

High Dynamic Range Imaging

Grundlagen und Anwendungen

Baischer und Walcher

Paris Lodron Universität Salzburg

15.11.2024, Salzburg



- 1 Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung
- 2 Grundlagen der digitalen Fotografie
- 3 HDR Imaging
- 4 Level 1: Beginner
- 5 Level 2: Intermediate
- 6 Level 3: Advanced
- 7 Fazit zu HDRI

Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung

- “Picture Element”
- kleinste adressierbare Bestandteil eines digitalen Bildes
- repräsentiert einzelne “Farbe”
- Rastergrafiken: feste Position und Größe
- Bild: aus Vielzahl von Pixeln

Auflösung

- wie viele Pixel insgesamt das Bild füllen
- "Breite x Höhe"
- höhere Auflösung = mehr Pixel
- feinere Strukturen durch höheren Pixelanzahl (Pixel liegen kleiner und dichter zusammen)
- Bildschirmauflösung: PPI (points per inch)
- Druckauflösung: DPI (dots per inch)

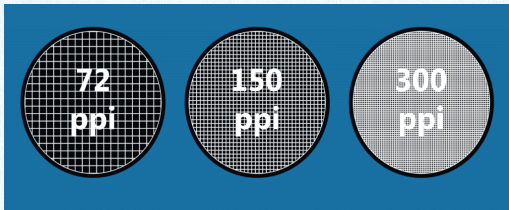


Abbildung: Vergleich der Auflösung in PPI ©Greenmark IT GmbH

Farbtiefe¹

- wie viele verschiedene Farb- oder Helligkeitswerte jedem Pixel zugewiesen werden können
- höhere Farbtiefe = mehr Farbtönen und feinere Abstufungen

häufigsten verwendeten Farbtiefen in der Bildverarbeitung

- **8-Bit:**
 - 256 verschiedene Helligkeitsstufen
 - RGB-Darstellung: 16,7 Millionen Farben ($256 \times 256 \times 256$)
- **10-Bit:**
 - pro Farbkanal 1024 Helligkeitsstufen
 - deutlich feinere Farbabstufung
 - von immer mehr Geräten unterstützt

¹Tsuruta et al., 2019.

Farbtiefe

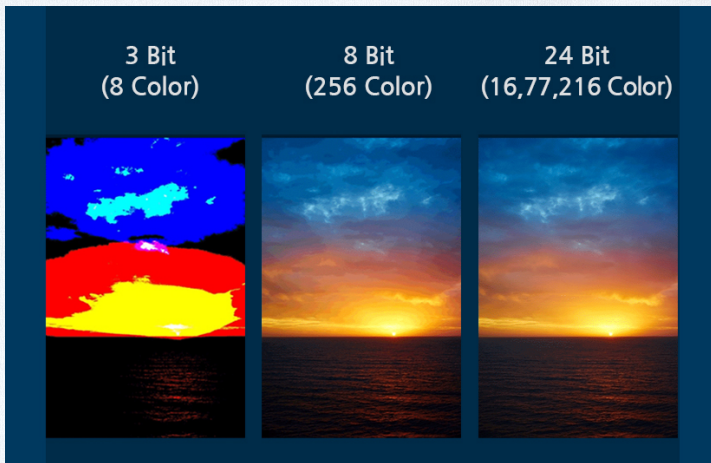


Abbildung: Vergleich der Farbtiefe in Bit ©Voltapc

Farbmodelle

- **RGB-Modell:**

- Rot, Grün, Blau - Modell (für Bildschirme)
- drei Grundfarben kombinieren für Farbspektrum
- Schwarzer Ausgangszustand – fügt Grundfarben zu nicht leuchtendem Pixel hinzu
- menschliches Auge selbst nur 3 verschiedene Farbrezeptoren

- **CMYK-Modell:**

- Cyan, Magenta, Gelb, Schwarz (Subtraktionsfarben, für Druck)
- Weißer Ausgangszustand (Druckpapier)
- Farbentstehung durch Wegnahme/Mischung von Farben

Farbmodelle

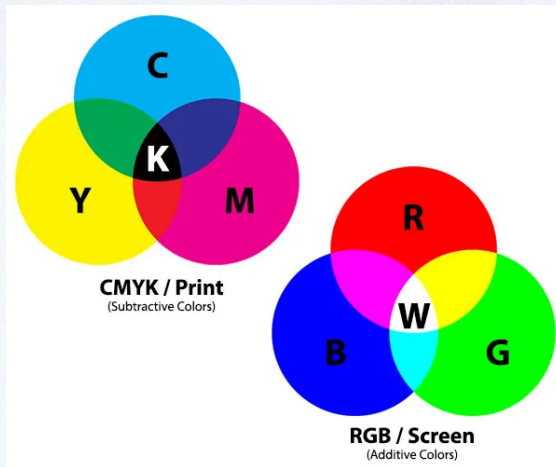


Abbildung: Vergleich der Farbmodelle RGB und CMYK ©Decal Impressions

Grundlagen der digitalen Fotografie

Belichtung: Blende²

- steuert Öffnung des Objektivs
- wie viel Licht auf den Sensor
- kleine Blendenöffnung (z.B. f/16) = wenig Licht
- große Blendenöffnung (z.B. f/2) = viel Licht

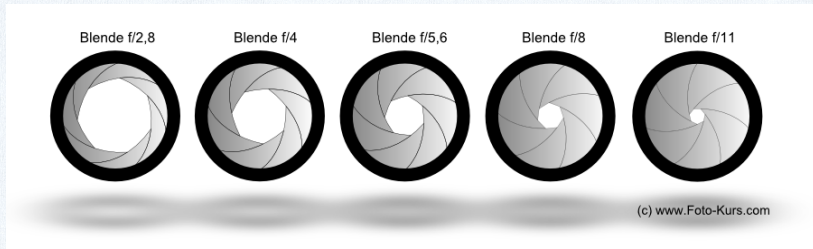


Abbildung: Beispiel für Blendenöffnungen von f/2.8 bis f/11 ©Foto-Kurs

²Tsuruta et al., 2019.

Belichtung: Verschlusszeit³

- wie lange der Bildsensor dem Licht der Szene ausgesetzt ist
- längere Verschlusszeit = mehr Licht (Bewegungsunschärfe möglich)
- kurze Verschlusszeit = friert Bewegungen weitestgehend ein (lässt jedoch weniger Licht ein)

³Tsuruta et al., 2019.

Belichtung: Verschlusszeit



Abbildung: Beispielbild von Bewegungsunschärfe durch lange Belichtungszeit ©Rolands Fotokurs

Belichtung: ISO-Wert

- Lichtempfindlichkeit des Sensors
- niedrige ISO-Einstellung (z.B. ISO 100) = hohe Bildqualität bei guter Beleuchtung und zu dunkles Bild bei schlechter Beleuchtung
- höhere ISO-Werte = mehr Lichtempfindlichkeit, erhöhtes Bildrauschen

Vergleich von ISO-Werten



Abbildung: Vergleich von ISO-Werten ©Pixolum

Dynamikumfang

- Verhältnis zwischen hellsten und dem dunkelsten Bereich
- Einschränkungen von Digitalkameras bei hohem Kontrast



Abbildung: Beispiel fehlender Dynamikumfang nach oben ©Freepik

HDR Imaging

HDR Imaging - Das Problem

- Begrenzung des Dynamikumfangs bei Digitalkameras
- Schwierigkeit: Szenen mit großem Helligkeitsunterschied darzustellen



Abbildung: Beispiel fehlender Dynamikumfang
nach oben ©c-g-w.net



Abbildung: Beispiel fehlender Dynamikumfang
nach unten ©c-g-w.net

HDR Imaging - Das Problem

- Begrenzung des Dynamikumfangs bei Digitalkameras
- Schwierigkeit: Szenen mit großem Helligkeitsunterschied darzustellen



Abbildung: Beispiel fehlender Dynamikumfang nach oben ©c-g-w.net



Abbildung: Beispiel fehlender Dynamikumfang nach unten ©c-g-w.net

- HDR als Lösung

Level 1: Beginner

Einführung in Exposure Bracketing⁴

- mehrere Aufnahmen mit unterschiedlichen Belichtungen
- Ziel: Erfassung des vollen Dynamikumfangs
- Belichtungsreihe umfasst mind. drei Bilder:
 - normale Belichtung
 - überbelichteten Bild für Details in den Schatten
 - unterbelichteten Bild für Details in den hellen Bereichen
- einige Kameras: automatisch
- Grundlage für HDR-Bilder
- korrekte Szenenbelichtung durch Kombinieren mehrerer Bilder

⁴Cvetkovic et al., 2010.

Exposure Bracketing⁵

Typische Anwendungen des Exposure Bracketing

- Landschafts-, Architektur- und Innenraumfotografie (große Helligkeitsunterschiede)
- medizinische Bildgebung oder astronomische Fotografie (extreme Kontrastverhältnisse)



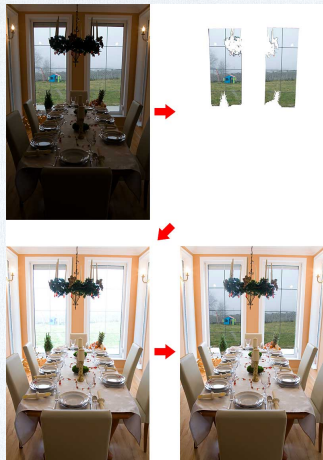
Abbildung: Beispiel für Exposure Bracketing ©Kevin McCoy

Exposure Fusion⁶

- detailreichen Gesamtbildes durch Kombination von Belichtungsreihen
- Dynamic, Farbtiefe etc. von SDR (= Standard Dynamic Range) bestmöglich ausgeschöpft
- Belichtungen auf Pixelebene analysiert
- Auswahl bester Bereiche aus jeder Belichtung: Helligkeit und Kontrast optimal darzustellen
- Pixelüberlagerung oder Bildmischalgorithmen

⁶Lapray et al., 2014.

Exposure Fusion



- 1 Große Helligkeitsunterschiede
- 2 Unterbelichten für helle Details
- 3 Überbelichten für dunkle Details
- 4 Selektive Kombination

Abbildung: Beispiel für Exposure Fusion
©Skarabeusz

Limitationen von HDR⁷⁸⁹

- realitätsferne Look bei falscher Umsetzung
- Bewegungsunschärfe und Geisterbilder durch Bewegung während der Aufnahme



Abbildung: Beispiel für unrealistische HDR-Darstellung ©Sleeklens

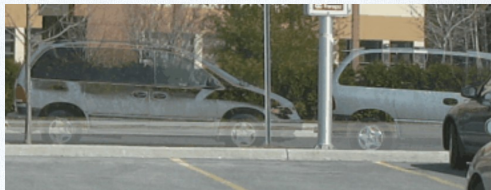


Abbildung: Beispiel für Geisterbilder in HDR-Aufnahmen ©Mediachance

⁷Bandoh et al., 2010.

⁸Cvetkovic et al., 2010.

⁹Wang und Yoon, 2021.

Level 2: Intermediate

Farbraum und Bittiefe

- Farbraum: darstellbare Farbenmenge
- Bittiefe: Farbabstufungen pro Farbkanal
- SDR-Bildschirme:
 - sRGB-Farbraum (= Standard RGB), Farbtiefe von 8 Bit pro Kanal (16,7 Mio. Farben)
- HDR-Bildschirme:
 - erweiterte Farbräume wie DCI-P3 oder Rec. 2020 und Farbtiefe von 10 Bit oder mehr (über eine Mrd. Farben)

Farbraum und Bittiefe

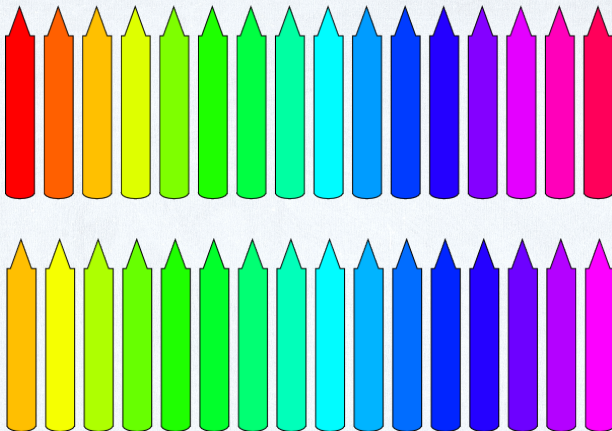


Abbildung: Vergleich von Farbraum und Bittiefe ©Mattdm

Color Banding¹⁰

- sichtbare Streifen bei Farb- oder Helligkeitsübergängen
- höhere Bittiefe (10 oder 12 Bit): feinere Abstufungen und minimiert das Risiko von Banding

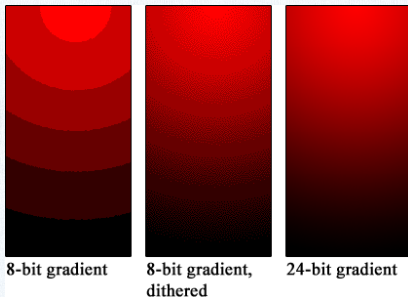


Abbildung: Beispiel für Color Banding ©Phlake

¹⁰Bandoh et al., 2010.

Level 3: Advanced

Vergleich von Logarithmus- und Gammakurven

Baischer und
Walcher

Grundlagen
der digitalen
Bildverarbei-
tung

Grundlagen
der digitalen
Fotografie

HDR
Imaging

Level 1:
Beginner

Level 2:
Intermediate

Level 3:
Advanced

Fazit zu
HDRI

Literatur

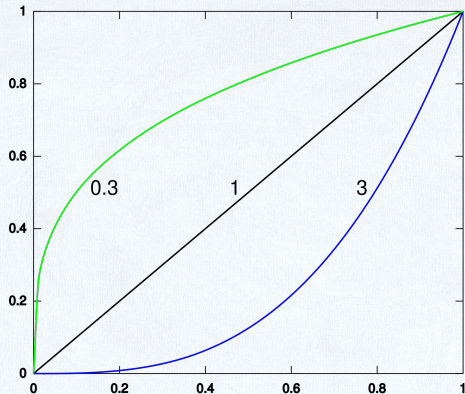


Abbildung: Vergleich von Gammakurven ©Berkas

Gammakorrektur¹¹

- nicht-lineare Transformation der Bilddaten
- Optimierung der visuellen Darstellung von Helligkeitstönen
- Digitale Kameras/Bildsensoren: Helligkeitsinformationen linear zur Lichteinwirkung
 - doppelt so viel Licht entspricht doppelt so viel Helligkeit
- menschliche Auge: Helligkeit nicht linear
 - empfindlicher auf kleine Helligkeitsänderungen in dunklen Bereichen als in hellen
 - linear aufgenommenes/dargestelltes Bild ohne Korrektur: auf Display zu dunkel (in Schattenbereichen)

¹¹Yan et al., 2020.

Gammakorrektur¹²

- Gammakorrektur durch Gammakurve beschrieben
- Transformation mit der Funktion:

$$I_{out} = I_{in}^{\gamma}$$

- I_{in} ... ursprüngliche lineare Intensität
- I_{out} ... korrigierte Intensität
- Einfluss des Werts γ :
 - $\gamma > 1 \rightarrow$ Verstärkt dunkle Bereiche.
 - $\gamma < 1 \rightarrow$ Erhellte dunkle Bereiche.
- in vielen Programmen nicht Gammawert direkt: sondern Kehrwert $1/\gamma$

¹²Yan et al., 2020.

Gammakorrektur



Ursprungsbild



Bild selektiv aufgehellt
mit $\gamma = 0,3$



Bild selektiv abgedunkelt
mit $\gamma = 3$

Abbildung: Beispiel für Gammakorrektur ©Berklas

Vergleich von Logarithmus- und Gammakurven

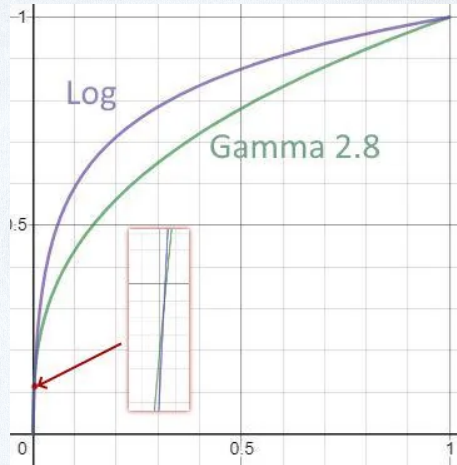


Abbildung: Vergleich von Logarithmus- und Gammakurven ©Diwonusojo

SDR- und HDR-Bildschirmen¹³

- SDR-Bildschirme (Standard Dynamic Range):
 - Helligkeit von 100 bis 300 Nits
 - eingeschränkten Dynamikumfang - Schwierigkeiten tiefe Schatten und helle Highlights gleichzeitig darzustellen
- HDR-Bildschirme (High Dynamic Range):
 - höhere Helligkeiten (1000 Nits oder auch 4000 Nits oder mehr)
 - präzisere Darstellung von Kontrastunterschieden und lebendigere Farben
- Herausforderungen beim Wechsel zwischen HDR und SDR
- Herstelleranpassungen: Höchste Helligkeit wird skaliert (z.B. 100 Nits auf bis zu 3-5x Helligkeit)

¹³Bandoh et al., 2010.

Fazit zu HDRI

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen

- Herausforderungen

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen
- Wissenschaftliche Bereiche (Astronomie, Archäologie, Biologie): Erfassung feiner Details

- Herausforderungen

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen
- Wissenschaftliche Bereiche (Astronomie, Archäologie, Biologie): Erfassung feiner Details
- Privater Nutzen: Lebendigere Fotos, Videos und verbesserte Darstellung auf modernen Displays

- Herausforderungen

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen
- Wissenschaftliche Bereiche (Astronomie, Archäologie, Biologie): Erfassung feiner Details
- Privater Nutzen: Lebendigere Fotos, Videos und verbesserte Darstellung auf modernen Displays

- Herausforderungen

- Benötigt spezielle Hardware; auf Standardbildschirmen oft verfälschte Darstellung

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen
- Wissenschaftliche Bereiche (Astronomie, Archäologie, Biologie): Erfassung feiner Details
- Privater Nutzen: Lebendigere Fotos, Videos und verbesserte Darstellung auf modernen Displays

- Herausforderungen

- Benötigt spezielle Hardware; auf Standardbildschirmen oft verfälschte Darstellung
- Hoher Speicher- und Rechenbedarf

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen
- Wissenschaftliche Bereiche (Astronomie, Archäologie, Biologie): Erfassung feiner Details
- Privater Nutzen: Lebendigere Fotos, Videos und verbesserte Darstellung auf modernen Displays

- Herausforderungen

- Benötigt spezielle Hardware; auf Standardbildschirmen oft verfälschte Darstellung
- Hoher Speicher- und Rechenbedarf
- Erfordern Erfahrung und spezielle Tools

Fazit zu HDRI

+ Vorteile

- Darstellung extremer Kontraste zwischen hellen und dunklen Bereichen
- Wissenschaftliche Bereiche (Astronomie, Archäologie, Biologie): Erfassung feiner Details
- Privater Nutzen: Lebendigere Fotos, Videos und verbesserte Darstellung auf modernen Displays

- Herausforderungen

- Benötigt spezielle Hardware; auf Standardbildschirmen oft verfälschte Darstellung
- Hoher Speicher- und Rechenbedarf
- Erfordern Erfahrung und spezielle Tools
- **Begrenzte Verfügbarkeit von HDR-Geräten und -Inhalten blockieren sich gegenseitig**

Danke

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

- Bandoh, Y., Qiu, G., Okuda, M., Daly, S., Aach, T., & Au, O. C. (2010). Recent advances in high dynamic range imaging technology. In *2010 IEEE International Conference on Image Processing* (S. 3125–3128). IEEE. <https://doi.org/10.1109/icip.2010.5653554>
- Cvetkovic, S., Jellema, H., & de With, P. H. N. (2010). Automatic Level Control for Video Cameras towards HDR Techniques. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2010(1), 1–30. <https://doi.org/10.1155/2010/197194>
- Lapray, P.-J., Heyrman, B., & Ginjac, D. (2014). HDR-ARtiSt: an adaptive real-time smart camera for high dynamic range imaging. *Journal of Real-Time Image Processing*, 12(4), 747–762. <https://doi.org/10.1007/s11554-013-0393-7>
- Tsuruta, T., Manabe, Y., & Yata, N. (2019). HDR Spectral Video Measurement System. In S. Tominaga, R. Schettini, A. Trémeau & T. Horiuchi (Hrsg.), *Computational Color Imaging: 7th International Workshop, CCIW 2019, Chiba, Japan, March 27-29, 2019, Proceedings* (1. Aufl., S. 89–101). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-13940-7>
- Wang, L., & Yoon, K.-J. (2021). Deep Learning for HDR Imaging: State-of-the-Art and Future Trends. *Journal of Latex Class Files*, 14(8), 1–21. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2110.10394>
- Yan, Q., Zhang, L., Liu, Y., Zhu, Y., Sun, J., Shi, Q., & Zhang, Y. (2020). Deep HDR Imaging via A Non-Local Network. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 4308–4322. <https://doi.org/10.1109/TIP.2020.2971346>