

Rec. 709 Farbraum

Englisch: Recommendation 709 / ITU-R BT.709

KAMERA/TECHNIK

Standardfarbraum und Gamma-Kurve für hochauflösendes Fernsehen (HDTV) und SDR-Ausstrahlung, der RGB-Primärfarben, Weißpunkt und Übertragungsfunktion für normalisierte Farbwiedergabe definiert.

Definition Rec. 709 (ITU-R BT.709, auch als "BT.709" bekannt) ist der international standardisierte Farbraum für hochauflösendes Fernsehen (HDTV) und SDR-Distribution. Der Standard definiert: RGB-Primärfarben : Spezifische Lichtwellenlängen für Rot, Grün und Blau Weißpunkt : D65 (Tageslicht, 6500K) Gamma-Kurve : 2.4 (mit spezifischen Black-Lift-Details) Dynamischer Bereich : ~12 Stops für Standard Dynamic Range Der Standard wurde 1990 von der International Telecommunication Union etabliert und ist bis heute der dominante Standard für Broadcast und Streaming. Technische Spezifikationen RGB-Primärfarben Die Rec.709-Primärfarben im CIE 1931 xy-Farbraum: Farbe x y Wellenlänge Rot (R) 0.64 0.33 ~700nm Grün (G) 0.29 0.60 ~546nm Blau (B) 0.15 0.06 ~435nm Weißpunkt (D65) 0.3127 0.3290 6500K Gamut-Vergleich: Farbraum Gamutvolumen Anwendung sRGB ~43% (Referenz) Web, Consumer Electronics Rec.709 ~44% (leicht größer als sRGB) HDTV, Broadcast, Streaming DCI-P3 ~56% Kino, Digital Cinema Rec.2020 ~76% Ultra HD, HDR Adobe RGB ~52% Photography, Print Rec.709 ist nur 2% größer als sRGB, beide definieren ~44% des menschlichen Farbraums. Gamma-Kurve (OECF - Opto-Electronic Conversion Function) Die Rec.709-Gamma-Kurve ist komplexer als einfach 2.4: $V = 4.5 * L$ (für $L \leq 0.018$) $V = 1.09 * L^{(1/2.2)} - 0.09$ (für $L > 0.018$) Komponenten: Linear-Bereich : Für sehr dunkle Werte ($L < 0.018$) bleibt die Kurve linear Power-Funktion : $1/2.2 \approx 0.45$ für höhere Werte Lift : -0.09 schwarze Niveaus, 1.09 Skalierung für Weiß Praktische Implikation : Der Linear-Bereich verhindert "Black Crush" und bewahrt Shadow-Details. Nicht-lineares Gamut (Rec.709 als Display-Space) Rec.709 ist ein Display-referenzierter Farbraum: Output-Gerät : Fernsehmonitor oder sRGB-Monitor angenommen Gamma : 2.4 ist die typische Monitor-Gamma Black Level : 0 IRE (International Radio Consultative Committee) White Level : 100 IRE Workflow und Anwendung In der Kameraproduktion On-Set-Monitoring: Externe Monitore (SmallHD, Atomos) werden in Rec.709 angesteuert LUTs konvertieren Log-Footage zu Rec.709 für Vorschau Waveform und Histogramm zeigen Rec.709-Grenzen Spezifikation für HDV/AVC-Codecs: Viele Prosumer-Kameras (Sony HDV, Panasonic HVX) nutzen Rec.709 direkt Broadcast-Standard seit Anfang 2000er In DaVinci Resolve Projekt-Setup für Rec.709: Projekt Settings > Color Management - Input Color Space: Kamera-spezifisch (Red, Arri, Sony) oder Rec.709 (für bereits kodierte Material) - Timeline Color Space: DaVinci Wide Gamut RGB (intern) - Output Color Space: Rec.709 - Display: Rec.709 mit gamma 2.4 Timeline-Konfiguration: Neue Sequenz in Rec.709 erstellen Log-Footage: Input-Transform auf richtige Log-Format setzen Rec.709-Footage: Direkt in Timeline verwenden Grading durchführen im internen Wide Gamut RGB Output zu Rec.709 konvertieren Qualitätskontrolle in DaVinci: Scope: Waveform Monitor auf Rec.709-Grenzen überprüfen Vectorscope: Farbwerte visualisieren Parade: RGB-Kanäle einzeln überprüfen Adobe Premiere Pro und After Effects Lumetri Color Integration: Rec.709 ist Standard-Farbraum in neueren Versionen Project Settings > Assign Profile für Input und Output Mercury Engine mit GPU-beschleunigter Rec.709-Konvertierung Streaming-Plattformen und ihre Rec.709 Anforderungen Plattform Spezifikation

Besonderheiten Netflix Rec.709 SDR, Rec.2020 HDR Strict gamut-checking, -4dBFS Black Level YouTube Rec.709, Rec.2020 HDR Automatische Konvertierung, weniger streng Vimeo Rec.709, Rec.2020 Pro-Nutzer können beide hochladen Fernsehen (EBU) Rec.709 mit 18% Grau -40dBFS Schwarz (Foot), 0dBFS Weiß DVD ITU.R 601 (MPEG-2) Älterer Standard, Rec.709-kompatibel Gamma-Korrekturen und Rec.709-Einhaltung Gamma-Fehler und Korrekturen Common Issues: Zu niedriges Gamma (< 2.2): Dunkler wirkend auf Standard-Monitoren Zu hohes Gamma (> 2.6): Ausgewaschen wirkend Inkonsistente Gamma : Unterschiedlich über verschiedene Clips Lösung in DaVinci: Node 1: Offset / Gain / Gamma (Lift/Gamma/Gain Wheels) Node 2: Curve für präzise Gamma-Anpassung Node 3: Monitor für Rec.709-Überprüfung Black Level und Foot-Management Rec.709 Spezifikation: Video-Black : 64 (8-bit) oder 0.04 (Normalized) Video-White : 940 (8-bit) oder 0.94 (Normalized) Headroom : 16 Werte über White Footroom : 4 Werte unter Black Broadcast-Compliance: Keine Werte unter Video-Black (Clipping in Broadcast) Keine Werte über Video-White (Übersteuerung) Black-Crushing vermeiden (unter Video-Black) Gamut Mapping und Clipping Rec.709-Gamut-Grenzen Farben außerhalb des Rec.709-Gamut müssen behandelt werden: Ursachen: Log-Footage mit größerem nativen Gamut (z.B. Arri Wide Gamut) Kreative Grading, die außerhalb des Gamut geht Motion Graphics mit saturierten Farben Lösungen: Soft Clipping : Nicht-lineare Kurve, die extreme Farben reduziert Gamut Mapping : Intelligente Kompression auf Rec.709 Hue-Shift Correction : Farbtöne erhalten, Sättigung reduzieren Manual Adjustment : Sekundäre Farbkorrekturen mit Saturation-Reduktion DaVinci Resolve Gamut Mapping: Curve Node mit eingebautem Gamut-Mapping Color Range Isolationen für selektives Gamut-Mapping Manual Power Windows für problematische Farbbereiche Häufige Fehler und Lösungen Fehler Ursache Lösung Haut-Farben zu rot/magenta Gamut Overflow in Rec.709 Sekundär: Rot-Range Saturation reduzieren Black Crush (keine Shadow-Details) Zu aggressive Schwarz-Anpassung Curve Node mit linearem Schwarzbereich nutzen Flaues Bild Zu niedriges Gamma Gamma-Anpassung durchführen, Kurve für Kontrast Unterschiedliche Farben auf verschiedenen Monitoren Monitor nicht kalibriert Monitor mit Colorimeter kalibrieren Clipping beim Export Falsche Output-Spezifikation 16-bit Integer oder 32-bit Float für archival Praktische Szenarien Szenario 1: Broadcast-Delivery mit Compliance-Check Produktion muss auf ein Fernsehsender geliefert werden: Projekt auf Rec.709 SDR eingestellt Black Level: -40 to 0 (Foot) White Level: 0 to +6 (Headroom) Scope mit Rec.709-Grenzen überprüfen Export mit richtiger Codec (HD 1920x1080, 50i oder 59.94i je nach Land) Szenario 2: Mehrfach-Format-Delivery (SDR + HDR) Master in Rec.709 SDR graden (Broadcast-Standard) Separat eine Rec.2020 HDR-Version erstellen HDR-Version mit erweitertem Gamut und Dynamik-Bereich Beide Versionen als separate Deliverables Szenario 3: Color-Matching über Crews Multi-Day Dreharbeiten mit gleichem Ort und Darsteller: Referenz-Shot auf Tag 1 in Rec.709 etablieren Alle anderen Szenen gegen diese Referenz matchen Rec.709 Scope und Vectorscope für Konsistenz-Kontrolle Fine-Tuning der Farbbalance über mehrere Days Monitoring und Kalibrierung Monitor-Kalibrierung für Rec.709 Hardware: Monitor : Broadcast-Monitor oder kalibrierter sRGB-Monitor Colorimeter : X-Rite i1Display Pro oder Datacolor SpyderX Light Meter : Für Raumbelichtung (optionale 50 Lux empfohlen) Prozess: Monitor 30 Minuten aufwärmen Raumbelichtung auf Standard-Level (50 Lux) Colorimeter initialisieren Gamma 2.4, White Point D65 setzen Regelmäßig (alle 2 Wochen) kalibrieren Kalibrierungs-Validierung Test Pattern überprüfen: Gray Ramp : 0-100 IRE ohne Banding Color Bars : Standardisierte Farbbalken Black Level : Subtile Details sichtbar, kein Crush White Level : Keine Übersteuerung, Headroom sichtbar Zusammenfassung Rec.709 ist der wichtigste Farbraum für modernen Broadcast, Streaming und digitale Distribution. Seine Einhaltung ist essentiell für professionelle Produktionen. Die richtige Kalibrierung, Gamut-Einhaltung und Gamma-Handling sind

kritisch für konsistente Ergebnisse über verschiedene Ausgabegeräte. Aktuelles In der digitalen Postproduktion gewinnt die Konvertierung zwischen verschiedenen Farbräumen an Bedeutung. Besonders die Umwandlung von HDR-Material im BT.2020-Farbraum mit ST.2084 (PQ) Transfer-Charakteristik zu SDR Rec. 709 erfordert spezielle Workflows, um Farbgenauigkeit und Bildqualität zu erhalten. Diese Konvertierungen sind essentiell für die Auslieferung von Inhalten an verschiedene Plattformen und Endgeräte.

FilmFarm - filmfarm.de/c/rec709