{gu} = 200\text{kHz}$ ,  $f_{go} = 54\text{ MHz}$

Die Störabstände der einzelnen Farbkanäle sollen nicht mehr als 6 dB voneinander abweichen.

Fixed Pattern Noise -Störungen: -70 dB im Luminanzkanal bei +40 °C und bei 5 % Signalpegel, gemessen in Betriebsstellung. Die FPN-Störungen der einzelnen Farbkanäle sollen nicht mehr als 6 dB voneinander abweichen.

Für VJ-Kameras (Kameratyp 4) gelten die gleichen Empfindlichkeitswerte, jedoch können die Störabstände ca. 2 dB niedriger sein.

Zur Exemplarprüfung ist ein erweitertes Messverfahren sinnvoll, bei dem der Signal-Rauschabstand nicht auf den nominalen Signalpegel (100%) bezogen sondern auf den jeweils gemessenen Signalpegel referenziert wird. Mit diesen Messverfahren wird eine SNR-Kurve des Signal-Rauschabstandes über die gesamten Aussteuerungsbereich aufgenommen und zeigt somit den jeweiligen Signal-Rauschabstand bei jedem Signalpegel (Siehe 13.5)

#### 6.5 Dynamik

Die Dynamik ist der Abstand zwischen dem gerade noch erkennbaren Strukturen in sehr dunklen Bildteilen und den gerade noch erkennbaren Strukturen in sehr hellen Bildteilen.

Das untere, „dunkle“ Ende der Signalverwendbarkeit ist dadurch gekennzeichnet, dass gerade noch Zeichnung im Bild erkennbar ist. Das obere „helle“ Ende lässt sich bestimmen, entweder über das Clipping, also den Punkt, ab dem mehr Helligkeit in der Szene zu keinem weiteren Anstieg des Signals führt, oder wiederum über den Signalstörabstand. Ist der Clipping-Punkt erreicht, so wird das Rauschen unendlich klein, die Steigung der SNR-Kurve kippt nach unendlich. Die Dynamik lässt sich nun in der SNR-Kurve als Abstand vom Clipping-Punkt C zum Empfindlichkeitspunkt S in Blendenstufen bestimmen (siehe 13.5) Die zur Optimierung des Dynamikumfangs notwendigen Einstellungen sind vom Hersteller anzugeben.

## 6.6 Modulationstiefe, Aliaseffekte

Für SDTV-Auflösung erfolgt die Messung mit einem Varioobjektiv (vgl. 3.7.2) bei mittlerer Brennweite im Leuchtdichtesignal mit dem Testbild T 07. Folgende Werte sollen ohne Kennlinienvorentzerrung, ohne Aperturkorrektur und mit optimaler Shading-Korrektur, bezogen auf 0,5 MHz, in Zone 1 erreicht werden:

	Blende f	Sensor	1	2	3	4	5 MHz
Kamera 2	4	2/3"	98	90	85	80	70%
Kamera 3	4	1/2" u. 2/3"	98	90	80	70	60%
Kamera 4	4	1/2" und kleiner	95	80	65	50	40%

Für HDTV-Auflösung erfolgt die Messung bei Kameras vom Typ 2 und 3 mit einem Festbrennweitenobjektiv 3.7.2 im Leuchtdichtesignal z. B. mit dem Testbild TE 225 und TE 239. Folgende Werte sollen ohne Kennlinienvorentzerrung, ohne Aperturkorrektur und mit optimaler Shading-Korrektur, bezogen auf 58 Linien/Bildhöhe (entsprechen 2 MHz bei 1080i/25), in Zone 1 erreicht werden.

Gemessen wird bei Blende 4

Kamera Typ 2, Sensor 2/3"

Linien/Bildhöhe	116	291	465	533	640	800	872 lp
720p/50	98	85	70	55	30%	-	-
1080i/25	98	93	85	75	65	50	30%
1080p/50	98	93	85	75	65	50	30%

Kamera Typ 3, Sensor 1/2" u. 2/3"

Linien/Bildhöhe	116	291	465	533	640	800	872 lp
720p/50	98	85	70	55	30%	-	-
1080i/25	98	93	85	75	65	50	30%
1080p/50	98	93	85	75	65	50	30%

Kamera Typ 4, Sensor 1/2" und kleiner

Linien/Bildhöhe	116	291	465	533	640	800	872 lp
720p/50	95	80	65	45	20%	-	-
1080i/25	95	85	75	65	55	40	20%
1080p/50	95	85	75	65	55	40	20%

Anmerkung: Da bei diesem Kameratyp das Objektiv integriert ist soll die Messung bei mittlerer Brennweite erfolgen. Ist die Abschaltung von der Kennlinienvorentzerrung und Aperturkorrektur nicht möglich werden die Messergebnisse nur relativ vergleichbar.

Bei Kameras vom Typ 2 und 3 darf in den Randgebieten entsprechend Zone 2, d. h. in den äußersten Ecken, die Modulationstiefe nicht kleiner als 90 % des oben angegebenen Wertes sein.

Bei Kameras vom Typ 2 und 3 dürfen die Unterschiede der Auflösung in den Farbkanälen Rot und Blau gegenüber Grün 10% nicht übersteigen.

Achtung: Die Testbilder TE 225 und TE 239 sind auf das Format 1080i/25 bezogen. Die Frequenzangaben in den Testbildern müssen bei 720p/50 mit dem Faktor 1,5 und bei 1080p/50 mit dem Faktor 2 multipliziert werden.

Umrechnungstabelle von Linien/Bildhöhe der optischen Vorlage in wiedergegebenen Frequenzen in elektrischen System :

Linien/Bildhöhe	116	291	465	533	640	800	872 Tvl
720p/50	6	15	24	27,5	33	41,25	45 MHz
1080i/25	4	10	16	18,3	22	27,5	30 MHz
1080p/50	8	20	32	36,7	44	55	60 MHz

Bewegungsauflösung:

Die Auflösung darf bei horizontalen Bewegungen mit einer Winkelgeschwindigkeit von 1° pro Sekunde und einen Abstand von 20 x Testbildhöhe um nicht mehr als 20% sinken.

**Aliasstörungen** bei Halbleitersensor-Kameras sollen weder im Luminanzsignal noch in den Farbkanälen größere Werte als 1 % annehmen. Gemessen wird mit Testbildern wie z.B. in Bild 6.1 dargestellt mit denen Frequenzen bis ca. der 2-fachen Abtastfrequenz dargestellt werden können. Beobachtet werden relativ niederfrequente, dadurch subjektiv stärker störende Moires zwischen 0,3 und 1 MHz. Die Messung kann mit dem Spektrumanalyser in dB oder im üblichen Oszillogramm in % erfolgen (siehe auch UER Doc. Tech. 3281 "Methods for the measurement of the characteristics of CCD-cameras"). Bezugswert ist die Amplitude des 1-MHz-Rechtecksignals, das nahe 100 % angesteuert wird. Für die Messungen gilt folgende Formel.

$$\text{Alias} = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max}}$$

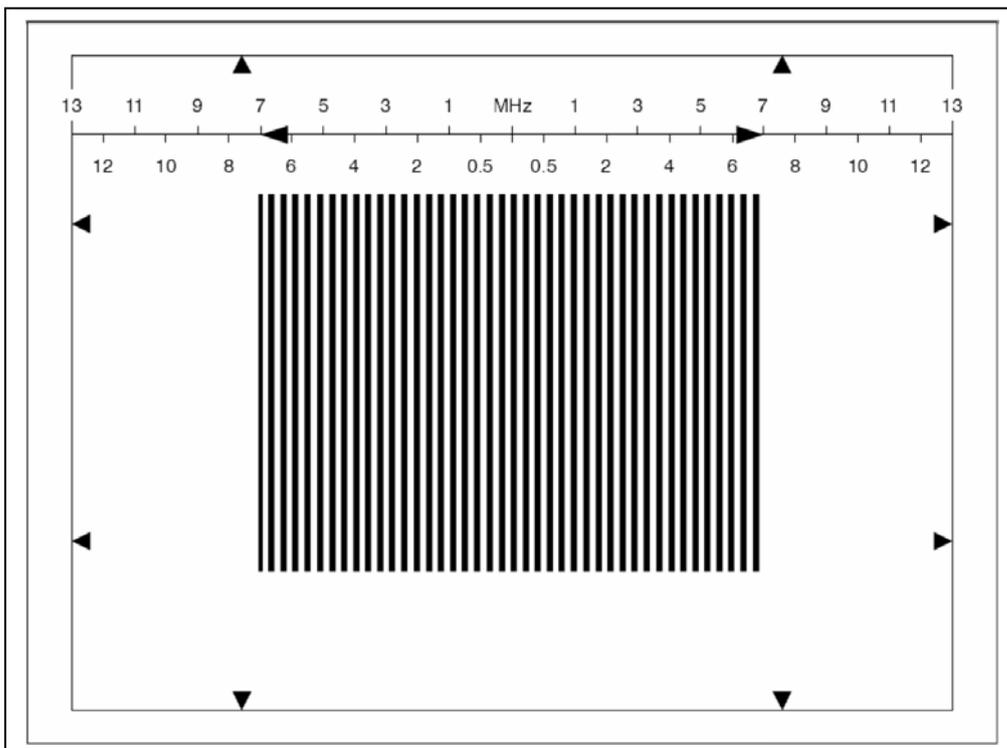


Bild 6.1: Beispiel eines Aliastestbildes mit MHz-Angaben für SDTV

### 6.7 Einfluss der mittleren Szenenleuchtdichte – Streulichtkompensation (Flare)

Abhängig von der mittleren Szenenleuchtdichte verändern sich die Streulichteinflüsse im optischen Kanal und in den Bildaufnahmesensoren. Zur Kompensation dieser Effekte müssen geeignete Schaltungen verwendet werden; diese sollen - für Messzwecke - auch unwirksam gemacht werden können. Begrenzer und Schaltungen zur Verminderung von Überbelichtungseffekten dürfen die Arbeitsweise der Kompensationsschaltungen nicht beeinflussen.

Zur Messung der streulichtbedingten Schwarzwertfehler werden die beiden im Bild 6.2 gezeigten Testbilder verwendet. Die Messungen erfolgen mit Gamma 0,45.

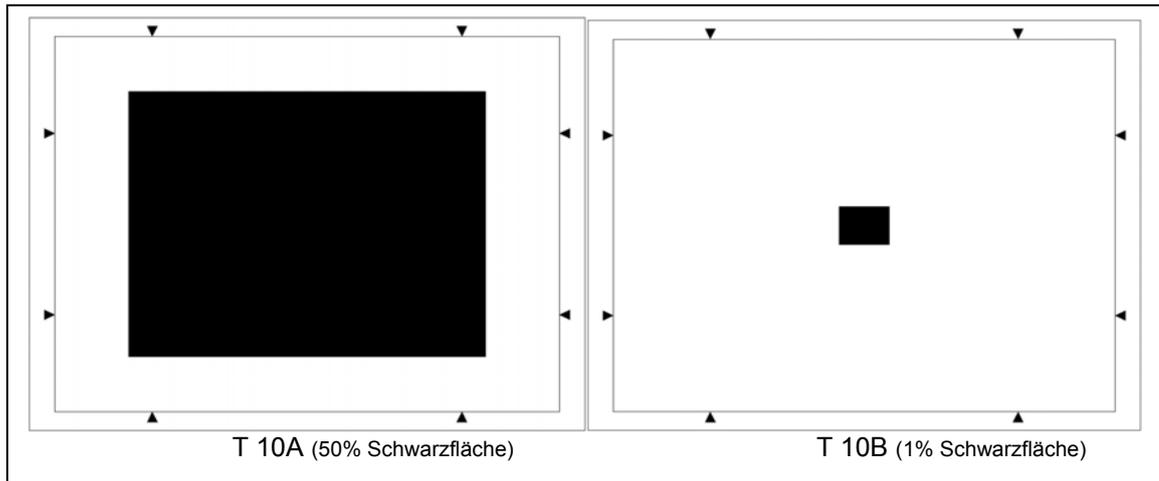


Bild 6.2: Testbild T 10A und T 10B

Nach optimaler Einstellung der Streulichtkompensation mit Testbild T10A auf den zuvor eingestellten Schwarzwertpegel von  $R = G = B$ , somit  $\Delta S_{T10A} = 0$ , soll der Pegel des Schwarzwertes mit dem Testbild T 10B gemessen werden. Die relative Pegeländerung der drei Schwarzwerte  $\Delta S_{T10B}$  darf folgende Werte nicht überschreiten:

( $\Delta S_{T10A} \triangleq$  Streulichtdifferenz bei 50% Schwarzfläche)

Farbkanal:	R	G	B
$\Delta S$	< 1 %	< 1 %	< 1 % des Weißpegels

Der Weißwert zwischen den drei Farbkanälen darf sich dabei nicht ändern. Die Streulichteigenschaften der Varioobjektive sind ggf. über den ganzen Brennweitenbereich zu überprüfen.

## 6.8 Verarbeitungszeit

Die interne Signalverarbeitungszeit über das gesamte Kamerasystem muss vom Hersteller für die verschiedenen Betriebsmodi angegeben werden. Sie sollte möglichst kurz sein und 1 Vollbild nicht übersteigen. Bei Kameras mit integrierter Aufzeichnungsmöglichkeit darf in der Aufzeichnung kein Bild- / Tonversatz größer 10 ms vorhanden sein.

## 6.9 Pixelfehler

Als Pixelfehler werden Bildpunkte gewertet die bei 12 dB Gain, Gamma „on“ und Detail „off“ einen Messwert von 5% des Weißpegels in den Farbkanälen überschreiten. Pixelfehler können als „tote“ Bildpunkte, die konstanten Spannungswert abgeben oder als blinkende Bildpunkte auftreten die wechselnde, nicht mit dem Bildinhalt korrelierende Spannungswerte abgeben.

Mit eingeschalteter Pixelfehlerkorrektur darf weder ein Pixelfehler noch durch die Korrektur verursachte störende Artefakte sichtbar sein.

Die Pixelfehlerkorrektur sollte sich auf Abruf automatisch oder manuell an die temperatur- bzw. alterungsbedingte Fehlersituation anpassen lassen. Der manuelle Abgleich muss einfach durchführbar sein.

Ansammlungen defekter Pixel, die über H und V zwei benachbarte Bildpunkte überschreiten, sind nicht zulässig.

Die Bewertung der Pixelfehler muss bei erreichter Betriebstemperatur erfolgen.

Die Pixelfehlerkorrektur muss abschaltbar sein.

## 6.10 Störsignale

Nach der Störsignalkompensation darf die Signalamplitude für 90% Weißpegel über die gesamte Bildfläche in den drei Farbkanälen um nicht mehr als  $\pm 2\%$  (vom 100% Weißpegel) von dem in Bildmitte gemessenen Wert abweichen. Für die Gleichmäßigkeit in den dunklen Bildanteilen darf die Signalamplitude bei 2% Weißpegel über die gesamte Bildfläche in den drei Farbkanälen um nicht mehr als  $\pm 0,5\%$  (vom 100% Weißpegel) abweichen.

Die Messung erfolgt bei optimaler Kennlinienvorentzerrung und im optimalen Bereich des Objektivs.

## 6.11 Farbwiedergabeeigenschaften

Der Verlauf der Farbteilungskurven soll so gewählt werden, dass in Verbindung mit der spektralen Empfindlichkeit der zu verwendenden Bildaufnehmer und der linearen Farbmatrix die in Bild 2 gegebenen Toleranzbereiche unter Berücksichtigung optimaler Bildqualität angenähert werden.

Die praktisch erreichten Flanken der Farbmischkurven (50%-Werte nominell bei 423, 478, 505, 575, 580 und 637 nm, siehe Bild 2) sollen **bei einem Satz gemeinsam ausgelieferter Kameras** relativ zueinander um nicht mehr als 4 nm abweichen, desgleichen die negativen Anteile durch Matrizierung.

Die Flanken bei 423 und 637 nm sollen - bei gleichem Objektiv - jeweils um nicht mehr als 5 nm voneinander abweichen. Ebenso sollen die relativen Abweichungen der Maxima  $< 5$  nm sein.

Die Veränderung der spektralen Aufnahmecharakteristik der Kamera durch polarisiertes Licht soll möglichst gering sein. Dreht man ein linear polarisiertes Filter vor dem Kameraobjektiv bei Übertragung einer weißen, nicht polarisierenden Bildvorlage, so dürfen die Amplitudenabweichungen der Kanäle Rot und Blau gegen Grün in keiner Stellung des Filters bei optimaler Kennlinienvorentzerrung mehr als  $\pm 1\%$  betragen.

Bei Messungen nach dem Testfarbenverfahren gemäß EBU-Vorschlag Tech. 3335-E gilt:

Nachfolgende Messungen sind mit dem Testbild TE 169 oder besser mit dem Testbild TE 226 durchzuführen.

Die von der Kamera mit den Testfarbtafel aufgenommenen Farborte werden mit den Farborten die mit einem geeichten Spectralradiometer vermessen wurden verglichen. Abweichungen werden in ein  $\Delta u^*$   $\Delta v^*$  Diagramm eingetragen (siehe Bild 6.3).

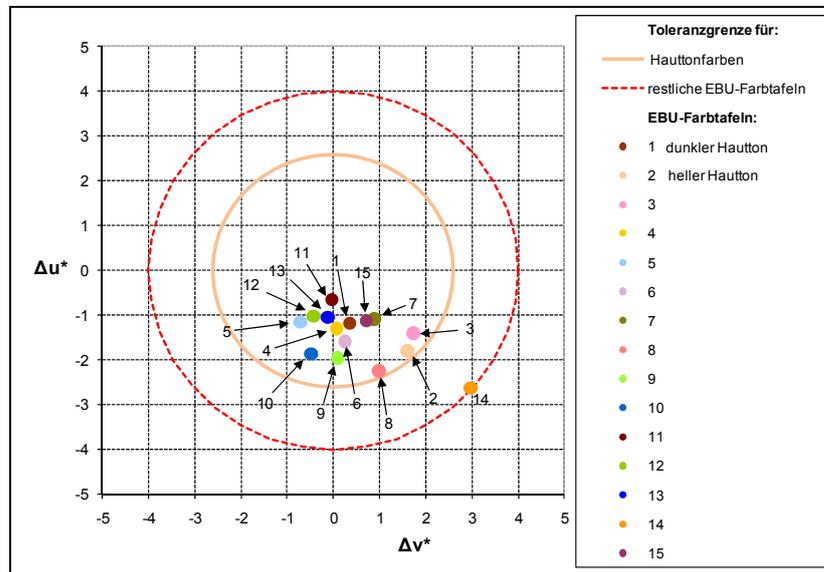


Bild 6.3: Farbortabweichung  $\Delta u^*$ ,  $\Delta v^*$

Es sollen die folgenden  $\Delta u^*$   $\Delta v^*$  -Werte nicht überschritten werden:

$\Delta u^*$   $\Delta v^*$  für EBU Testfarben = < 4 (ohne Hautfarben)

$\Delta u^*$   $\Delta v^*$  für Hautfarben = < 2,6

Die Umrechnungsformeln sind im Anhang 0 zu finden.

Die Messung erfolgt bei einer Farbtemperatur von 3200 K und mit Kennlinienvorentzerrung.

## **7. Störungen**

### **7.1 Übersprechdämpfung**

Bei Mehrader-Kamera-kabeln muss die Übersprechdämpfung zwischen den einzelnen Kanälen und von zugefügten externen Signalen (Bild und Ton) im übertragenen Frequenzbereich und bei Kabellängen bis zu 400 m Länge  $> 50$  dB sein. Bei 800 m dürfen noch keine merklichen Störungen im Bild und Ton auftreten.

Bei Triax- und Glasfaserkabeln muss die Übersprechdämpfung im Basisband der einzelnen Kanäle über die gesamte Übertragungsstrecke  $> 50$  dB sein.

### **7.2 Periodisch auftretende Störspannungen**

Periodisch auftretende Störspannungen dürfen bei optimaler Kennlinienvorentzerrung in der Austastlücke nicht größer als 1 %, im Bildbereich nicht größer als 0,3 % des Weißwertes sein.

### **7.3 EMV**

Die Grenzwerte nach DIN EN 55103 „EMV- Produktfamilienorm für Audio-, Video- und audiovisuelle Einrichtungen sowie für Studio-Lichtsteuereinrichtungen für professionellen Einsatz“ Teil 1 und 2 sind einzuhalten. Die Grenzwerte für die Störfestigkeit sind der Einstufungsklasse E5 (elektromagnetische Umgebung) im Kapitel 9 zu entnehmen.

DIN EN 55 103-1 : Grenzwerte und Verfahren für die Störaussendung

DIN EN 55 103-2 : Anforderungen an die Störfestigkeit

Das Einhalten der EMV-Grenzwerte ist erst gegeben, wenn im gesamten Bereich der EMV-Prüfung die im Kapitel 6 (Anforderungen "Über alles") dieser Technischen Richtlinie angegebenen Messwerte erfüllt werden.

Die Geräte müssen mit dem CE-Zeichen versehen sein und mit einer Konformitätserklärung ausgeliefert werden.

HF-Felder aller Frequenzen mit einer Feldstärke von max. 10 V/m dürfen keine größeren Störungen als -50 dB des Weißwertes und keine Synchronisationsstörungen des Ausgangssignals und des Sucherbildes verursachen. Bei der Messung ist die Aperturkorrektur und die Kennlinienvorentzerrung gemäß 5.1.6 einzustellen.

Kameraanlagen mit Kamerakabeln, die ein Frequenzmultiplexsystem benutzen (z.B. Triaxkabel), müssen bei mindestens 800 m parallel verlegten Kabeln und räumlich unmittelbar aneinandergrenzenden Kopf- und Basisstationen eine Übersprechdämpfung von  $>50$  dB zeigen (bei 2000 m:  $> 45$  dB).

### **7.4 Störungen durch magnetische Felder**

Die Grenzwerte für die Störfestigkeit gegen magnetische Feldstärken sind der DIN EN 55103-2 aus der Einstufungsklasse E5 zu entnehmen. Bei diesen Grenzwerten darf insbesondere bei Röhrensuchern der zusätzliche Geometriefehler nicht größer als 0,2 % der Bildhöhe sein.

## **8. Kamerakabel**

Es sollen bewährte Vielader- bzw. vorzugsweise Triaxialkabel oder Lichtwellenleiterkabel mit robusten Kabelarmaturen verwendet werden. Die Kabel sollen trittfest und flexibel mit einem zulässigen Biegeradius von  $>20$  cm sein. Die Kabel sollen außerdem kältefest bis  $-25$  °C (auf Wunsch bis zu  $-35$  °C) und in einer Signalfarbe (vorzugsweise Rot) eingefärbt sein.

Die Lichtwellenleiterkabel-Verbindung zwischen Kamerakopf und Basisstation ist bezüglich LWL-Kabel gemäß SMPTE 311M und bezüglich Steckverbindung gemäß SMPTE 304M auszuführen.

An den Kabelarmaturen sind ein Knickschutz und eine Zugentlastung anzubringen. Die Kabelstecker und -kupplungen sollen schwallwasserdicht sein. Außerdem sind unverlierbare Schutzkappen für die Kabelarmaturen vorzusehen.

## 9. Signalisierung, Sprechverständigung und Nutzton

Die Kameraanlage muss bezüglich Signalisierung (Tally) und Sprechverständigung (Intercom) mit den Regiegeräten und Kommandoanlagen zusammenschaltet werden können.

### 9.1 Signalisierung

An der Kamera vom Typ 2, der zugehörigen Basisstation und an den Haupt- bzw. Betriebsbediengeräten müssen mindestens zwei unterschiedlich gefärbte optische Signalisierungseinrichtungen in den Farben Rot und Grün bzw. Gelb vorhanden sein.

An Studiokameras müssen die roten Signalisierungseinrichtungen mehrfach angebracht sein. Die nach vorn strahlende rote Lampe muss, auch bei Verwendung extrem großer Objektive, deutlich sichtbar sein. Sie soll auch am Objektiv gut sichtbar angebracht sein. Diese nach vorn strahlende Signalisierungseinrichtung muss getrennt abschaltbar und dimmbar sein. Ein Ausgang für eine separate Rotlichteinheit muss an der Kamera angebracht sein.

Bei tragbaren Kameras vom Typ 3. und 4. muss das Rotlicht mit der Aufzeichnung gekoppelt sein.

An der Kamera und an den Bediengeräten ist eine Ruftaste (Call) vorzusehen um einen Gesprächswunsch signalisieren zu können. Kamera- und bediengerätseitig soll die Signalisierung mittels Lichtsignal erfolgen. Am Haupt- bzw. am Nebenbediengerät ist zusätzlich ein abschaltbares akustisches Signal vorzusehen.

### 9.2 Sprechverständigung

Die Sprechverständigung an Kameras vom Typ 2. ist in Vierdrahttechnik auszuführen. An der Kamera sind zwei Anschlüsse für Sprechgarnituren anzubringen. Eine Lautstärkeregelung ist jeweils vorzusehen. An der Basisstation ist ein Anschluss für eine Verbindung zur Kommandoanlage vorzusehen. Es sollen leichte, geräuschkompensierte Sprechgarnituren verwendet werden. Bei Studiokameras ist eine getrennte Sprechverbindung Kameramann - Basisstation erforderlich. Eine getrennte Sprechverbindung Kameramann - Dollyfahrer ist erwünscht.

Die Mikrofone müssen an der Kamera abschaltbar sein. Ein Geräuschspannungsabstand von > 50 dB soll bei normaler Lautstärke (75 dB(A) in 10 cm Abstand) erreicht werden. Die Reserve in der Lautstärke muss so groß sein, dass eine Verständigung auch beim Zusammenschluss mehrerer Sprechstellen und bei einem Außengeräusch von 90 dB(A) noch möglich ist (100 dB(A) mit einem um 20 dB schalldämmenden Kopfhörer). Der rückgeführte Programmton muss über Kopfhörer an der Kamera abgehört werden können.

Bei Kameras vom Typ 3 und 4. entfällt ein Intercom-Kanal. Bei Kamerarecordern muss der aufgezeichnete Ton abgehört werden können.

Um die Bedingungen der VDE-0100 zu erfüllen, sind in der Sprechverbindung Übertrager mit entsprechender Prüfspannung zu verwenden (Vollschutz-Doppelisolierung).

### 9.3 Tonleitungen

Bei Kameras vom Typ 2 sind an der Kamera zwei Tonkanäle erforderlich. Bei Kameras vom Typ 3 und 4 sind mindestens zwei Eingänge für externe Tonkanäle vorzusehen. Die Tonkanäle müssen folgende Eigenschaften aufweisen:

Mikrofonwege:

Normpegel: +6dBu (entsprechend -9dBFS bei digitalen Schnittstellen)

Frequenzgang: 40Hz...18kHz (analog), 20Hz...20kHz (digital)

Leerkanalstörpegel: Quasi-peak (unbewertet) -54dBq

Quasi-peak (bewertet) -48dBqp

Klirrdämpfung (THD+N): > 46dB  
Verstärkung: 66dB (in 6dB-Schritten schaltbar)  
Phantomspeisung: 48V (schaltbar)

Für Kameratyp 2 zusätzlich:

Kommandowege (Intercom):  
Normpegel: +6dBu  
Frequenzgang: 120Hz...6kHz  
Leerkanalstörpegel: Quasi-peak (unbewertet) -50dBq  
Quasi-peak (bewertet) -44dBq  
Klirrdämpfung (THD+N): > 40dB

## 10. Batterien, Netzadapter, Netzgeräte

Grundsätzlich gelten für alle Kameratypen die Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG.

Die Anforderungen für die interne Netzgeräte, Netzadapter und Ladegeräte sind der DIN EN 61558 zu entnehmen. (siehe auch Pflichtenheft 3.1- 8.2, Abschnitt 1.5).

Elektronische Netzeinheiten müssen mit passenden Filtern ausgerüstet sein, damit weitgehend sinusförmige Ströme aus dem Netz aufgenommen werden.  
(siehe auch DIN EN 55 103-2)

Die Bestimmungen des Batteriegesetzes (BattG) müssen beachtet werden.

## 11. Normen

### **Recommendation ITU-R BT.601**

#### ***Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and Wide-Screen 16:9 Aspect Ratios***

Diese Empfehlung enthält die Festlegungen für die digitale Kodierung von Videosignalen. Sie spezifiziert den digitalen Studiostandard, der auch mit den Begriffen – Transparent, 601, SDI, etc. – ausgedrückt wird. In den ARD/ZDF-Richtlinien wird für den digitalen Studiostandard meist der Begriff DSC 270, Digitale Serielle Komponenten mit 270 Mbit/s verwendet.

### **Recommendation ITU-R BT.656**

#### ***Interface for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4 :2 :2 level of Recommendation ITU-R BT.601 (Part A)***

Diese Empfehlung beschreibt die Schnittstelle für den Austausch von digitalen Komponentensignalen nach ITU-R BT.601.

### **Recommendation ITU-R BT.709 -Teil 2**

#### ***Parameter values for the HDTV\* standards for production and international programme exchange***

Diese Empfehlung enthält die Festlegungen für die digitale Kodierung von HD-Videosignalen. Sie teilt sich in zwei Teile auf, dem ersten Teil mit den Spezifikationen für systemrelevanten Parameter des konventionellen Fernsehsystems 1125/60/2:1 und des 1250/50/2:1. Der zweite Teil spezifiziert die systemrelevanten Parameter für das HDTV-System mit quadratischen Pixeln (square pixel common image format)

### **Recommendation ITU-R BT1120**

#### ***Digital interfaces for HDTV studio signals***

Diese Empfehlung beschreibt die Schnittstelle für den Austausch von digitalen Komponentensignalen nach ITU-R BT.709

Sie teilt sich in zwei Teile auf, dem ersten Teil mit den Spezifikationen für die Schnittstelle für HDTV-Signale gemäß Recommendation ITU-R BT.709-Teil 1. Der zweite Teil spezifiziert die Schnittstelle für HDTV-Signale gemäß Recommendation ITU-R BT.709-Teil 2.

**12. Quellenverzeichnis**

- [1] Dr. Hans Kiening, FKT 8-9/2010,  
Beyond 4K Teil II: Prüfanweisung für DSLR-/DMP-Kameras
- [2] Technische Richtlinie 8/4, Dez. 1995, Farbfernseh-Kameraanlagen

13. Anhänge

13.1 Anhang 1: Geräuschpegel - Grenzwerte

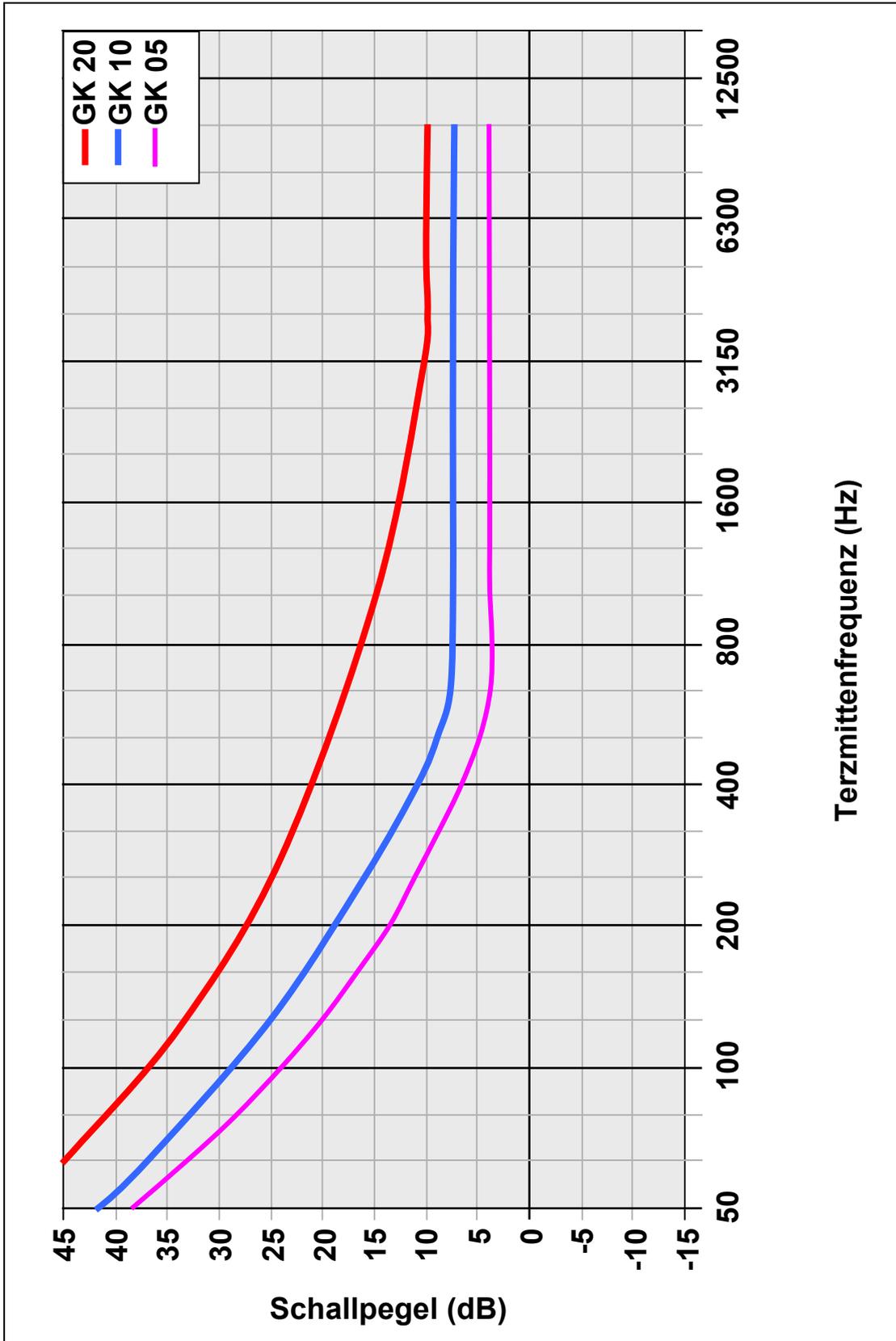


Bild 13.1: Geräuschpegel je Terzbereich

13.2 Anhang 2: Normierte Spektralwertkurven

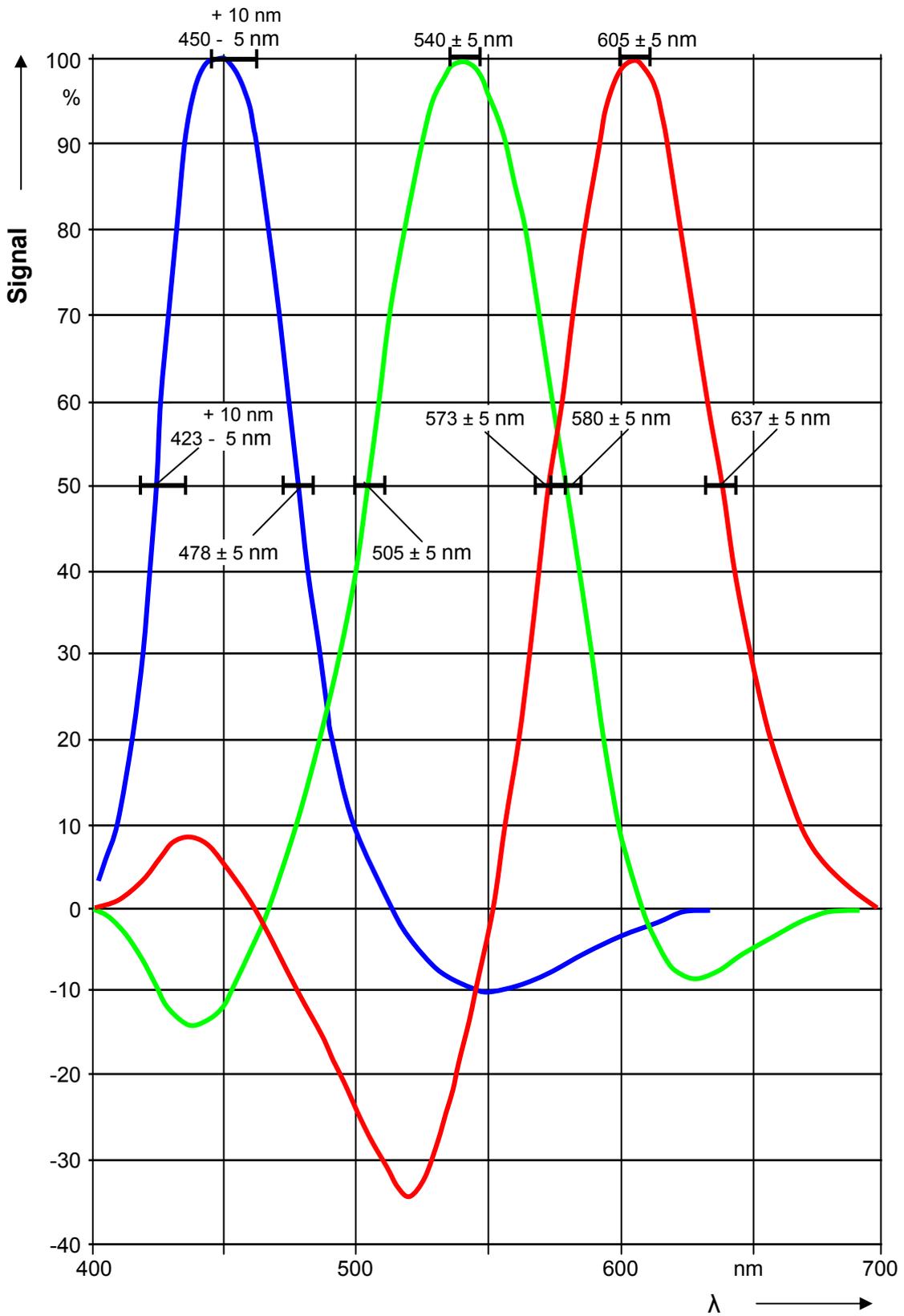


Bild 13.2: Normierte Spektralwertkurve und Toleranzen für Aufnahmekurven von Farbfernseh -Kameras

13.3 Anhang 3: Farborte der EBU-Testfarben

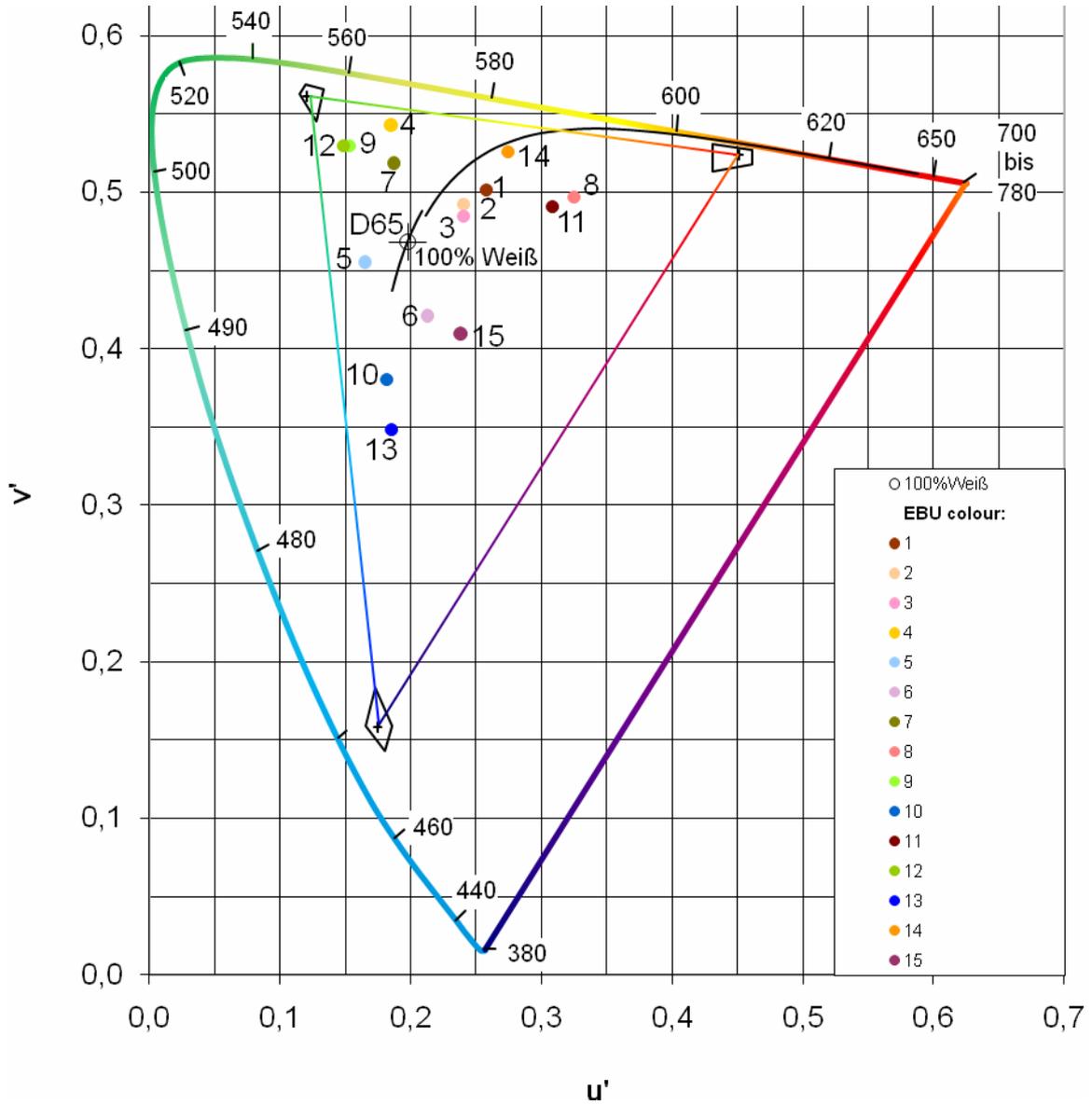


Bild 13.3: Lage der EBU Testfarben im CIE-UCS-Diagramm

## 13.4 Anhang 4: Bewertungszonen im Bild

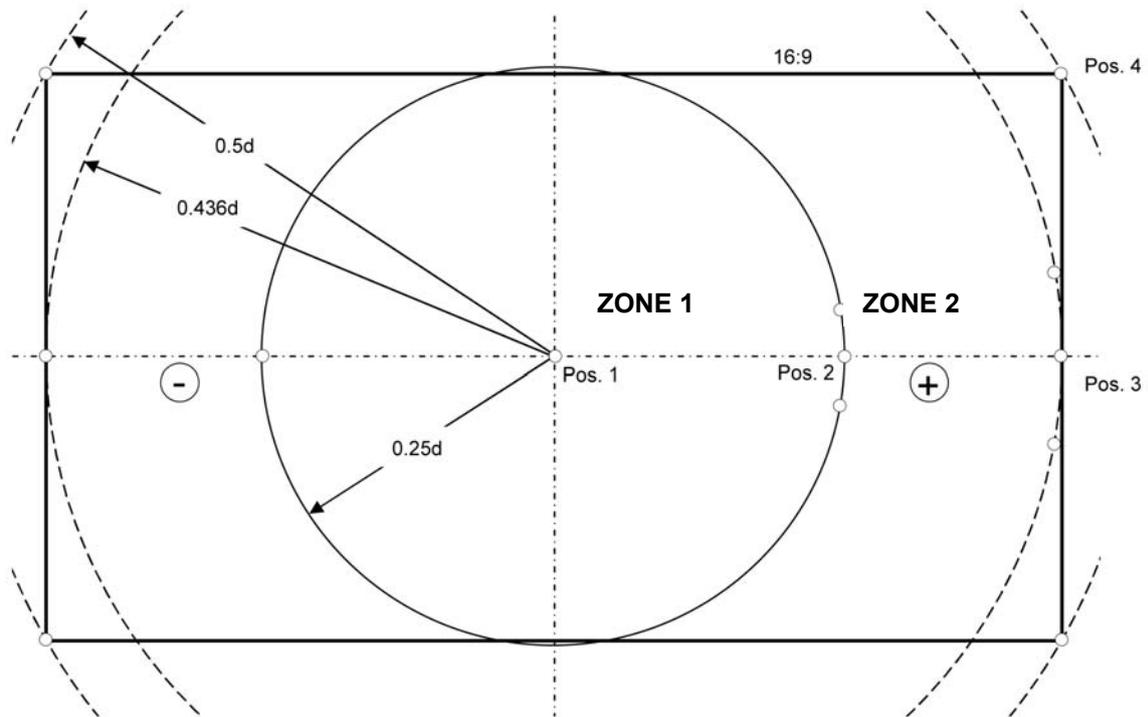


Bild 13.4: Einteilung der Bewertungszonen im Bild

### 13.5 Anhang 5: Messverfahren

Zur Exemplar-/Typenprüfung bzw. zu vergleichenden Kamerauntersuchungen ist ein erweitertes Messverfahren [1] sinnvoll.

Digitale Kamerasysteme mit einer „nativen“ Empfindlichkeit zu beschreiben ist nur dann möglich wenn sichergestellt ist, dass das verfügbare Signal eindeutig linear ist. Auch bei einer Einstellung von 0 dB ist zu überprüfen, ob der OECF-Verlauf tatsächlich über den ganzen Dynamikbereich linear verläuft.

Aus diesem Grund wurde von ARRI das nachfolgende Messverfahren entwickelt, das die Eigenschaften des Kameraaufnahmesystems genauer und vergleichbarer darstellt.

Der Messaufbau ist im **Bild 13.5** dargestellt. Das benötigte Testbild im Anhang 6: Testbilder zu finden.

Um reproduzierbare, vergleichende Messungen durchführen zu können, muss vor allem auf die Einhaltung gleicher Versuchsbedingung geachtet werden. Vorzugsweise sollte dasselbe Objektiv, bei gleicher Blende verwendet werden. Anzahl, Ort, Geometrie und Beschaffenheit jeder einzelnen reflektierenden Oberfläche beeinflussen das Streulicht und somit die gemessene Dynamik und sollte deshalb vermieden werden. Bedingt durch die Größe des Testbilds und der Aperturen empfiehlt es sich, ein Objektiv mit möglichst langer Brennweite zu verwenden.

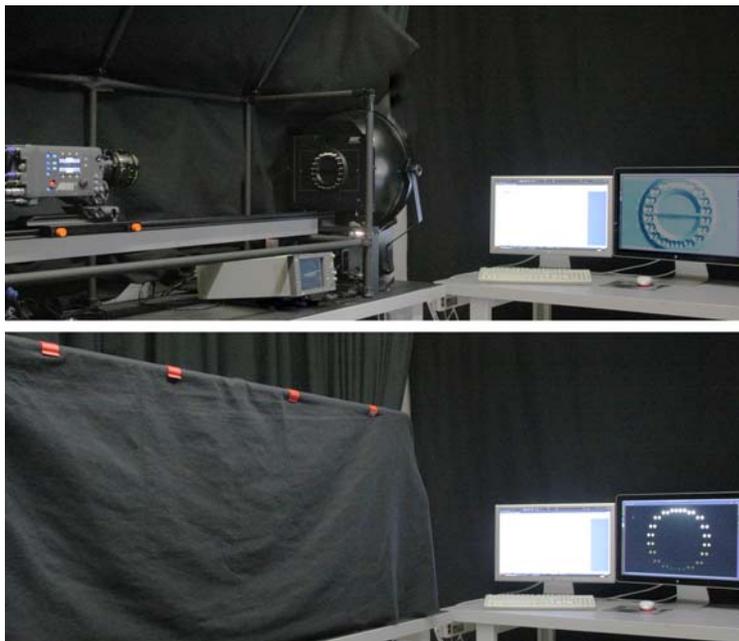


Bild 13.5 Messaufbau zur Messung des Dynamik-Bereiches einer Kamera

Empfindlichkeit ist der Abstand vom Arbeitspunkt M in Richtung geringer Objekthelligkeit bis zu Punkt S (Schwellwert), ab dem das digitale Signal das erste Mal in der Lage ist, örtliche Information zu übertragen. Mathematisch ist dieser Punkt erreicht wenn das Verhältnis von Rausch- und Signalpegel größer 1 oder 0 dB ist. Der Abstand M zu S wird in optischen Blenden angegeben. (siehe **Bild 13.6**)

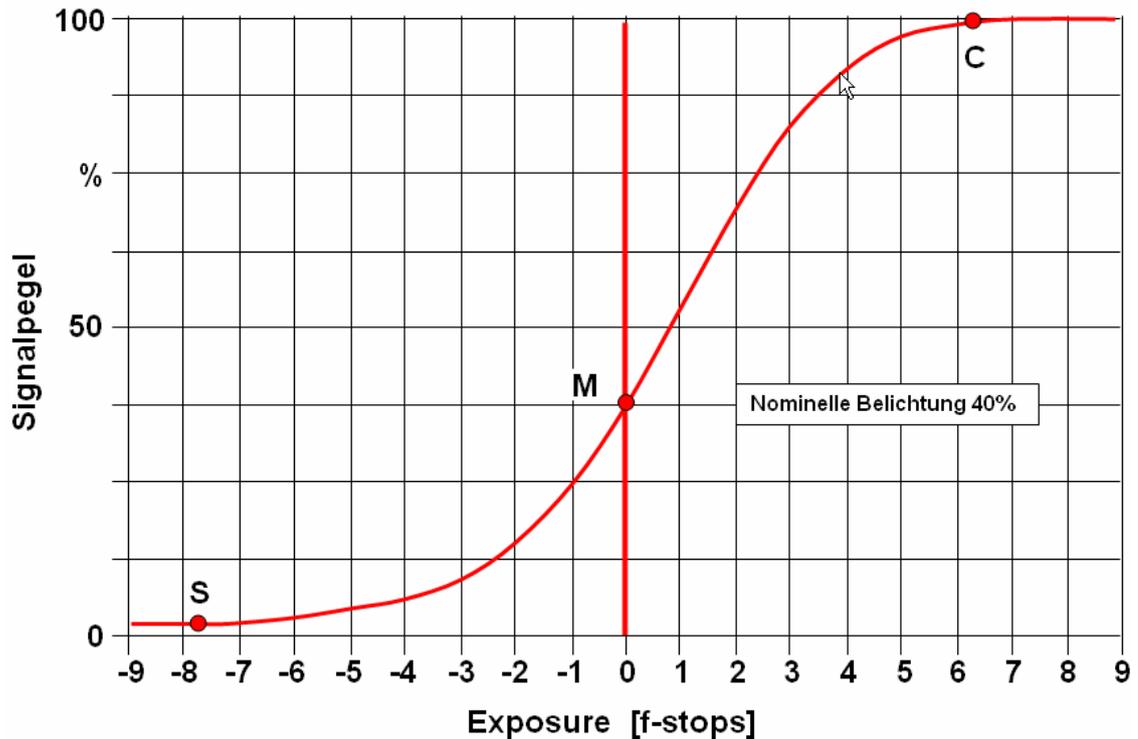


Bild 13.6: Schwellwert (Empfindlichkeitspunkt) S, Arbeitspunkt M und Clipping-Punkt C in der OECF

#### Ermittlung der nominelle Belichtung bzw. des Arbeitspunkt M

Die Leuchtdichte einer neutralen grauen Fläche (18 % Grau) wird so eingestellt, dass der Signalausgang der Kamera einen Signalpegel von 40% ( $414_{\text{dez}}$  bzw.  $19E_{\text{hex}}$ ) erzeugt. Die Kamera ist dabei auf 0 dB Verstärkung und mit einer Belichtungszeit entsprechend der verwendeten Bildwechselfrequenz einzustellen. Damit ist der Arbeitspunkt M der Kamera festgelegt.

Der Zusammenhang zwischen nomineller Leuchtdichte  $L_{\text{nom}}$  [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ], dem eingestellten Rating (bisher als „Empfindlichkeit“ bezeichnet) der Kamera EI [ASA, ISO oder EI], Belichtungszeit  $t$  [sec] und der effektiver Blendenzahl  $A_{\text{eff}}$  [T-Stop] kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$L_{\text{nom}} = \frac{12,5 \cdot A_{\text{eff}}^2}{EI \cdot t} \left[ \frac{\text{cd}^2}{\text{m}^2} \right]$$

Bei Bewegtbildkameras mit Sektorenblende ergibt sich die Belichtungszeit  $t$  [sec] aus dem Öffnungswinkel der Sektorenblende  $\alpha$  [°] und der Bildfrequenz  $B$  [fps]:

$$t = \frac{\alpha}{B \cdot 360^\circ} [\text{sec}]$$

### Ermittlung des Schwellwertes S

Der Schwellwertpunkt S ist diejenige Objekthelligkeit ab dem das digitale Signal das erste Mal in der Lage ist, örtliche Information zu übertragen. Ab einem Signal-Störabstand von 0 dB kann das Signal erkennbar spatiale Information bis zur Hälfte der Bandbegrenzung darstellen.

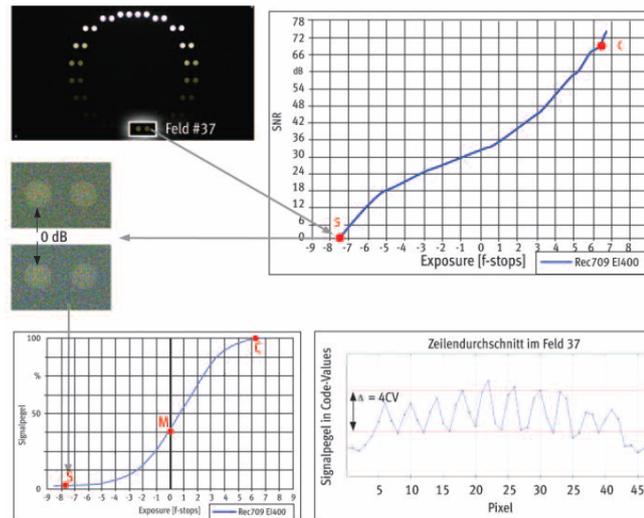


Bild 13.7: Auswertung des ARRI-Dynamik-Testbildes

Die Berechnung des Signal-Störabstandes erfolgt analog der Formel:

$$SNR = 20 \cdot \lg \frac{\text{Signalpegel}}{\text{Rauschpegel}}$$

### Ermittlung des Clippwertes C

Der Clippwert ist erreicht, wenn eine Zunahme der Leuchtdichte keine Zunahme des Signalpegels am Ausgang zur Folge hat. Ist der Clipping-Punkt C erreicht, so wird das Rauschen unendlich klein, die Steigung der SNR-Kurve kippt nach unendlich.

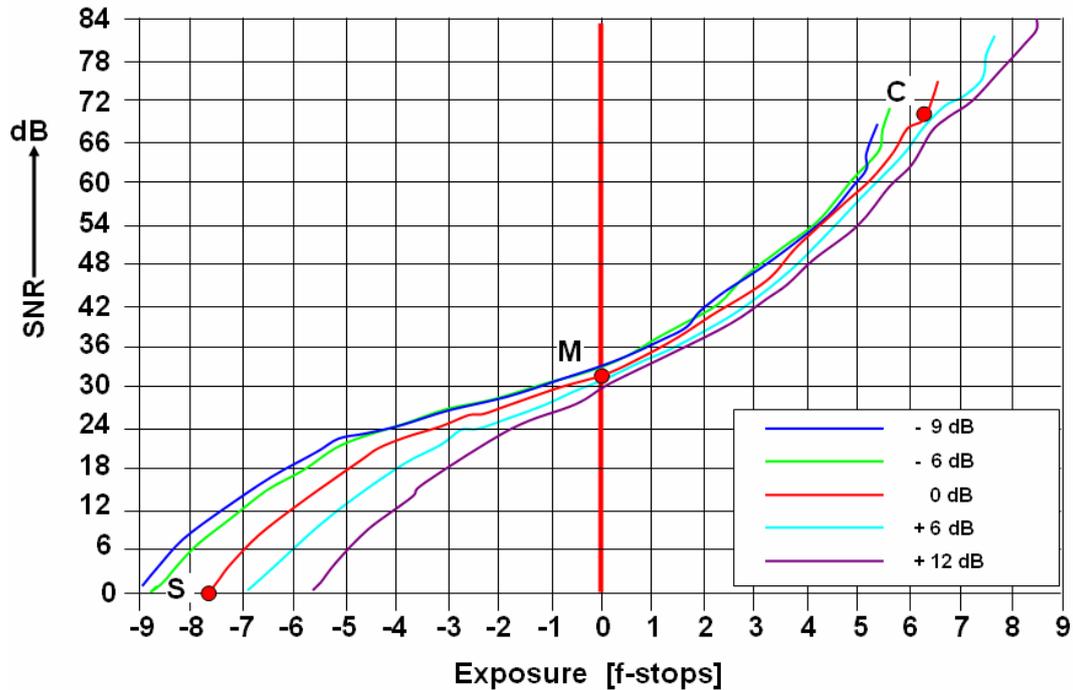


Bild 13.8: Beispiel: Signal-Rausch-Abstand in Abhängigkeit von der Blende und der Verstärkung

### Berechnung der Dynamik

Dynamik ist der Abstand vom Schwellwert S bis zum Clipping C in Blendenstufen.

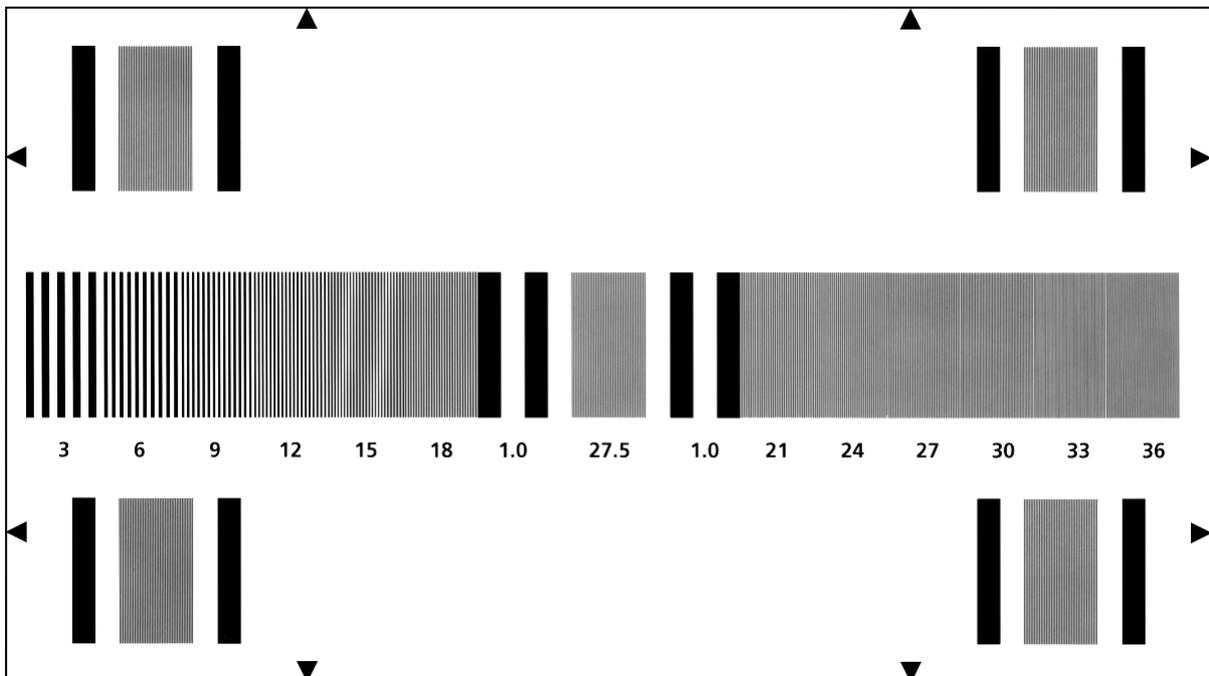
Die sensitometrische Beschreibung eines Kamerasystems erfolgt über die Angabe des Bereichs der maximalen Dynamik oder explizit für ein Rating oder den einstellbaren dB-Wert an der Broadcastkamera.

13.6 Anhang 6: Testbilder

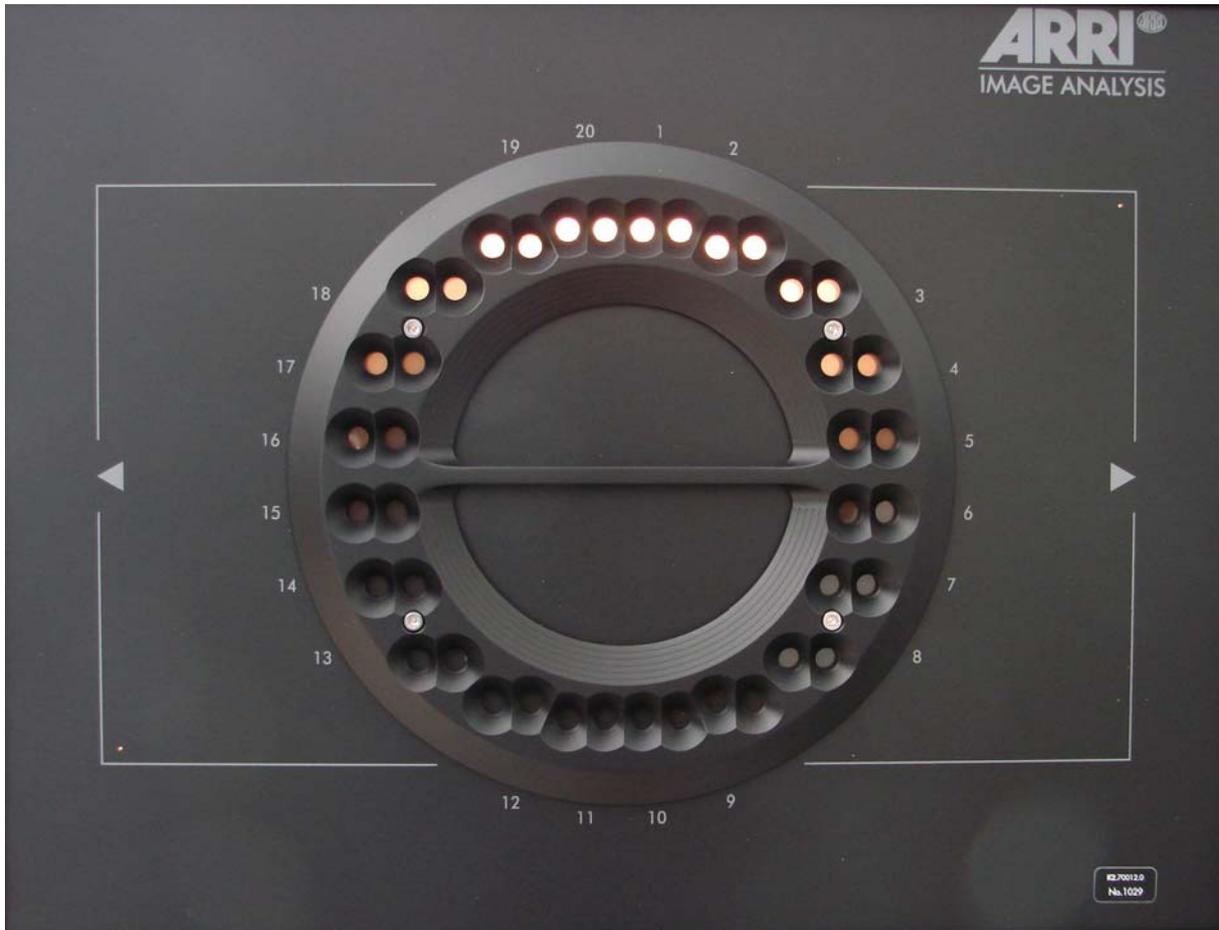
Testbild T7 für SD



Testbild T 239



Dynamik-Testbild der Firma ARRI



## 13.7 Anhang 7: Umrechnungsformeln

### 13.7.1 Berechnung von u' und v' aus dem HD-SDI-Signal

Die im folgenden angegebenen Referenzen aus der ITU beziehen sich auf die ITU-R BT.709-5 Part 2.

#### Umrechnung der digitalen Y', C'R, C'B -Werte in normierte E'Y, E'CR, E'CB -Werte

Gemäß ITU-R BT.709 Part 2 Absatz 5.6 sind folgende Wertebereiche für Luminanz und Chrominanz spezifiziert.

Wertebereich der Luminanz Y' für das nominelle Y Signal im 10bit-system:

Schwarzwert: 64 entspricht 0% Luminanzpegel

Weißwert: 940 entspricht 100% Luminanzpegel

$$E'_Y = \frac{(Y' - 64)}{876}$$

Wertebereich der Chrominanz C' für das nominelle Chrominanz-Signal im 10bit-system:

Minimaler Chrominanzwert : 64 entspricht -50% Chromapegel

Unbuntwert: 512 entspricht 0% Chromapegel

Maximaler Chrominanzwert : 960 entspricht +50% Chromapegel

$$E'_{CR} = \frac{(C'_R - 512)}{896}$$

$$E'_{CB} = \frac{(C'_B - 512)}{896}$$

#### Berechnung der normierten E'R, E'G, E'B -Werte aus den normierten E'Y, E'CR, E'CB -Werte

Gemäß ITU-R BT709 Part 2 Absatz 3.2 und 3.3 sind die Komponentenmatizierungsformeln für E'Y, E'CR, E'CB wie folgt spezifiziert:

$$E'_Y = 0,2126E'_R + 0,7152E'_G + 0,0722E'_B$$

$$E'_{CB} = \frac{(E'_B - E'_Y)}{1,8556}$$

$$E'_{CR} = \frac{(E'_R - E'_Y)}{1,5748}$$

Nach Umstellung der Formeln ergibt sich für E'R, E'G und E'B folgende Formel:

$$E'_G = E'_Y - 0,4681E'_{CR} - 0,1873E'_{CB}$$

$$E'_B = E'_Y + 1,8556E'_{CB}$$

$$E'_R = E'_Y + 1,5748E'_{CR}$$

Bei allen Werten mit hochgestellten Strich (z.B. E') handelt es sich um gammavorentzernte Signale.

### Berechnung der normierten linearen $E_R$ -, $E_G$ , $E_B$ –Werte aus den gammavorentzerten $E'_R$ , $E'_G$ , $E'_B$ –Werte

Gemäß ITU-R BT709 Part 2 Absatz 1.2 ist die Gammaentzerrung wie folgt spezifiziert :

$$\begin{aligned} V &= 1,099L^{0,45} - 0,099 && \text{für } 1 \geq L \geq 0,018 \\ V &= 4,500L && \text{für } 0,018 \geq L \geq 0 \end{aligned}$$

Wobei L dem aufgenommenen Licht der Szene entspricht und V das daraus resultierende elektrische Signal repräsentiert.

Um aus einem gegebenen elektrischen Signal das verursachende Licht der Szene zu bekommen muss die Gleichung nur entsprechend umgestellt werden.

$$\begin{aligned} L &= \left( \frac{(V + 0,099)}{1,099} \right)^{\frac{1}{0,45}} && \text{für } 1 \geq V \geq 0,08125 \\ L &= 0,22222V && \text{für } 0,08125 \geq V \geq 0 \end{aligned}$$

Für V und L werden die Farbauszugssignale eingesetzt. Somit ergibt sich für die normierten linearen Farbauszugssignale folgende Formeln:

$$\begin{aligned} E_R &= \left( \frac{(E'_R + 0,099)}{1,099} \right)^{2,2222} && \text{für } 1 \geq E'_R \geq 0,08125 \\ E_R &= 0,22222E'_R && \text{für } 0,08125 \geq E'_R \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_G &= \left( \frac{(E'_G + 0,099)}{1,099} \right)^{2,2222} && \text{für } 1 \geq E'_G \geq 0,08125 \\ E_G &= 0,22222E'_G && \text{für } 0,08125 \geq E'_G \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_B &= \left( \frac{(E'_B + 0,099)}{1,099} \right)^{2,2222} && \text{für } 1 \geq E'_B \geq 0,08125 \\ E_B &= 0,22222E'_B && \text{für } 0,08125 \geq E'_B \geq 0 \end{aligned}$$

### Berechnung der CIE-1931-XYZ-Werte aus den linearen $E_R$ , $E_G$ , $E_B$ -Werten

Die aus der CIE 1931 genommen Transformationsgleichung für die Transformation von linearen RGB- Werten in CIE 1931-XYZ-Werte lautet:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4124 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2126 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Daraus ergeben sich für XYZ folgende Formeln

$$X = 0,4124E_R + 0,3576E_G + 0,1805E_B$$

$$Y = 0,2126E_R + 0,7152E_G + 0,0722E_B$$

$$Z = 0,0193E_R + 0,1192E_G + 0,9505E_B$$

**Berechnung der  $u'$  und  $v'$  -Werte aus den CIE-1931-XYZ -Werten**

Die Bezeichnungen  $u'$  und  $v'$  sind die Koordinatenachsen eines auf Gleichabständigkeit der Farben verzerrten zweidimensionalen Koordinatensystems. Dabei dient der hochgestellte Strich in diesem Fall nur zur Unterscheidung ob die dritte Dimension, die Luminanzachse, im Diagramm berücksichtigt ist oder nicht und hat damit nichts zu tun mit der Gammakennlinie. Bei den Koordinatenachsen  $u'$  und  $v'$  ist die Luminanzachse nicht berücksichtigt, während in Diagrammen mit den Koordinatenachsen  $u^*$  und  $v^*$  die Luminanzänderungen in den Werten mit einbezogen sind.

Gemäß CIE-1931 lässt sich  $u'$  und  $v'$  nach folgender Formel errechnen:

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

**Berechnung der  $u^*$  und  $v^*$  -Werte aus den CIE-1931-XYZ -Werten**

Gemäß CIE-1976 lässt sich  $u^*$  und  $v^*$  nach folgender Formel errechnen:

$$u^* = 13L^* (u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^* (v' - v'_n)$$

Wobei  $u'_n$  und  $v'_n$  die normierte Farbart am Weißpunkt D65 sind.  
( $u'_{D65} = 0.1978$  ;  $v'_{D65} = 0.4683$ )

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

Wobei  $Y_n$  der normierte Y-Wert am Weißpunkt D65 ist.