

Dynamikumfang in Stops

Englisch: Dynamic Range

KAMERA/TECHNIK

Der Dynamikumfang (Dynamic Range) misst die Fähigkeit eines Sensors, gleichzeitig sehr helle und sehr dunkle Bereiche zu erfassen, gemessen in Blendenstufen (Stops) von reiner Schwarz zu reinem Weiß.

Definition Dynamikumfang (englisch: Dynamic Range oder DR) ist die Fähigkeit eines Kamera-Sensors, gleichzeitig sehr helle und sehr dunkle Bereiche mit Detailinformationen zu erfassen. Gemessen wird dies in Blendenstufen (Stops), wobei jede Stufe eine Verdopplung oder Halbierung der Helligkeit darstellt. Ein Sensor mit 14 Stops Dynamic Range kann beispielsweise: Den dunkelsten Bereich (Blacks) als reines Schwarz erfassen Den hellsten Bereich (Highlights) mit noch sichtbaren Details halten 14 Blendenstufen dazwischen fein abgestuft darstellen Physikalisches Prinzip Wie Dynamikumfang funktioniert Licht-Einfall auf Sensor: Sehr dunkel (Blacks): - Wenige Photonen treffen Pixel - Rauschen wird merklich - Unterhalb liegt: Schwarzpegel (Noise Floor) Dunkel (Shadows): - Mehr Photonen - Detailinformation sichtbar - Rauschen noch relevant Mitteltöne: - Optimales Signal-to-Noise Ratio - Maximale Detailinformation Hell (Highlights): - Viele Photonen - Aber: Pixel kann nur endlich viel speichern - Überschuss = Clipping (Übersteuerung) Sehr hell (Blow-Out): - Pixel ist voll = Pure White - Keine Detailinformation mehr - Oberhalb liegt: Maximum Saturation Level Mathematische Definition Dynamic Range (dB) = $20 * \log_{10}(\text{Maximum Intensity} / \text{Noise Floor})$ Beispiel: ARRI Alexa Mini Maximum Intensity (Wellcapacity): 146,000 electrons Noise Floor: 100 electrons DR = $20 * \log_{10}(146,000 / 100) = 20 * \log_{10}(1460) = 20 * 3.164 = 63.28 \text{ dB}$? 10.5 Stops Umrechnung dB zu Stops: 1 Stop = 6.02 dB 14 Stops = 84.28 dB 16 Stops = 96.33 dB

Technische Spezifikationen Dynamic Range in modernen Kameras Kamera Sensor Format DR (Stops) DR (dB) Bemerkung ARRI Alexa Mini Super35 ~10.5 ~63 Gold Standard ARRI Alexa 35 Super35 ~14.5 ~87 Verbessert RED Komodo RED Dragon ~13-14 ~78-84 Variabel mit ISO Sony FX30 APS-C ~12 ~72 Intern gemessen Canon R5C Full Frame ~12 ~72 8K Raw Mode Blackmagic URSA Mini Pro Super35 ~12 ~72 Intern codec Raw vs. Codec Komprimierung Wichtiger Unterschied: ARRI Alexa 35 (verschiedene Aufnahmemodi): RAW (OpenEXR): - 16-Bit Floating Point - ~14.5 Stops verfügbar - Maximale Grading-Flexibilität ProRes 422 HQ: - 10-Bit YUV - ~12 Stops praktisch verfügbar - Weniger Grading-Spielraum Interner Codec: - 8-Bit komprimiert - ~11 Stops praktisch verfügbar - Minimale Grading-Flexibilität Praktische Auswirkungen 1. Shadow Detail Recovery Mit höherem DR können dunkle Bereiche gradiert werden: Szene: Dimly lit Interior (Kerzenlicht) ARRI Alexa Mini (10.5 Stops): - Schatten belichtet ? gerade noch sichtbar - Shadow Lift in Grading: +1-1.5 Stops - Resultat: Rausch wird merklich - Limit: ~10% Schatten-Details recoverable ARRI Alexa 35 (14.5 Stops): - Schatten belichtet ? reichlich sichtbar - Shadow Lift in Grading: +3 Stops - Resultat: Saubere Schatten, kein Rausch - Limit: ~30% Schatten-Details recoverable Praktische Folge: Alexa 35 erlaubt viel aggressivere Exposures 2. Highlight Preservation Höherer DR bedeutet mehr Spielraum bei Überbelichtung: Szene: Window Light Interior (Gegenlicht) ARRI Alexa Mini (10.5 Stops): - Fenster wird schnell übersteuert (Blown) - Recovery: ~0.5 Stops möglich (sehr begrenzt) - Meist: Fenster ist weiß (keine Details) ARRI Alexa 35 (14.5 Stops): - Fenster belichtet mit Details - Recovery: ~2 Stops möglich (deutlich besser) - Fenster-Details bleiben sichtbar RED

Komodo (13 Stops): - Zwischen beiden - Recovery: ~1.5 Stops (gut) 3. Kontrast und Tone Mapping DR beeinflusst die Tonalitäts-Abstufung: Beispiel: 256 Graustufen (8-Bit) über verschiedene DRs ARRI Alexa Mini (10.5 Stops): 10.5 Stops = 1024 discrete levels in 10-Bit = Fein abgestufte Grautöne, glatte Übergänge Sony FX30 (12 Stops): 12 Stops = 4096 discrete levels (10-Bit internal) = Noch feinere Abstufungen RED Komodo RAW (14 Stops): 14 Stops = 16384 discrete levels (14-Bit) = Extrem glatte Tonalität, keine Posterization Praktisch: Höheres DR = weniger Banding in Grading

Dynamikumfang in der Praxis Vorproduktion - Licht-Planung Szenario 1: High-Contrast Film Noir Look Gewünscht: 8:1 Lichtverhältnis (3 Stops Differenz) Mit ARRI Alexa Mini (10.5 Stops DR): - Key Light zu Fill Ratio: 8:1 optimal - Schatten noch sichtbar, nicht zu schwarz - Highlights noch Detail - Machbar, aber kritisch Mit ARRI Alexa 35 (14.5 Stops DR): - Kann mit 12:1 oder höher arbeiten - Mehr kreative Freiheit - Weniger Licht-Kompromisse - Flexibler bei Location-Limits

Dreharbeiten - Expositions-Strategie Metering-Ansätze je nach DR: 10.5 Stops DR (Alexa Mini): - Expose for Highlights ("Expose to the Right") - Shadow Details opfern um Übersteuerung zu vermeiden - Kritisches Metering erforderlich - Weniger Fehlertoleranz 14.5 Stops DR (Alexa 35): - Expose for Midtones (Normalbelichtung) - Beide Highlights und Shadows belichtet - Großzügigere Expositions-Toleranz - Mehr Sicherheit beim Drehen Praktisch: Höheres DR = weniger kritische Exposures am Set Nachproduktion - Grading Strategie Höheres DR bedeutet drastisch mehr Grading-Flexibilität: Szene: Braucht starken Kontrast-Boost Mit niedrigem DR (8-10 Stops, z.B. Consumer Codec): - Shadow Lift: +1 Stop max, Rausch wird merklich - Highlight Crush: -1 Stop max, Details weg - S-Kurve begrenzt - Posterization-Risiko: HOCH Mit hohem DR (14-16 Stops, z.B. RAW): - Shadow Lift: +3-4 Stops, saubere Schatten - Highlight Crush: -2-3 Stops, Details behalten - Aggressive S-Kurven möglich - Posterization-Risiko: Gering

Dynamic Range Klassifizierung Professionelle Kino-Standard (>12 Stops) ARRI Alexa Familie: - Alexa Mini: 10.5 Stops (etabliert, gut) - Alexa 35: 14.5 Stops (neu, besser) - Alexa LF: 14+ Stops (Large Format) RED Komodo/Dragon: - RAW Mode: 13-14 Stops (sehr detailliert) - Log Mode: 12 Stops (codec compressed) Charakteristik: ? Professionelle Grading möglich ? Große Licht-Flexibilität ? Standard für Kino-Produktion Hybrid Professionell (10-12 Stops) Beispiele: - ARRI Alexa Mini (10.5) - Sony FX30 (12 internal, 10 external codec) - Blackmagic URSA Mini (12) Charakteristik: ? Ausreichend für meiste Produktionen ? Gutes Preis/Qualitäts-Verhältnis ? Grading möglich aber mit Grenzen Consumer/Budget (<10 Stops) Beispiele: - GoPro Hero: 8-9 Stops - DJI Drones: 9-10 Stops - Smartphone Video: 8-10 Stops Charakteristik: ? Für Kino-Produktion nicht ausreichend ? Begrenzte Grading-Möglichkeiten ? OK für Social Media / Streaming

Messmethoden und Standards Wie wird Dynamic Range gemessen? Laborumgebung (ISO Standard 15739): 1. Test-Target (Graustufen von 0-255) 2. Kamera fotografiert Target 3. Messung der ausgegebenen Werte 4. Bestimmung des Noise Floor 5. Berechnung: $\text{Maximum} / \text{Noise} = \text{DR}$

Problem: Verschiedene Messpunkte geben verschiedene Ergebnisse - Manufacturers nutzen unterschiedliche Standards - Deshalb: ARRI gibt 10.5 Stops an, andere geben 12 an - Praktische Unterschiede: Weniger wichtig als Hersteller-Angaben Subjektive vs. Objektive Messung Objektive Messung (Labor): - Technisch präzise - ISO-konform - Aber: Nicht immer praktisch relevant Subjektive Evaluation (Praktiker): - Basierend auf tatsächliche Dreharbeiten - Was kann ich wirklich recovern? - Praxiserprobt, aber weniger quantifizierbar

Dynamic Range Tipps für Produktion Optimale Exposition Expositions-Regel für höchste DR Nutzung: 1. Expose to the Right (ETTR): - Highlights belichtet, aber nicht übersteuert - Nutzt den höchsten DR Bereich - Minimales Rauschen 2. Histogramm lesen: - Highlight Peak knapp vor Clipping - Shadow Detail deutlich sichtbar - Midtones natürlich verteilt 3. Monitor-Nutzung: - Waveform Monitor: Exakte Exposition -

Histogram: Verteilung prüfen - Zebra Pattern: Clipping erkennen Licht-Setup bei niedrigem DR Wenn Alexa Mini verfügbar (10.5 Stops): Szenario: High-Contrast Drama (gewünscht) Strategie: - Key Light Stärke: Moderate - Fill Light: Minimal (50-100 W Softwrap) - Shadows: Dunkel aber detailliert - Highlights: Knapp belichtet, aber sauber Result: Kompromiss zwischen Kontrast und Details Grading bei hohem DR Mit Alexa 35 (14.5 Stops RAW): Available Grade Range: - Shadows: +4-5 Stops vom Original möglich - Highlights: -2-3 Stops vom Original möglich - Midtones: $\pm 2-3$ Stops möglich - Gesamte S-Kurven: $\pm 4-5$ Stops Range Resultat: Extreme Grading Moves ohne Qualitätsverlust Zukunftsperspektive: DR der Zukunft Emerging Tech (2024-2026) SONY BURANO (Global Shutter): - DR: $\sim 16+$ Stops (geschätzt) - Speichert mehr Tonalität - Extreme Grading-Flexibilität - Aber: Höhere Wärme = praktische Limiten 8K RED Kameras: - Monstro: 16 Stops RAW - Ideal für Zoom-Reframing in Post - Massiver Speicherbedarf Physikalische Limits DR ist physikalisch limitiert: Praktische Obergrenze (Shannon-Theorem): Elektronische Rausch-Grenzen: $\sim 16-18$ Stops max Grund: Atomic-Level Noise bei sehr Low Levels Daher: - 10-12 Stops: Praktikabel und sauber - 14-16 Stops: Premium, mit Limits - >16 Stops: Theoretisch möglich, aber... sehr noisy bei Shadows Zusammenfassung: Praktische DR Matrix Kamera-Klasse DR-Range Licht-Flexibilität Grading-Spielraum Kosten Budget/Consumer 8-10 Sehr begrenzt Kaum möglich $< €5k$ Semi-Pro 11-12 Moderat Eingeschränkt $€5-20k$ Professional 13-14 Sehr gut Sehr flexibel $€20-100k$ Premium 14-16 Exzellent Grenzenlos $> €100k$ Siehe auch Base ISO – Native Empfindlichkeit beeinflusst DR Raw Recording – Maximaler DR mit RAW Log Gamma – Tonkurve zur DR-Optimierung Color Science – Tonal Mapping und DR Grading – Praktische DR-Nutzung ARRI Alexa 35 – 14.5 Stops Standard Aktuelles Aktuelle Kameraentwicklungen zeigen den wachsenden Stellenwert hoher Dynamikumfang: ARRIs ALEXA 35 Live bietet 17 Stops für Live-Produktionen, während Sonys vermutete FX3 Mark II auf verbesserten Dynamikumfang und ISO-Performance setzt. Beide Modelle positionieren den Dynamic Range als zentrales Qualitätsmerkmal für professionelle Filmproduktionen. Aktuelles HDR-Workflows in der Videoproduktion hängen stark von der Nachbearbeitung ab. Während viele Profikameras verschiedene Log-Formate für erweiterte Dynamikumfang bieten, entscheidet das Color Grading über die finale HDR-Darstellung. Die reine Sensordynamik ist nur der erste Schritt in der Post-Production-Pipeline.