

Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Staatliche Hochschule für angewandte Wissenschaften

**Bittiefe im Film: Eine bildgestalterische und technische
Gegenüberstellung von digitalen Aufnahmen**

Eine Analyse der Vorteile und Einschränkungen in der Nachbearbeitung von 10-bit und
12-bit

Bachelorarbeit

im Studiengang Medienproduktion
von Timon Göhner

Erstprüfender: Prof. Georgij Pestov
Zweitprüfender: Dipl.-Kam. Dominik Moos
Matrikelnummer: 15486010

Abgabedatum: 02.02.2026

Anschrift: [REDACTED]
Telefon: [REDACTED]
E-Mail: [REDACTED]

Abstract

Die Bachelorarbeit untersucht die Bedeutung der Bittiefe in digitalen Filmaufnahmen, da 10-bit und 12-bit eine wichtige Rolle bei der Auswahl modernerameratechnik spielen. Ziel ist es, die Bittiefe als eigenen technischen Faktor zu betrachten und ihren Einfluss unabhängig von anderen Bildmerkmalen zu bewerten.

Die Forschungsfrage lautet: "Welche Auswirkungen haben 10-bit und 12-bit auf Artefaktbildung und die Verarbeitung von Farben in der Postproduktion?"

Es wird angenommen, dass 12-bit bei starken Bildkorrekturen stabilere Tonwertverläufe und weniger sichtbare Bildfehler aufweist, während die Unterschiede im unbearbeiteten Material gering bleiben.

Die Untersuchung basiert auf einem qualitativ-vergleichenden Versuchsaufbau mit kontrollierten Aufnahmen mit einer Sony FX3. Szene, Licht, Optik und Kameraeinstellungen bleiben konstant, während nur die Bittiefe variiert. Die Aufnahmen werden in der Postproduktion durch Kontrast-, Farb- und Helligkeitsanpassungen analysiert, wobei unter anderem Banding, Tonwertübergänge und Hauttöne bewertet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich 10-bit und 12-bit bei normaler Betrachtung kaum unterscheiden. Unterschiede treten vor allem bei starken Korrekturen auf, bei denen 12-bit stabilere Übergänge in Schatten, Highlights und Farbverläufen aufweist.

Insgesamt wirkt eine höhere Bittiefe weniger auf den sichtbaren Look, sondern vor allem als technische Reserve und Sicherheit im Bearbeitungsprozess.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Motivation und Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Forschungsfrage.....	2
1.3.1 Begriffspräzision.....	3
1.3.2 Arbeitshypothese.....	3
1.4 Abgrenzung.....	3
1.5 Aufbau der Arbeit.....	4
2. Grundlagen der Bittiefe und digitalen Bildverarbeitung.....	6
2.1 Digitale Farbtiefe.....	6
2.2 Unterschiede zwischen (8-bit) 10-bit und 12-bit (Praxisrelevanz).....	8
2.3 Datenmengen und Bittiefe.....	10
2.4 Typische Artefakte bei geringerer Bittiefe.....	10
2.3.1 Einordnung.....	10
2.3.2 Farbübergänge & Tonwertverteilung.....	12
2.5 Bedeutung der Bittiefe im Color Grading.....	12
2.4.1 Einordnung.....	13
2.4.2 Bittiefe als Arbeitsreserve.....	13
2.4.3 Bittiefe und Look-Entwicklung.....	13
2.4.4 Technische Grenzen vs. Wahrnehmung.....	13
2.6 Chroma Subsampling.....	14
2.7 Kurzüberblick: Sony FX3 im Kontext der Bittiefe.....	15
3. Methodik.....	16
3.1 Forschungsdesign.....	16
3.2 Auswahl der Kamera und Codecs.....	17
3.3 Optiken und Belichtungsstrategie.....	18
3.4 Beschreibung der drei Szenen.....	18
3.5 Aufnahmeprozess.....	20
4. Analyse der drei Szenarien.....	22
4.1 Szene A – Interior, Kerzenlicht, starke Kontraste.....	22
4.2 Szene B – Indoor, Mischlicht mit Natur- und Kunstlicht & Hauttöne.....	25
4.3 Szene C – Outdoor, Fokus auf Himmel & Highlights.....	28
5. Diskussion.....	30
5.1 Interpretation der Ergebnisse.....	30
5.2 Bedeutung der Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit für die Praxis.....	30
5.3 Grenzen der eigenen Untersuchung.....	31
5.5 Ansätze für weiterführende Untersuchungen.....	32
6. Fazit.....	32
6.1 Allgemeine Beantwortung der Forschungsfrage.....	32
6.2 Unverbindliche Handlungsempfehlung für Studierende.....	33
6.3 Persönliche Einordnung aus Sicht eines Kameramanns.....	33
7. Literaturverzeichnis.....	35
8. Anhang.....	38
9. Eidesstattliche Erklärung.....	38

1. Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Um die Bedeutung der Thematik Bittiefe zu verstehen, ist es essentiell zu wissen, dass die Bittiefe oft eine zentrale Rolle bei der Auswahl der Kamertechnik in der Produktionsplanung moderner digitaler Filme spielt. Dadurch, dass hohe Bittiefe als essentieller Faktor im Marketing für neue Kameras genutzt wird und somit als wichtiges Verkaufsargument gilt, kann man einen zunehmenden Trend in Richtung stetig höherer Bittiefen beobachten¹.

Die Motivation für das Thema entstand aus dem starken technischen Interesse für die Technik der Videografie und der filmischen Gestaltung von Film. Durch das steigende Interesse an dem Gebiet des Color Gradients ergab sich die Frage, wie genau 10-bit und 12-bit sich in der Praxis wirklich unterscheiden. Wo kann es also wirklich sinnvoll sein, die hohen Datenmengen in Kauf zu nehmen und wo sind die genauen Abgrenzungen der beiden Bittiefen?

Im Allgemeinen soll die Arbeit ein relevantes Thema für DOPs und Coloristen genauer beleuchten. Auch an der Technischen Hochschule OWL stehen werdende und lernende Videografen immer wieder vor der Entscheidungsfrage, welchen technischen Anforderungen sie gerecht werden wollen. Bei dieser Entscheidungsfrage möchte ich mit dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung behilflich sein.

Eine Problematik bei der Analyse von Bittiefen ist, dass oft der Faktor Bittiefe nicht als isolierter Wert betrachtet wird, sondern mit anderen Faktoren wie Dynamikumfang vermischt wird und so die Ergebnisse verfälscht. Ich möchte in meinem Experiment diesen Wert als isolierten technischen Aspekt behandeln und anhand meiner Wahrnehmung des Bildes sowie der technischen Parameter vergleichen. Somit soll eine praxisnahe und gestalterische Gegenüberstellung von Bildunterschieden im wissenschaftlichen Kontext erstellt werden.

Durch steigende technische Anforderungen in der zunehmend digitalen Welt werden höhere Bittiefen immer mehr zum Standard in der AV-Technik² sowie für Konsumenten und digitale Endgeräte. Somit eignet sich eine klare Erklärung und Aufschlüsselung anhand von realistischen und praxisnahen Beispielen der Bittiefe als Einordnung gut³.

¹ vgl. Mackin, Alex/Di Ma/Fan Zhang/ David Bull (2021): A Subjective Study on Videos at Various Bit Depths, in: Bristol Vision Institute, University of Bristol, S. 1

² AV-Technik = Audiovisuelle Medien

³ vgl. Safonov, Nickolay/Vatolin, Dmitriy (2022): Bit-depth enhancement detection for compressed video, in: MSU Institute of Advanced Studies of Artificial Intelligence and Intelligent Systems, S. 1

1.2 Zielsetzung

Als übergeordnete Zielsetzung lässt sich die Untersuchung von Bittiefe in digitalen Aufnahmen festlegen. Im Genaueren soll eine Gegenüberstellung von technischen Eigenschaften und den bildgestalterischen Auswirkungen von 10-bit und 12-bit durchgeführt werden. Final werden eine Abwägung im Hinblick auf den Workflow, ein Fazit sowie eine persönliche Einordnung der Erkenntnisse erfolgen.

Die Zielsetzung besteht aus vier unterschiedlichen Aspekten. Insgesamt wird sie eingeteilt in die technische, bildgestalterische, praktische und wissenschaftliche Zielsetzung.

Die technische Zielsetzung besteht aus der Analyse, einer klaren Einordnung des Begriffs der Bittiefe sowie der Abgrenzung zu dem technischen Aspekt des Dynamikumfangs. Bei der bildgestalterischen Zielsetzung steht der Vergleich der Bittiefen anhand von Farbverläufen, Hauttönen, Kontrastabstufungen sowie Low- und Highlights im Vordergrund. Außerdem soll dort die Erklärung der Unterschiede zwischen den Merkmalen geringerer Bittiefen wie beispielsweise Banding aufgeführt werden.

In der praktischen Zielsetzung geht es darum, die praxisnahe Vergleichbarkeit der Bittiefen aufzuzeigen anhand von identischen Motiven und kontrollierten Aufnahmebedingungen. Dabei soll eine nachvollziehbare und realistische Auswahl von Kameratechnik für den Anwendungsbereich von professionellen Videoaufnahmen oder Filmaufnahmen genutzt werden. Als finale Ableitung daraus soll eine unverbindliche Handlungsempfehlung für Studierende im Lernprozess der Videografie entstehen.

Durch die wissenschaftliche Zielsetzung soll als Endprodukt ein Beitrag zur medienwissenschaftlichen Diskussion über die technischen Aspekte digitaler Aufnahmen sowie deren ästhetische Wirkung entstehen. Als Methode soll dazu eine nachvollziehbare und klar strukturierte Analyse realistischer Aufnahmen genutzt werden. Diese soll Studierenden und Lernenden aller Kenntnisstufen zur Unterstützung dienen und durch transparente Dokumentation gut verständlich sein.

1.3 Forschungsfrage

Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Bittiefen (10-bit und 12-bit) auf Artefaktbildung und Farbumfang in der Postproduktion?

1.3.1 Begriffspräzision

Als Artefakte [sind] "Bildfehler, die durch materielle Eigenschaften von Kamera oder Trägermaterial sowie durch Fehler in der elektronischen oder digitalen Prozessierung von Bilddaten entstehen können [zu verstehen]. Dazu gehören Filmkorn, Bewegungsunschärfe (Motion Blur) oder Verzeichnungen durch das Objektiv sowie typisch digitale Artefakte wie Aliasing oder Moiré. Es gehört zu den Eigenheiten des Fotorealismus' digitaler Bilder, dass sie die etablierten analogen Artefakte nachbilden.⁴"

Der Farbumfang(-raum): [bezeichnet hingegen] "die gesamte Bandbreite oder Teilmenge von Farben, die von einer Anwendung, einem System oder einem Gerät erzeugt oder aufgezeichnet werden kann."⁵

1.3.2 Arbeitshypothese

Es wird erwartet, dass sich das 12-bit Material wesentlich flexibler und weniger artefaktanfällig in kritischen Bildbereichen wie Schatten und starken Farbverläufen verhält. Trotzdem wird der direkte visuelle Unterschied als zu vernachlässigen, jedoch beim Color Grading als deutlich spürbar erwartet.

1.4 Abgrenzung

In dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung soll der Fokus rein auf die Bittiefe des Bildes gelegt werden.

Nicht beachtet in der Untersuchung werden Aspekte, welche in realen Produktionsbedingungen zwar oft nah mit der Bittiefe zusammen spielen und großen Einfluss auf den Aufbau und die Gestaltung des Bildes haben⁶, im Szenario dieses Experiments jedoch die Ergebnisse verfälschen oder abändern würden. Darunter zählen technische Gegebenheiten wie Auflösung, Bildrate, Sensorverhalten, Rolling-Shutter-Artefakte oder Rauschverhalten des Bildes. Ein weiterer technischer Aspekt, welcher gezielt als variierender Faktor eliminiert werden soll, ist der Einfluss des Dynamikumfangs. Dieser muss gesondert betrachtet und abgegrenzt werden, da er stark mit der Bittiefe zusammen spielt und oft mit dieser verwechselt wird⁷.

Auch unterschiedliche Farbräume und die Unterschiede zwischen RGB und dem YCbCr-Farbraum werden nicht beachtet. Das gesamte Experiment wird im S-LOG3-Format aufgenommen, im DaVinci Resolve Intermediate Farbraum bearbeitet und final im Rec.709 Farbraum ausgespielt.

⁴ Flückiger, Barbara (2008): Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer. Marburg: Schüren 2008, S. 334-356.

⁵ RMIT University (2023): Colour gamuts and colour spaces, in: rmit.pressbooks.pub, [online] <https://rmit.pressbooks.pub/colourtheory1/chapter/colour-spaces-or-gamuts>

⁶ vgl. Peterson, Doug (2023): In-Depth on Bit Depth, in: DT Heritage, [online] <https://heritage-digitaltransitions.com/in-depth-on-bit-depth/>

⁷ vgl. Tucsen Photonics Co.,Ltd (2025): Bit Depth in Scientific Cameras: How It Impacts Image Quality and Data Accuracy, in: [tucsen.com](https://www.tucsen.com/learning/bit-depth-in-scientific-cameras/), [online] <https://www.tucsen.com/learning/bit-depth-in-scientific-cameras/>

Ebenfalls nicht beachtet werden systeminterne Verarbeitungsprozesse von Sony oder Atomos sowie externe Programme oder KI zur Reduzierung von Artefakten wie Banding. Somit soll dem Experiment ein möglichst unverfälschtes Ergebnis garantiert werden.

Die Untersuchung beschränkt sich auf praxisrelevante Codecs (10-bit XAVCS-I 4:2:2 sowie 12-bit ProRes RAW) zur Aufnahme der Beispiele. Ebenfalls werden Aspekte, welche direkten Einfluss auf das Farbprofil, wie Chroma-Subsampling⁸, nicht in den Vergleich mit einbezogen. Somit sollte die Betrachtung der Auswirkungen von Bittiefe möglichst isoliert im Color Grading Tab von DaVinci Resolve Studio stattfinden.

Des Weiteren soll keine psychovisuelle Langzeitstudie oder Zuschauerbefragung stattfinden. Die Wahrnehmungsbewertung erfolgt qualitativ und anhand einer direkten visuellen Analyse durch den Bildvergleich. Somit wird die subjektive Wahrnehmung des Experiments als Teil der gestalterischen Bewertung verstanden und nicht als statistisch erhobene Größe.

1.5 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit wird effektiv in 9 Kapitel aufgeteilt.

Kapitel 1: Einleitung

Im ersten Kapitel findet eine grobe Einordnung des Experiments sowie der untersuchungstechnischen Grundlagen statt. Es werden Aspekte wie Zielsetzung, Forschungsfrage und die Abgrenzungen aufgeführt und beinhalten einen groben Überblick über die wissenschaftliche Abhandlung sowie die groben Parameter.

Kapitel 2: Theoretische Grundlagen

Das zweite Kapitel befasst sich mit der Begriffsklärung von Bittiefe und gibt eine Einführung in das Thema der digitalen Bildverarbeitung im Film. Im weiteren Verlauf werden die theoretischen Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit veranschaulicht, bei welchem 8-bit als relevante und praxisnahe Vergleichsgröße herangezogen wird. Das Kapitel behandelt die Grundlagen zu relevanten Artefakten wie Banding und ordnet diese im Bezug zur Bittiefe und dem Workflow des Color Grading ein. Des Weiteren befasst sich das Kapitel mit dem Thema Chroma Subsampling und dessen Zusammenspiel mit der Bittiefe. Final wird der Versuchsaufbau mit der Sony FX3 im Hinblick auf Farbtiefe anschaulich gemacht.

⁸ vgl. Matrox (o.D.): Introduction to Color Spaces in Video, Guides & Articles, [online]
<https://video.matrox.com/en/media/guides-articles/introduction-color-spaces-video>

Kapitel 3: Methodik und Versuchsaufbau

Als zentrale Aspekte dieses Kapitels werden das Forschungsdesign sowie die Auswahl der Kamera, Codecs und Optiken behandelt. Ebenfalls wird die Theorie der Belichtung der Szenarien erklärt. Das Kapitel wird abgeschlossen durch die grobe Beschreibung der Szenarien und deren theoretische Hintergründe im Kontext der Bewertungskriterien.

Kapitel 4: Analyse der drei Szenarien

Anschließend erfolgt die Analyse der drei Szenarien des Experiments, wobei jeweils eine Szenarienbeschreibung sowie die Besonderheit des jeweiligen Szenarios aufgeführt werden. Dadurch entsteht ein direkter Vergleich zwischen den Verhaltensweisen der Bittiefen, welche in einem kurzen Zwischenfazit für jedes Szenario resultieren.

Kapitel 5: Interpretation der Ergebnisse

Abschließend wird nun die Frage nach den praxisrelevanten Unterschieden zwischen 10-bit und 12-bit beantwortet und in den theoretischen Kontext eingeordnet. Außerdem werden die Grenzen der eigenen Untersuchung aufgezeigt und Ansätze für weiterführende Untersuchungen in diesem Themenbereich aufgeführt.

Kapitel 6: Fazit

Nach der allgemeinen Beantwortung der Forschungsfrage durch eine klare, neutrale und wissenschaftliche Zusammenfassung werden die Ergebnisse aus der Sicht eines Kameramanns persönlich eingeordnet. Des Weiteren werden die Bedeutung der Ergebnisse für zukünftige Projekte, die Arbeitsweise und technische Entscheidungen diskutiert.

Kapitel 7, 8 und 9 runden dann die wissenschaftliche Arbeit mit dem Literaturverzeichnis, einem Anhang mit allen relevanten genutzten und im Verlauf der Bachelorarbeit entstandenen Videomaterialien sowie der eidesstattlichen Erklärung ab.

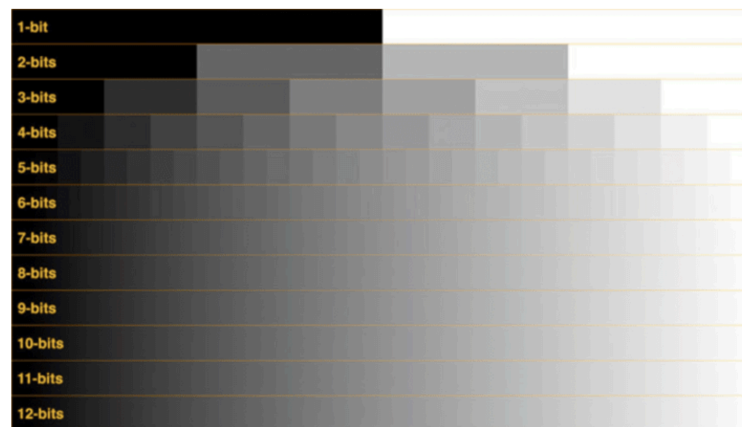
2. Grundlagen der Bittiefe und digitalen Bildverarbeitung

2.1 Digitale Farbtiefe

Farbe und Helligkeit werden in der Foto- und Videografie durch numerische Werte beschrieben. Ein zentraler Parameter in diesem Zusammenhang ist die digitale Farbtiefe, welche die Grundlage dafür bildet, wie fein Bildwerte innerhalb eines digitalen Systems abgestuft werden. Zur Einordnung dieses Begriffs ist zunächst zu klären, was genau unter Bittiefe verstanden wird.

Die Bittiefe bestimmt, wie viele Graustufen eine Kamera darstellen kann, wobei jede zusätzliche Bitstufe die Anzahl der Abstufungen verdoppelt⁹. Zusätzlich verringert eine höhere Bittiefe Umwandlungsfehler bei der Digitalisierung von Signalen und bildet den ursprünglichen Input (das "wahre Signal") genauer ab¹⁰. Trotzdem ist Bittiefe allein kein Garant für eine bessere Bildqualität, da andere technische Faktoren wie die Qualität der Optiken die Qualität ebenfalls erheblich beeinflussen¹¹.

Kamerasensoren wandeln Licht zunächst in ein analoges Signal um, welches anschließend digitalisiert wird und bei den allermeisten Kameras als sogenanntes Graustufenbild dargestellt wird¹². Um den Effekt zunehmender Bittiefen zu verdeutlichen, ist folgende Grafik hilfreich:



Abstufungen der Bittiefen von 1-bit bis 12-bit¹³

⁹ vgl. Peterson, Doug (2023)

¹⁰ vgl. Tucsen Photonics Co.,Ltd (2025)

¹¹ vgl. Tucsen Photonics Co.,Ltd (2025)

¹² vgl. Teledyne Vision Studios (o.D): Bit Depth, Full Well, and Dynamic Range, in: [teledynevisionsolutions.com](https://www.teledynevisionsolutions.com), [online]

<https://www.teledynevisionsolutions.com/de-de/learn/learning-center/imaging-fundamentals/bit-depth-full-well-and-dynamic-range/>

¹³ Teledyne Vision Studios (o.D)

Der mathematische Zusammenhang der Grafik in Textform sieht somit wie folgt aus:

- 1-bit = $2^1 = 2$ Abstufungen pro Kanal (Schwarz & Weiß)
- 2-bit = $2^2 = 4$ Abstufungen pro Kanal (Schwarz, Weiß und 2 Graustufen in der Mitte)
- 3-bit = $2^3 = 8$ Abstufungen pro Kanal (Schwarz, Weiß und 6 Graustufen in der Mitte)
- ...
- 8-bit = $2^8 = 256$ Abstufungen pro Kanal
- 10-bit = $2^{10} = 1.024$ Abstufungen pro Kanal
- 12-bit = $2^{12} = 4.096$ Abstufungen pro Kanal

Die Bittiefe legt also fest, wie viele Tonwerte ein Bild darstellen kann. Somit beeinflusst dieser Wert maßgeblich, wie realistisch und stufenlos digitale Bilder dargestellt werden können¹⁴.

Wichtig zu verstehen ist, dass diese Graustufen sowie das absolute Schwarz und das absolute Weiß jeweils immer nur für **einen** Farbkanal gelten. Graustufen beeinflussen in digitalen Bildern nicht direkt den Farbton, sondern geben die Helligkeit einer Farbe vor. In einem klassischen RGB-Farbraum wird die Helligkeit eines Farbwerts durch dessen numerischen Wert bestimmt. Ein Pixel kann in einem 8-bit-Bild bis zu 256 Werte besitzen, wobei 256 absolutes Weiß und 0 absolutes Schwarz darstellen. Die Werte zwischen diesen absoluten Werten bilden die Graustufen mit jeweiligen Tendenzen zu den Helligkeiten ab. Somit entspricht ein hoher numerischer Wert, wie beispielsweise 240, einer hohen Intensität des jeweiligen Farbkanals, während ein niedriger Wert, wie beispielsweise 20, eine niedrige Intensität und somit eine dunklere Darstellung eines Pixels beschreibt.

Um diesen Prozess praxisnäher zu beschreiben, wird ein Beispiel von einem vollständig grünen Pixel im RGB-Farbraum herangezogen. In diesem Farbraum werden die Farbintensitäten durch eben erläuterte numerische Werte beschrieben, wobei die jeweilige Stelle in der Klammer die Farbzugehörigkeit bestimmt. Der RGB-Farbraum, oder aufgeschlüsselt Rot, Grün, Blau-Farbraum, beinhaltet also für einen vollständig grünen Pixel nur Werte an seiner mittleren Stelle. Praktisch bedeutet das:

Sehr helles Grün = (0,**240**,0)

Sehr dunkles Grün = (0,**20**,0)

Der Vollständigkeit wegen ist zu erwähnen, dass Farbinformationen im Video trotzdem getrennt von der Helligkeit gespeichert und unabhängig davon verarbeitet werden können, etwa über spezielle Farbkanäle¹⁵. Graustufen beschreiben somit die Helligkeitsverteilung eines Bildes und stehen in direktem Zusammenhang mit der Intensität **einzelner** Farbkanäle. Eine Veränderung eines Grauwertes führt jedoch nicht auf direktem Wege zu einem neuen Farbton, sondern zu einer Modulation der Luminanz einer bestehenden Farbe.

¹⁴ vgl. Dexon Systems (2024)

¹⁵ vgl. Van Hurkman, Alexis (2011): Color Correction Handbook: Professional Techniques for Video and Cinema, Kalifornien, USA: Peachpit Press, S.115

Dadurch entstehen unterschiedliche Farberscheinungen bei einem konstanten chromatischen Anteil. Im Folgenden wird vereinfachend von unterschiedlichen Farben gesprochen, obwohl es sich streng genommen um unterschiedliche Farberscheinungen handelt.

Um nun die Analyse im praktischen Sinne wieder zusammensetzen und die effektiv nutzbaren Farben für jede Bittiefe zu ermitteln, ist es wichtig zu verstehen, dass sich die Bedeutung von Bittiefe mit der Zeit gewandelt hat. Früher beschrieb die Bittiefe lediglich die Gesamtfarbenanzahl des Bildes. Heute bezieht sich die Bittiefe auf die Bitanzahl pro Farbkanal eines RGB-Bildes und ermöglicht dadurch wesentlich mehr Farben¹⁶. Im typischen RGB-Spektrum müssen somit angenommene Werte aus der klassischen Farbanzahlberechnung mit 3 potenziert werden, da der RGB-Farbraum 3 Farbkanäle besitzt. Somit ergeben sich für die in dieser Ausarbeitung relevantesten Bittiefen ein Farbspektrum von:

8-bit = $256^3 = 16.777.216$ mögliche Farben

10-bit = $1.024^3 = 1.073.741.824$ mögliche Farben

12-bit = $4.069^3 = 68.719.476.736$ mögliche Farben

Farbtiefe bestimmt somit die Feinheit der Tonwertabstufungen eines RGB-Bildes sowie die Präzision der Farbdifferenzierung und stellt damit eine von mehreren Dimensionen digitaler Bildqualität dar. In dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung ist dieser Aspekt jedoch als isoliertes Mittel zu betrachten, obwohl in realen Szenarien Dynamikumfang, Sensorgegebenheiten, andere Farbräume oder abweichende Codecs ebenfalls eine wesentliche Rolle für die Bildqualität darstellen¹⁷.

2.2 Unterschiede zwischen (8-bit) 10-bit und 12-bit (Praxisrelevanz)

8-bit, 10-bit und 12-bit sind ohne Zweifel die gängigsten Bittiefen in der digitalen Videografie. Während moderne günstige LCDs teilweise schon bei 6-bit-Farbtiefe beginnen, verfügen die meisten modernen Fernseher, Monitore und Endgeräte über die Möglichkeit der Darstellung in 8-bit. Die Gegebenheit von 8-bit wird oft als True Color bezeichnet, "da sie mehr Farben anzeigen kann, als der Mensch individuell wahrnehmen kann"¹⁸.

Die Einsatzgebiete der unterschiedlichen Bittiefen sind stark abhängig von der Relevanz dieser für das jeweilige Aufgabenfeld.

¹⁶ vgl. XP-Pen (2025): Color Depth Deciphered: Why It's Crucial for Artists, Designers and Photographers, [online] <https://www.xp-pen.com/blog/color-depth.html>

¹⁷ vgl. Freeman, Michael (2009): Kunst der perfekten Belichtung: Der Schlüssel zu brillanten Bildern, München, Deutschland: Markt-&-Technik-Verleih, S.36

¹⁸ XP-Pen (2025)

Obwohl 8-bit aufgrund von geringen Datenmengen, hoher Kompatibilität und ausreichender Qualität für die SDR-Anwendungen¹⁹ als historischer und technischer Ausgangspunkt und als Standard für Video gilt, stößt es bei hohen Anforderungen für die farbliche Genauigkeit und exakten Farbverläufen im Bild an seine Grenzen²⁰.

1 024 Tonwertabstufungen pro Farbkanal bei 10-bit ermöglichen eine deutlich feinere Abstufung gegenüber 8-bit. Dies resultiert in deutlich höherer Farbgenauigkeit, feineren Farbverläufen und sichtbar reduzierten Abstufungen und ist deshalb der neue Standard für HDR und professionelle Anwendungen²¹. Des Weiteren besitzt 10-bit die Vorteile von reduzierter Artefaktanfälligkeit bei starken Kontrastanpassungen sowie Hauttönen und eignet sich wesentlich besser für LOG-Aufzeichnungen und professionelles Color Grading.

In der Praxis bildet 10-bit somit einen guten Kompromiss aus Datenrate und Qualität und ist sehr weit verbreitet in modernen Digitalkameras.

12-bit hingegen wird in hochwertigen Film- und Produktions-Workflows eingesetzt. Es bietet maximale Farb- und Tonwertpräzision für intensive Nachbearbeitung, jedoch auch verbunden mit sehr hohem Datenaufwand²². Durch die 4 096 Farbabstufungen pro Kanal ergibt sich eine sehr feine Differenzierung von Farbe und Helligkeit im Bild. Außerdem resultiert die Farbgenauigkeit in hoher Stabilität bei sehr starkem Color Grading wie Highlight- und Schatten-Recovery. Besonders relevant werden diese Eigenschaften bei RAW-Workflows, High-End-Filmproduktionen oder VFX- und Compositing-Prozessen. In der Praxis bedeutet das jedoch stets einen wesentlich höheren Datenaufwand sowie komplexeren Workflow und steigende technische Anforderungen²³.

Im direkten Vergleich ist die Sichtbarkeit der Unterschiede stark abhängig vom Motiv, der Belichtung und der Grading-Intensität. Die visuellen Unterschiede variieren auch stark von Kamerasystem zu Kamerasystem. Im Allgemeinen kann jedoch der größte visuelle Unterschied zwischen 8 und 10-bit erwartet werden. Der Unterschied zwischen 10 und 12-bit hingegen ist hingegen stark situationsabhängig und dementsprechend als subtil zu verstehen.

Als High-End-Lösung bietet 12-bit somit mehr Sicherheit im gesamten Postproduktions-Prozess und eine größere kreative Reserve für Kontrastreiche oder stark nachbearbeitete Materialien, da diese stets eine höhere Anforderung an Bildqualität und insbesondere an Tonwertabstufungen stellen²⁴.

¹⁹ SDR-Anwendungen = Software Defined Radio und bezeichnet Konzepte für Hochfrequenz-Sender und -Empfänger

²⁰ vgl. Cincopa (2025): Bit Depth in Video: 8-bit, 10-bit and 12-bit Explained, in: [cincopa.com](https://www.cincopa.com/learn/bit-depth-in-video-8-bit-10-bit-and-12-bit-explained), [online]
<https://www.cincopa.com/learn/bit-depth-in-video-8-bit-10-bit-and-12-bit-explained>

²¹ vgl. Cincopa (2025)

²² vgl. Cincopa (2025)

²³ vgl. Tucsen Photonics Co.,Ltd (2025)

²⁴ vgl. Peterson, Doug (2023)

Im Gegenzug dazu reduzieren niedrige Bittiefen jedoch die Dateigröße, Speicheraufwand und damit auch Rechenaufwand erheblich und erleichtern dadurch schnellere Aufnahmen und Verarbeitungen großer Datenmengen²⁵. Hinzuzufügen ist jedoch, dass es auch bei leichter zu verarbeitenden Bittiefen trotzdem durch die Kompression zu schnellen Quantisierungsfehlern kommen kann²⁶.

Festzuhalten ist somit, dass mit steigender Bittiefe die Farbgenauigkeit und Bearbeitungsfreiheit zunehmen, während Datenmenge und technischer Aufwand steigen, von effizientem Standardvideo mit 8-bit bis hin zu maximaler Qualität für Kino und Archivierung in 12-bit²⁷.

2.3 Datenmengen und Bittiefe

Umrechnung Datenrate pro Sekunde bei der Sony FX3 mit 25p im Experiment:

8-bit (ca. 120 Mbit/s): $120 / 8 = 15,0 \text{ MB/s} = 15,0 \times 60 \approx 0,9 \text{ GB/min}$

10-bit (ca. 250 Mbit/s): $250 / 8 = 31,25 \text{ MB/s} = 31,25 \times 60 \approx 1,89 \text{ GB/min}$

12-bit (ca. 500 Mbit/s): $500 / 8 = 62,5 \text{ MB/s} = 62,5 \times 60 \approx 3,75 \text{ GB/min}$

Die berechneten Datenraten verdeutlichen, dass höhere Bittiefen mit einem erheblich steigenden Speicherbedarf einhergehen. Während 10-bit gegenüber 8-bit bereits eine deutliche Zunahme der Datenmenge bedeutet, führt der Einsatz von 12-bit-RAW zu einer nochmals stark erhöhten Datenrate. Die Bittiefe beeinflusst damit nicht nur die Bildverarbeitung, sondern auch unmittelbar die Anforderungen an Speicherung und Workflow.

2.4 Typische Artefakte bei geringerer Bittiefe

2.3.1 Einordnung

Artefakte im Allgemeinen sind Bildfehler, welche durch Aufnahme oder Arbeitsprozesse entstehen²⁸ und oft als Folge begrenzter Tonwertauflösung (Bittiefe) auftreten. Im Genaueren beeinflussen Artefakte wie Rauschen oder Banding die Genauigkeit und Authentizität der Bilddarstellung²⁹. Sie treten nicht zwingend immer im Ausgangsmaterial auf, sondern entstehen auch oft erst durch Postproduktion oder Color Grading, wobei geringe Bittiefe die Anfälligkeit dieser Bildfehler verstärkt und eine geringere Reserve bei der Tonwertmanipulation bietet. Reichen

²⁵ vgl. Teledyne Vision Studios (o.D)

²⁶ vgl. Stankovic, Isidora/Milos Brajovic/Milos Dakovic et. al. (2020): Bit-depth quantization and reconstruction error in digital images, in: researchgate.net [online] doi: [10.1007/s11760-020-01694-4](https://doi.org/10.1007/s11760-020-01694-4)

²⁷ vgl. Cincopa (2025)

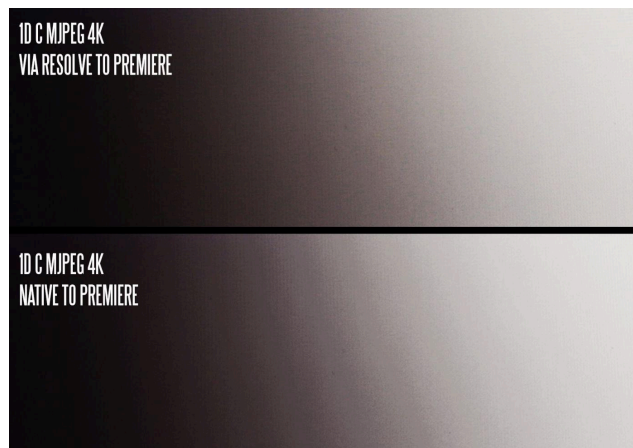
²⁸ vgl. Flückiger, Barbara (2008): Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer. Marburg: Schüren 2008, S. 334-356.

²⁹ vgl. Peterson, Doug (2023)

die von der jeweiligen Bittiefe zur Verfügung gestellten Graustufen nicht aus, um das Ausgangsmaterial realistisch darzustellen, wird das Signal grob zusammengefasst, wodurch feine Helligkeitsunterschiede verloren gehen und kleine Veränderungen im Bild nicht mehr sichtbar sind³⁰.

Bei Banding (oder Posterization) "handelt [es] sich um eines der häufigsten visuellen Artefakte, das sowohl Bilder als auch Videos betrifft und sich durch sein „posterisiertes“ Aussehen in den betroffenen Clips auszeichnet."³¹

"Banding-Artefakte manifestieren sich typischerweise als diskrete Treppmuster in der Helligkeit und/oder Farbe. Während sich die benachbarten Stufen in ihrer Helligkeit oder Farbintensität nur geringfügig unterscheiden (sogar nur um 1 bis 2 Graustufenwerte), können mehrere solcher aufeinanderfolgenden Helligkeits- und/oder Farbstufen einen Mach-Band-ähnlichen Effekt (auch bekannt als Chevreul-Illusion) verursachen."³²



Beispiel für Banding in einem Farbverlauf³³

Banding tritt vor allem in gleichmäßigen Farbflächen mit sanften Verläufen auf, wenn Bittiefe oder Datenrate nicht ausreichen, um diese sauber darzustellen³⁴. Es tritt tendenziell seltener als andere Kompressionsfehler auf, gehört aber zu den auffälligsten und störendsten Qualitätsproblemen bei hochauflösenden Videos³⁵. Daraus ergibt sich die Feststellung, dass eine zu geringe Bittiefe zu sichtbaren Bildfehlern wie Banding, insbesondere bei starken Kontrastverläufen, führt. Begünstigt wird dieser Bildfehler durch starke Videokompression, weshalb eine geringere Kompressionsstufe die Fehleranfälligkeit deutlich verringern kann³⁶.

³⁰ vgl. Teledyne Vision Studios (o.D)

³¹ Neat Blog (2021): Learn how to handle banding, [online] <https://www.neatvideo.com/blog/post/banding>

³² Tu, Zhengzhong/Chia-Ju Chen/Jessie Lin et. al. (2025): Understanding, detecting, and removing perceptual banding artifacts in compressed videos, in: [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com), [online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596525001183?via%3Dihub>

³³ Reid, Andrew (2015): Is Adobe Premiere to blame for banding in 8-bit DSLR footage?, [online]

<https://www.eoshd.com/news/is-adobe-premiere-to-blame-for-banding-in-8bit-dslr-footage-canon-1d-c/>

³⁴ vgl. Neat Blog (2021)

³⁵ vgl. Tu, Zhengzhong et. al. (2025)

³⁶ vgl. Safonov et. al. (2022)

Im Genauen ist die technische Ursache für Banding-Artefakte auf eine zu geringe Anzahl diskreter Tonwertstufen zurückzuführen, wodurch sich große Abstände zwischen Quantisierungswerten ergeben und die Tonwertübergänge nicht mehr fein, sondern stufenartig wirken. Typische Erscheinungsformen für Banding sind Himmel, Nebel, unscharfe Hintergründe oder gleichmäßige Flächen.

Im Allgemeinen sorgt eine hohe Bittiefe wie 12-bit, welche in der Praxis kaum Banding anfällig ist, für wesentlich weichere Helligkeitsverläufe und verhindert sichtbare Abstufungen effizienter als 10-bit oder 8-bit³⁷. Verstärkt werden Banding-Artefakte ebenfalls durch Kontrastanhebungen oder LOG zu Rec.709 Umwandlungen.

Um der Problematik der Banding-Bildfehler entgegenzuwirken, existieren mittlerweile spezielle Algorithmen, welche versuchen Banding in niedrig aufgelösten Bittiefen zu reduzieren oder fehlende Feinabstufungen künstlich zu rekonstruieren³⁸.

2.3.2 Farbübergänge & Tonwertverteilung

Die Bedeutung von feinen Farbabstufungen für das Bild ist essentiell für eine natürliche Bildwirkung. Eine zu geringe Bittiefe verfügt nur über eine eingeschränkte Differenzierung nahe beieinander liegender Farben und hat dadurch eine hohe Anfälligkeit für sichtbare Übergangsstufen. Als kritische Bereiche für solche Artefakte gelten Hauttöne, Pastellfarben und Farbverläufe mit geringer Sättigung, da diese enorm feine Farbabstufungen beinhalten. Eine höhere Bittiefe bietet dort mehr Sicherheit vor Artefakt-Erscheinungen und ermöglicht durch gleichmäßige Übergänge höhere Farbstabilität im Grading. Visuelle Verbesserungen dieser kritischen Bereiche durch höhere Bittiefen sind ab 8-bit jedoch teilweise schon schwer für das menschliche Auge zu erkennen und bewegen sich in höheren Bittiefen in fundamentalen Wahrnehmungsgrenzen des menschlichen Auges³⁹.

2.5 Bedeutung der Bittiefe im Color Grading

Die Bittiefe ist ein entscheidender Faktor dafür, wie viele Bildinformationen eine Kamera erfasst und wie genau feine Details wiedergegeben werden. Sie bestimmt, wie viele Helligkeitsabstufungen ein einzelner Pixel darstellen kann⁴⁰, wie präzise Farben dargestellt werden können und wie viele Farbabstufungen ein Bild insgesamt erhalten kann⁴¹. Somit kann eine höhere Bittiefe präzise Effekte im Color Grading, beim Compositing oder bei CGI-Arbeiten bieten⁴².

³⁷ vgl. Tucson Photonics Co.,Ltd (2025)

³⁸ vgl. Safonov et. al. (2022)

³⁹ vgl. Teledyne Vision Studios (o.D)

⁴⁰ vgl. Tucson Photonics Co.,Ltd (2025)

⁴¹ vgl. Cincopa (2025)

⁴² vgl. Tomkies, Pete (2019): Understanding bit depth and color rendition in video, in: [videomaker.com](https://www.videomaker.com/article/c02/19251-understanding-bit-depth-and-color-rendition-for-video/), [online] <https://www.videomaker.com/article/c02/19251-understanding-bit-depth-and-color-rendition-for-video/>

2.4.1 Einordnung

Das Color Grading ist ein zentraler Arbeitsabschnitt der Postproduktionen von cineastischen Werken. Das Ziel dieses Arbeitsprozesses besteht oft in der technischen Korrektur wie dem Umwandeln der Farbräume, Helligkeitskorrekturen, Kontrastanpassungen, Hauttonkorrekturen oder der kreativen Bildgestaltung, um dem Werk einen bestimmten Look zu geben. Bittiefe bestimmt dabei, wie weit die Bilddaten manipuliert werden können, ohne dass das Bild instabil wird und starke Bild- oder Tonwertfehler auftreten.

2.4.2 Bittiefe als Arbeitsreserve

Eine erhöhte Bittiefe beinhaltet also eine größere Anzahl verfügbarer Tonwertstufen. Dies macht unter anderem stärkere Kontrastverschiebungen und feine Farbkorrekturen möglich⁴³, wie auch saubere Selektionen von Masken oder weichere Übergänge von korrigierten Farbverläufen. Geringere Bittiefe hingegen bietet eine geringe Reserve für die Korrektur und provoziert so beim Color Grading schneller sichtbare Artefakte oder “rauschende Schatten, abgeschnittene Glanzlichter und künstliche Streifen in Farbverläufen [welche] dazu führen, dass das Bild weniger originalgetreu [wirkt]”⁴⁴.

Bittiefe wirkt somit als unsichtbarer Puffer und “ist in digitalen Medien von entscheidender Bedeutung, da sie Einfluss darauf hat, wie genau Dinge dargestellt werden [können]”⁴⁵.

2.4.3 Bittiefe und Look-Entwicklung

Ein kreativer Look erfordert gewisse technische Gegebenheiten des Bildmaterials, um gezielt Farben und Kontraste zu verändern. Durch den komplexen Workflow einer Lookentwicklung mit meist mehreren Bearbeitungsschritten erhöht sich das Risiko kumulierter Artefakte. Diesem kann durch den Puffer der höheren Bittiefen entgegengewirkt werden und das Erstellen komplexerer Looks ohne sichtbare Qualitätsverluste wird möglich.

2.4.4 Technische Grenzen vs. Wahrnehmung

Die Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit sind für das menschliche Auge oft subtil. Stärker wird die Differenz sichtbar, wenn starke Bildkorrekturen vorgenommen werden. Somit sollte das Aufnehmen mit höherer Bittiefe eher als präventiver Arbeitsschritt gesehen werden und weniger als direkt sichtbares stilistisches Mittel verstanden werden. Ebenfalls sollte sich die Frage stellen, auf welchem Endgerät das Medium am Ende ausgespielt werden soll und ob dieses den technischen Gegebenheiten überhaupt gerecht werden kann.

⁴³ vgl. Peterson, Doug (2023)

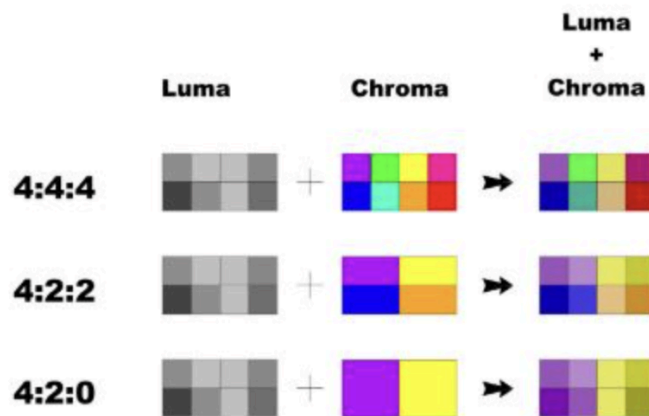
⁴⁴ Peterson, Doug (2023)

⁴⁵ Dexon Systems (2024)

2.6 Chroma Subsampling

In digitalen Videosignalen wird Helligkeit (Luma) von Farbe (Chroma) getrennt gespeichert. Chroma beschreibt somit die eigentliche Farbinformation eines Pixels und tritt unabhängig von seiner Helligkeit auf. In beispielsweise YCbCr-kodierten Videos steht das Y damit für Helligkeit (Y = Luma) und Cb oder Cr für Chroma (Cb/Cr = Chroma). Zusammengefasst trägt somit Chroma die Informationen darüber, welche Farbe ein Pixel hat, während Luma bestimmt, wie hell dieser erscheint⁴⁶.

Chroma Subsampling bedeutet im Allgemeinen, dass Farbwerte nicht für jeden Pixel einzeln gespeichert werden, sondern über mehrere Pixel geteilt werden. Das Prinzip dahinter orientiert sich am menschlichen Auge, welches Helligkeit feiner wahrnimmt als Farbe.



Das Zusammenspiel von Luma und Chroma⁴⁷

Somit nutzt Subsampling die Tendenz von Auge und Gehirn, benachbarte Farbwerte zu vermischen⁴⁸. Der Hauptzweck von Subsampling dient der Datenreduktion. Typisches 4:2:0 Subsampling wird meistens eingesetzt, um Daten weiter zu komprimieren und gezielt die Farbauflösung zu Gunsten des Speichers zu reduzieren⁴⁹.

Die gängigsten Chroma Subsampling Notationen sind 4:4:4, 4:2:2 und 4:2:0. Sie unterscheiden sich wie in der Grafik einsehbar durch ihre jeweilige Menge der für jeden Pixel gespeicherten Farben. 4:4:4 beinhaltet jede Farbe für jeden Pixel vollständig und bietet somit maximale Farbauflösung. Im Vergleich dazu beinhaltet die 4:2:2-Notation nur die davon halbierten Farbinformationen, wodurch sich zwei Pixel ein Chroma teilen. Zuletzt werden in der 4:2:0 Chroma Subsampling Notation nochmals die Farbinformationen halbiert, wodurch erneut weniger Farbinformationen im Bild gespeichert werden. In der Praxis bedeutet das bei einem 8-bit-Bild, dass eine 4:2:0-Notation ca. 50% weniger Speicherplatz benötigt als eine 4:4:4-Chroma-Notation.⁵⁰

⁴⁶ vgl. Van Hurkman (2021)

⁴⁷ Cincopa (2025): Chroma Subsampling (4:2:0, 4:2:2, 4:4:4): Why it Matters?, in: [cincopa.com](https://www.cincopa.com/learn/chroma-subsampling-4-2-0-4-2-2-4-4-4-why-it-matters), [online] <https://www.cincopa.com/learn/chroma-subsampling-4-2-0-4-2-2-4-4-4-why-it-matters>

⁴⁸ vgl. Matrox (o.D.)

⁴⁹ vgl. Cincopa (2025)

⁵⁰ vgl. Matrox (o.D.)

In der praktischen Auswirkung von Chroma Subsampling kann festgehalten werden, dass die Unterschiede zwischen den Chroma Speicherungen primär in der Nachbearbeitung auftreten, wie beispielsweise bei starkem Grading, Keying oder genauer Farbselektion. Durch die tendenziell reduzierten Farbauflösungen ist es dadurch schwieriger, bei Farbreduzierten Codecs saubere Farbtrennungen zu erzielen, was letztendlich zum Auftreten von weiteren Bildartefakten führen kann.⁵¹

Um die Unterschiede zwischen Bittiefe und Chroma Subsampling zu verstehen, ist also essentiell zu wissen, dass die Bittiefe bestimmt, **wie fein** Farbabstufungen gespeichert werden, währenddessen Chroma Subsampling festhält, **wie dicht** diese Farbinformationen räumlich vorhanden sind. Die Kombination beider Parameter definiert also die tatsächliche Farbinformation eines Videos. Somit hätte ein Video, welches mit 10-bit 4:2:2 aufgezeichnet worden ist, zwar viele Tonwertstufen, jedoch eine reduzierte Farbauflösung. Ein Video hingegen, welches ebenfalls in 10-bit aufgezeichnet wurde, jedoch die Chroma Subsampling Notation 4:4:4 besitzt, kann die volle Farbauflösung darstellen.

Für die Praxis bedeutet das, Bittiefe bestimmt die Abstufungen jedes einzelnen Farbkanals:

8-bit = 256 Stufen

10-bit = 1 024 Stufen

12-bit = 4 096 Stufen

Dies bestimmt, wie glatt Helligkeits- und Farbverläufe sind, wie stark man Kontrast, Gamma und Farben verschieben kann und wie schnell Bildfehler wie Banding im Bild entstehen.

Chroma Subsampling hingegen bezieht sich darauf, wie dicht die Farbinformationen pro Pixel gespeichert werden.

4:4:4 = Jeder Pixel hat eine eigene Farbe

4:2:2 = Zwei Pixel teilen sich eine Farbe

4:2:0 = Vier Pixel teilen sich eine Farbe

Dies beeinflusst unter anderem, wie scharf Farbkanten sind, wie sauber Hauttöne separiert werden und wie gut Masken, Keys und Selektionen in der Postproduktion funktionieren.

2.7 Kurzübersicht: Sony FX3 im Kontext der Bittiefe

Die Sony FX3, welche als Kamerasystem für das Experiment dieser wissenschaftlichen Arbeit dient, fungiert als Referenz für realistische Produktionsbedingungen durch den kinotypischen Sensor, welcher ebenfalls bei beliebten High-End-Kameras wie der Sony FX6 zu finden ist. Der Sensor mit 12,1 Megapixeln bietet sehr hohe Bildqualität, einen hohen Dynamikumfang von 15+ Stops und viel Spielraum für anspruchsvolle Aufnahmen und intensive Nachbearbeitung⁵².

⁵¹ vgl. What are 8-bit, 10-bit, 12-bit, 4:4:4, 4:2:2 and 4:2:0 (2020)

⁵² vgl. Altunin, Yaroslav (2024)

Ausgewählt wurde dieses System aufgrund der uni-typischen technischen Anforderungen und des oft genutzten Postproduktions-Workflows mit dem Sony Slog3.

Des Weiteren lässt sich bei wenigen Kamerasystemen so einfach die Bittiefe bei den Aufnahmen verändern wie bei diesem Modell. Die FX3 bietet intern 8-bit und 10-bit Aufnahmen mit bis zu 4:2:2 Chroma Subsampling^{53,54}. Extern gibt die Kamera über HDMI bis zu 16-bit Linear heraus, welches im Atomos Recorder dann in einen 12-bit Codec im Format ProRes RAW umgewandelt wird⁵⁵. Dabei bleibt auch nach der Umwandlung in 12-bit das externe RAW-Material der FX3 qualitativ hochwertig und bietet großen Spielraum für eine professionelle und intensive Farbkorrektur⁵⁶.

Durch das Nutzen derselben Kamera für alle Szenarien wird der Aspekt der Bittiefe so gut wie möglich isoliert. Somit können sich sonst ändernde Faktoren, welche der Bittiefen ähneln und möglicherweise den Ausgang des Experiments verfälschen könnten, wie beispielsweise der Dynamikumfang, so gut wie möglich ausgeschlossen werden⁵⁷.

3. Methodik

3.1 Forschungsdesign

Als grundlegender Ansatz der Arbeit dient ein qualitativ-vergleichendes Forschungsdesign. Dieses besteht aus einer Kombination aus technischer Analyse und visueller Bildbewertung mit dem Ziel der Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Bittiefen auf Artefaktbildung und Farbumfang in der Postproduktion. Die sich darin befindliche empirische Analyse befasst sich mit der Bewertung der Ergebnisse anhand klar definierter Kriterien wie Artefakte im Bild oder Grading-Flexibilität.

Als Untersuchungsgegenstand der Arbeit fungieren digitale Filmaufnahmen mit 10-bit und 12-bit digitaler Farbtiefe. Es findet ein Vergleich unter kontrollierten Bedingungen mit dem Fokus auf Bildverhalten im Grading sowie Stabilität von Farb- und Tonwertinformationen statt. Der direkte Vergleich beider Bittiefen basiert auf dem Prinzip vom Nutzen der exakt derselben Szene, denselben Licht- und Bedingungen sowie den identischen Kameraeinstellungen. Variation findet ausschließlich in den Codecs zum Abändern der Bittiefe statt. Das Ziel der Umsetzung des Vergleichs ist die Minimierung von externen Einflussfaktoren und die daraus resultierende isolierte Betrachtung der Bittiefe.

⁵³ vgl. Sony (2023): ILME-FX3 Specifications, Sony Support, [online]

<https://www.sony.com/electronics/support/camcorders-and-video-cameras-interchangeable-lens-camcorders/ilme-fx3/specifications>

⁵⁴ Chroma-Subsampling wird verwendet, um Daten weiter zu komprimieren, wodurch die Farbauflösung reduziert wird. (Cincopa (2025)

⁵⁵ vgl. Atomos (2025): Sony FX3, Supported Cameras, [online] <https://www.atomos.com/compatible-cameras/fx3/>

⁵⁶ vgl. Altunin, Yaroslav (2024): Unlock the Raw Power of the Sony FX3 Using the Atomos Ninja V, sony-cinematography.com, [online] <https://sony-cinematography.com/articles/unlock-the-raw-power-of-the-sony-fx3-using-the-atomos-ninja-v/>

⁵⁷ vgl. Tucsen Photonics Co.,Ltd (2025)

Die technische Analyse fokussiert sich auf die Untersuchung von Farbverläufen im Bild sowie die Beobachtung von Artefakten bei zunehmend stärkeren Grading-Eingriffen wie dem Anheben des Kontrasts. Währenddessen findet die Auswertung der Experimente nicht statisch statt, sondern legt den Fokus auf die qualitativen Unterschiede des Bildes sowie auf eine praxisorientierte Bewertung.

Die Bewertungskriterien bestehen aus mehreren Faktoren. Es werden Banding und Farbbrisse wie auch die Stabilität von Hauttönen und Farbflächen in die Bewertung mit einbezogen. Außerhalb davon wird das Bild auf die Reaktion von Kontrastanpassungen, Farbsättigung und selektiven Farbkorrekturen getestet.

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass die Ergebnisse nicht verallgemeinbar sind. Stets ist zu bedenken, dass die Faktoren je nach Motivwahl, Grading-Stil und Betrachtungsbedingungen variieren.

Dennoch kann eine hohe Relevanz für reale Produktionsentscheidungen erwartet werden.

3.2 Auswahl der Kamera und Codecs

Für alle Szenarien wurde die Sony FX3 verwendet. Um systembedingte Unterschiede zu minimieren und konstante Sensorcharakteristiken sicherzustellen, wurde für das gesamte Experiment nur auf diese Kamera zurückgegriffen.

Die Sony FX3 dient hier als praxisnahes und professionelles Produktionswerkzeug, welches die beiden für diese Ausarbeitung relevanten Bittiefen sowie 8-bit als Vergleichswert abdeckt. Sie eignet sich außerdem gut für den Workflow mit LOG-Profilen und ProRes RAW und bietet somit für das Experiment eine konstante Vergleichsbasis, während sie nicht selbst als Untersuchungsgegenstand gelten soll.

	8-bit	10-bit	12-bit
Codec	XAVC-S	XAVC-S-I	ProRes RAW
Datenrate	ca. 120 Mbit/s	ca. 250 Mbit/s	ca. 500 Mbit/s
Farbabtastung	4:2:0	4:2:2	RAW-Sensordaten
Funktion im Versuchsdesign	- Referenz für geringe Bittiefe - Keine primäre Vergleichsgröße, dient als Einordnung	- Praxisüblicher professioneller Standard - Zentrale Vergleichsbasis der Arbeit	- Referenz für maximal verfügbare Farbtiefe - Darstellung der theoretischen und praktischen Obergrenze
Erwartete Eigenschaften	- typische Einschränkungen - schnelles Auftreten von Artefakten	- erhöhte Grading Stabilität - Reduzierte Artefaktanfälligkeit	- Enorm stabil auf bei starken Grading Eingriffen

Veranschaulichung der Codec-Unterschiede des Experiments.

3.3 Optiken und Belichtungsstrategie

Die optische Grundlage der Belichtungsstrategie bietet die Nutzung der Sigma 35mm f/1.4 DG DN (Art) Festbrennweite. Die Optik bietet konstante optische Eigenschaften und verhindert variable Zoom-Artefakte. Durch die gleichbleibende Bildcharakteristik und die hohe Abbildungsleistung werden chromatische Aberrationen minimiert und eine hohe Schärfe gewährleistet, was dem Ziel der Minimierung von Optik-bedingten Einflüssen und dem Fokus auf Codec- und Bittiefe-bedingte Unterschiede gerecht wird.

Alle Aufnahmen wurden mit offener Blende von f/1,4 durchgeführt. Diese Entscheidung basiert auf der Philosophie von praxisnaher Abbildung von filmischer Bildgestaltung und der damit einhergehenden Relevanz für reale Dreh-Situationen. Des Weiteren ergibt sich dadurch eine stärkere Differenzierung in Tonwerten und Farbverläufen. Auch sensible Übergänge zwischen Schärfe- und Unschärfebereichen können differenzierter untersucht werden. Somit fungiert die offene Blende als bewusst anspruchsvolle Testsituation und potenzieller Verstärker für Artefakte in Farb- und Tonwertübergängen.

Des Weiteren wurde zur Regulierung von Belichtung auf den Einsatz von einem ND-Filter⁵⁸ zurückgegriffen. Somit konnten potenzielle Faktoren wie das Abändern der ISO oder der Blende ausgeschlossen werden und der ND-Filter als notwendiges Kontrollinstrument im Versuchsaufbau integriert werden.

Das Ziel dieser Belichtungsstrategie ist die identische Belichtung über alle Bittiefen und Codecs hinweg. Im Allgemeinen orientiert sich die Belichtung an dem LOG-Profil Sony S-Log3. Um den Referenzwert für die mittleren Grautöne nicht zu verfälschen, wurde bei den Experimenten eine Graukarte als Referenzpunkt für den Weißabgleich sowie die Farbkalibrierung verwendet. Durch das manuelle Festlegen dieses Wertes sollen Farbdrifts verhindert werden⁵⁹. Des Weiteren wurde bei allen Experimenten ausschließlich die Basis ISO von 800 verwendet.

3.4 Beschreibung der drei Szenen

Die allgemeine Zielsetzung der Szenenauswahl war das Kreieren von drei bewusst sehr stark kontrastierenden Szenarien. Jede Szene soll unterschiedliche Problemzonen vom Faktor Bittiefe wie Helligkeitsverläufe, Hauttöne oder Farbübergänge provozieren.

⁵⁸ ND-Filter = Neutralsdichte Filter. Dieser reguliert die Lichteinstrahlung, ohne dabei die Farbgebung zu verändern.

⁵⁹ vgl. Freeman, Michael (2009)

Szene A - Low-Key-Situation mit Kerzenlicht



Um den Aufbau des Experiments möglichst vollständig nachzuvollziehen, sind auf der linken Seite das Vorschaubild des 10-bit XAVC-S-I footages eingblendet und rechts eine Übersicht des Floorplans.

In der ersten Szene dient ausschließlich das Kerzenlicht als Lichtquelle, währenddessen die Umgebung, wie auch das Fenster, welches auf dem Floorplan auf der linken Seite einsehbar ist, vollständig abgedunkelt wurde.

Die Person sitzt, während das Kerzenlicht direkt ins Gesicht fällt. Die Aufnahme wurde bewusst sehr dunkel belichtet, um die Einflussfaktoren der Bittiefe weiter zu stressen. Des Weiteren entstehen durch die direkt belichteten Haut- und Stoffpartien sowie die tiefen Schatten starke Kontraste, welche Optionen für kritische Testbedingungen wie das Anheben von Schatten bieten.

Bei diesem Szenario ist zu erwarten, dass der Unterschied der Bittiefen besonders bei starken Anhebungen der Belichtung erkennbar wird. Der Beobachtungsfokus liegt hier besonders bei den Helligkeits- und Tonwertübergängen von den Highlights zu den Schatten.

Szene B - Mischlicht mit bewusst falschen Weißabgleich



Auch hier dient das 10-bit footage des unbearbeiteten Materials als Beispielbild für die Szenerie. Auf dem Floorplan sind das Belichtungs-Szenario sowie die Kamerapositionierung zur Nachvollziehbarkeit übersichtlich aufgeführt.

Szenario B beinhaltet zwei wesentlich unterschiedliche Lichtquellen. Zum einen wirft das Fenster links neben der Person natürliches Tageslicht auf die von der Kameraperspektive linke Seite ihres Gesichts, während von der anderen Seite stark warmes Kunstlicht auf die andere Gesichtshälfte fällt. Zudem wurde der Weißabgleich bewusst 1200 K unter dem mit der Graukarte abgestimmten Wert eingestellt, um in der Postproduktion weiteren Stress auf die Bittiefen auszuwirken.

Die gestalterische und technische Relevanz dieses Szenarios besteht aus einer klassischen Mischlichtsituation aus der Praxis, welche für die Ergebnisse weiter ausgereizt wurde. Somit dient der falsch gesetzte Weißabgleich als gezielte Provokation für noch stärkere Farbkorrekturen und stellt insgesamt hohe Anforderungen an die Farbseparation, Hauttöne und sekundäre Farbkorrekturen.

Die Erwartungshaltung liegt bei diesem Szenario auf der Sichtbarkeit von Farbabrissen, instabilen Hauttönen und dem Entstehen von Artefakten durch selektive Korrekturen. Es bietet somit einen guten Vergleich, wie stabil 10-bit und 12-bit auf starke Farbverschiebung reagieren.

Szene C - Weitwinkelaufnahme mit Himmel und Wolken



Die Person wird von unten geframed, wobei die Wolken klar sichtbar sind.

Der Himmel dient in diesem Szenario als klassisches Motiv für weiche Farb- und Helligkeitsverläufe und fungiert durch seine feinen Tonwertabstufungen als typischer kritischer Bereich für Bittiefe. Durch den sauber eingestellten Weißabgleich wird eine neutrale Ausgangsbasis mit dem Fokus auf Tonwert statt Farbkorrekturen geschaffen.

Hier liegt die erwartete Relevanz für Bittiefe bei den feinen Tonwertabstufungen im Himmel und damit einhergehendem Bading bei geringeren Bittiefen. Der Vergleich, wie unterschiedliche Bittiefen mit subtilen Gradients umgehen, könnte somit zwischen glatten und gestuften Verläufen entscheiden.

3.5 Aufnahmeprozess

Um konstante Umgebungsbedingungen zu schaffen und den Einfluss externer Faktoren so weit es geht zu minimieren, wurden alle drei Szenen an einem Drehtag aufgezeichnet.

Die Aufnahmen der Szenen erfolgten direkt nacheinander. Außerdem wurden sowohl das Set als auch die Optik oder Lichtsetzung zwischen den Wechseln der Codecs nicht verändert. Ebenfalls wurden keine Takes der Szenen, mit Ausnahme des zusätzlichen Aufnehmens des zweiten Szenarios mit korrektem Weißabgleich, wiederholt. Das Ziel dieses Vorgehens war die maximale Vergleichbarkeit während des Vermeidens variabler Einflussfaktoren.

Die Sicherstellung des Fokus geschah durch das Eye-Tracking-Feature des Sony-Autofokus-Systems. Der Vorteil dieses Systems ist seine Verlässlichkeit und keine fokussierbedingten Unterschiede zwischen Takes. Ebenfalls erfolgten alle Aufnahmen vom Stativ, um die visuelle Verfälschung durch Bewegung auszuschließen.

Des Weiteren wurden die Belichtungsparameter wie der ND-Filter, Verschlusszeit oder Blende zwischen den Änderungen der Codecs nicht verändert. Somit kann gesagt werden, dass alle bildrelevanten Parameter, worunter auch das Gamma-Profil fällt, strikt konstant und über alle Bittiefen hinweg identisch geblieben sind, um eine möglichst neutrale Ausgangsbasis und maximale Vergleichbarkeit im Grading zu schaffen.

Die internen und externen Aufnahmen wurden getrennt und nacheinander aufgezeichnet. Bei der externen Aufnahme über den Atomos Shogun Ultra wurde darauf geachtet, die relevanten Parameter wie ISO, Blende, Shutter und Weißabgleich exakt den Kameraeinstellungen zu spiegeln. Dabei ist zu beachten, dass die kamerainterne Noise Reduction⁶⁰ bei den internen Aufnahmen greift. Das bedeutet, dass bei den externen RAW-Aufzeichnungen keine automatische Rauschreduzierung zum Einsatz kam. Diese Abweichung wurde nicht als bewusste Variable im Experiment eingeführt und im Nachhinein als methodische Differenz eingeführt.

Die Noise Reduction Differenz wird damit als bekannte Einschränkung des Versuchsdesigns benannt und in der Interpolation der Ergebnisse, sofern relevant, berücksichtigt. Final wird sie somit nicht als zentrale Einflussgröße der Untersuchung gewertet.

Um den Aufnahmeprozess zusammenfassend zu bewerten, kann dieser als insgesamt stark kontrolliert und bewusst standardisiert beschrieben werden. Das Ziel der Vergleichbarkeit der Bilddaten und der klaren Zuordnung beobachtbarer Unterschiede der Bittiefen kann somit ohne relevante Schwierigkeiten oder Einschränkungen durchgeführt werden. Der Prozess bildet somit eine stabile Grundlage für die nachfolgende Postproduktion-Analyse.

⁶⁰ Noise Reduction = Rauschreduzierung. [Sie] bezeichnet den Prozess der Entfernung unerwünschter Artefakte, oft als „Rauschen“ bezeichnet, aus einer Videodatei. (Tella (o.D): Noise Reduction: The Process of removing noise from an image, Tella [online] <https://www.tella.com/definition/noise-reduction>)

4. Analyse der drei Szenarien

4.1 Szene A – Interior, Kerzenlicht, starke Kontraste

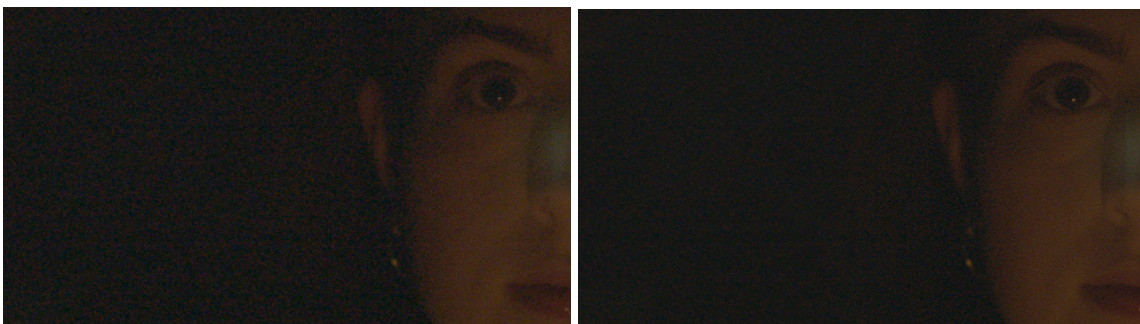


Unbearbeitete Version aller Clips des ersten Szenarios

Als allgemeine Beobachtung der unbearbeiteten Clips des ersten Szenarios kann festgehalten werden, dass es auf den ersten Blick kaum sichtbare Unterschiede zwischen den Bittiefen gibt. Wie bereits erwähnt, wird beim allgemeinen, unbearbeiteten Vergleich 8-bit als Referenzbild mit aufgeführt. Bei normaler Betrachtungsgröße wirkt das Bildmaterial insgesamt sehr ähnlich, bis auf das Bildrauschen bei 12-bit, welches durch die fehlende interne Rauschreduzierung auftritt.

Geht man auf die Farbwahrnehmung und den Weißabgleich ein, so wirkt das 12-bit-Material minimal wärmer. Diese Abweichung ist nicht auf veränderte Aufnahmeeinstellungen zurückzuführen und tritt trotz identischer Kameraeinstellungen auf. Dies könnte ein Hinweis auf eine effektive interne Signalverarbeitung bei starken Low-Light-Szenarien sein oder eine unterschiedliche Interpretation der Sensordaten im RAW-Workflow aufzeigen.

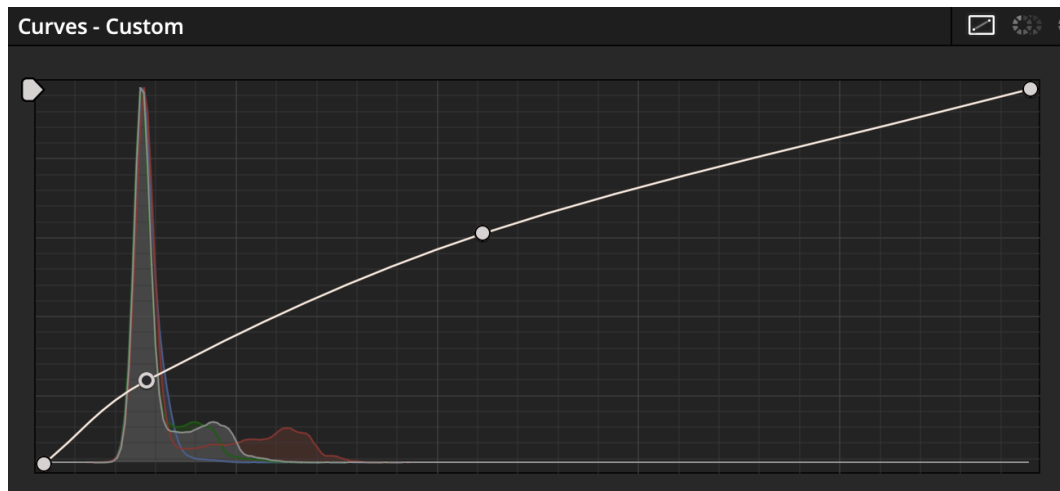
Um die Bedingungen des Experiments für die beiden relevanten Bittiefen anzupassen, wird der 12-bit-Clip optisch dem 10-bit-Clip durch manuelle Rauschreduzierung und Nachschärfen im Gesicht angepasst.



12-bit / 600% Zoom / keine Bearbeitung

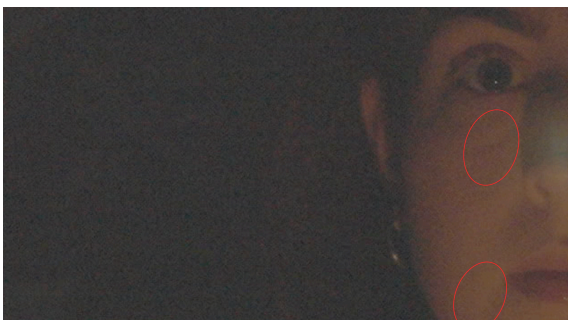
12-bit / 600% Zoom / Denoise & Sharpen

Um anschließend die Unterschiede der Bittiefen in unterbelichteten Szenarien zu provozieren, werden in der Tonwertkurve die dunklen Bereiche sowie die Midtones angehoben.



Auf der Tonwertkurve ist gut zu erkennen, dass die dunklen Bereiche im Bild stark überwiegen

In den daraus resultierenden Ergebnissen ist ein leicht verbesserter Verlauf bei den Hauttönen im 12-bit-Clip zu erkennen. Beim 10-bit-Material wirken die Hauttöne vereinzelt etwas flächig.

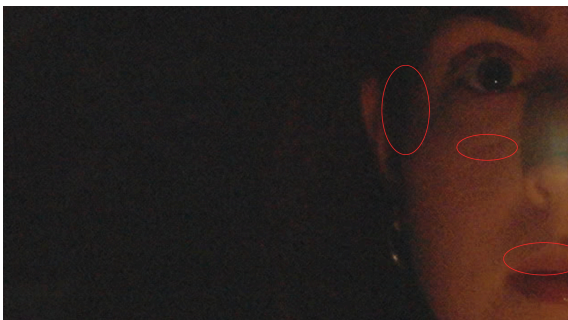


10-bit / 600% Zoom / Shadows & Midtones angehoben

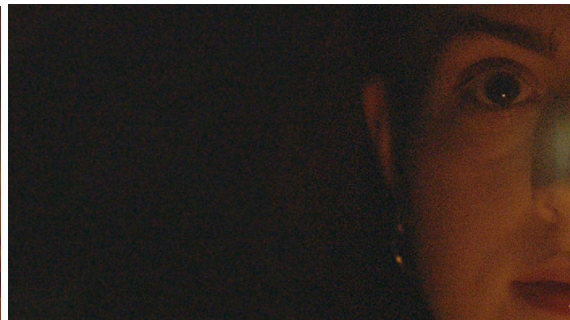


12-bit / 600% Zoom / Shadows & Midtones angehoben

Um nun final starke Unterschiede aus den Clips zu erhalten, wird der Kontrast um 400% angehoben. Nun werden die Farbflächen bei dem 10-bit Clip wesentlich sichtbarer und die Schatten in den Haaren sind als weniger fein und stufig als beim 12-bit Clip zu erkennen.



10-bit / 600% Zoom / Shadows & Midtones angehoben / 400% Kontrast



12-bit / 600% Zoom / Shadows & Midtones angehoben / 400% Kontrast

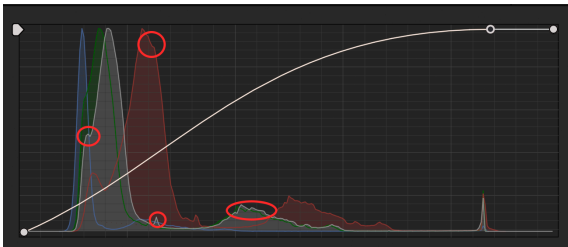
Bei einem Blick auf das im Bild platzierte Highlight erkennt man minimal stärker ausgeprägte Abstufungen im Kerzenschein des 10-bit-Clips. Deutlicher wird dies, wenn man sich die Tonwertkurve der einzelnen Clips anschaut, da dort im 12-bit-Clip die Highlights weicher und weniger abrupt abfallen.



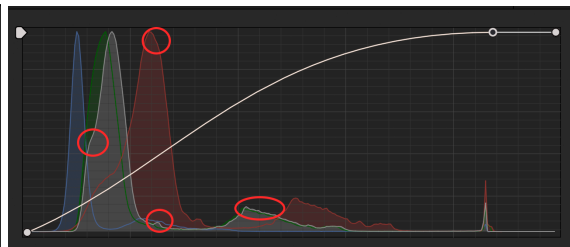
10-bit / 600% Zoom / Midtones angehoben



12-bit / 600% Zoom / Midtones angehoben



10-bit / Tonwertkurve



12-bit / Tonwertkurve

Kurzes Zwischenfazit

In der Low-Key-Situation mit Kerzenlicht zeigen sich Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit erst bei sehr starker Bildmanipulation. Klassisch relevante Bildartefakte wie Banding oder starke Farbbrisse treten bei keiner der Bittiefen auf. Trotzdem weist das 12-bit-Material stabilere Tonwertverläufe in den Schatten und Highlights auf, während die Unterschiede im praktischen Bildeindruck gering bleiben.

4.2 Szene B – Indoor, Mischlicht mit Natur- und Kunstlicht & Hauttöne



Unbearbeitete Version aller Clips von Szenerie 2

Die genaue Ausgangssituation und das Setup wurden wie folgt aufgebaut:

- Korrekte Farbtemperatur am Set mit Graukarte ermittelt: 3700 K
- Bewusst verfälschter Weißabgleich: 2500 K
- Flächenleuchte Farbtemperatur auf 2500 K eingestellt

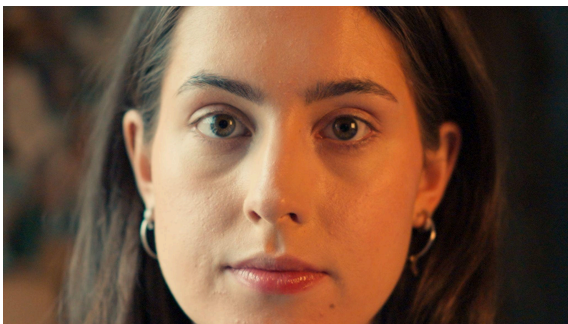
Die Philosophie dieses Aufbaus war eine gezielte Provokation von starken Farbkorrekturen in der Postproduktion sowie die damit einhergehende Untersuchung der Stabilität unterschiedlicher Bittiefen bei Weißabgleichkorrekturen.

Der erste Schritt der Postproduktion bestand darin, den Weißabgleich in DaVinci Resolve wiederherzustellen sowie die Umwandlung in den Working Colorspace DaVinci Intermediate und DaVinci Wide Gamut. Des Weiteren wurde der Output Color Space auf Rec.709 und Gamma 2.2 gesetzt. In keiner der Clips können direkte Bildfehler wie Banding verzeichnet werden, wodurch festgestellt werden kann, dass sich die Unterschiede in den Feinheiten des Bildes verbergen.

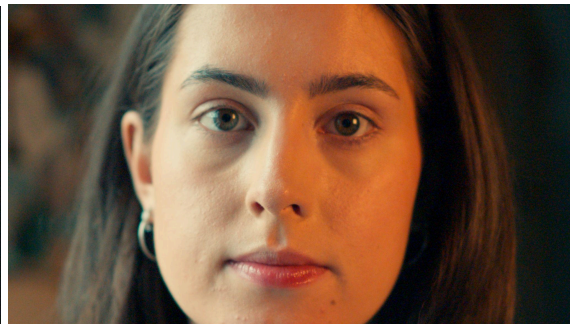


WB Korrektur auf 3700K

Als erste Überprüfung der Unterschiede wird in das Bild 300% hinein gezoomt, wobei auch hier noch keine optischen Unterschiede erkennbar sind.

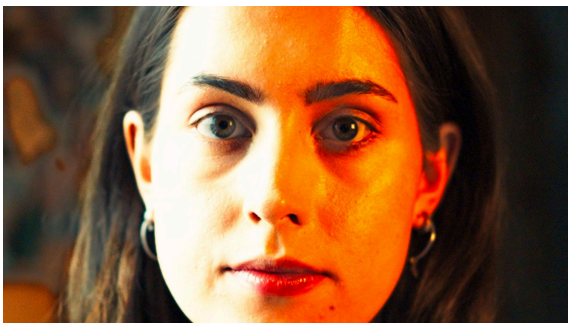


10-bit / 300% Zoom / CST & WB Korrektur

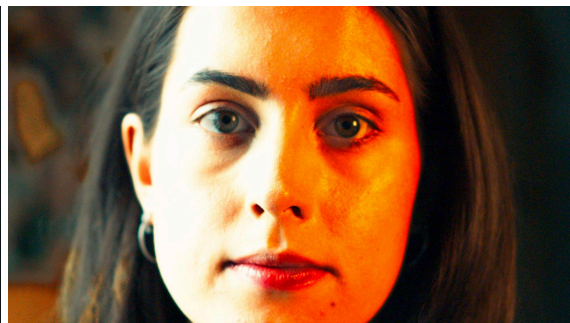


12-bit / 300% Zoom / CST & WB Korrektur

Um nun auch in diesem Szenario die Unterschiede der Bittiefen herauszuarbeiten, wurden der Kontrast der Hauttöne um 40% sowie die Highlights im Bild angehoben.

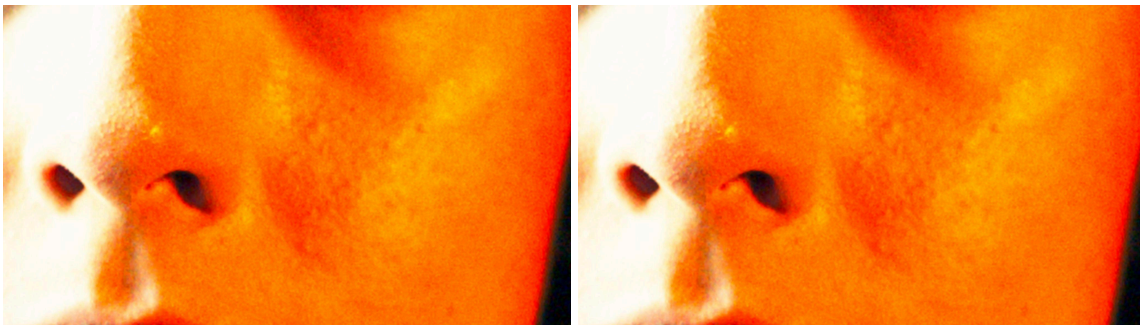


10-bit / 300% Zoom / CST & WB Korrektur /
Hautton Kontrast 140% / Highlights angehoben



12-bit / 300% Zoom / CST & WB Korrektur /
Hautton Kontrast 140% / Highlights angehoben

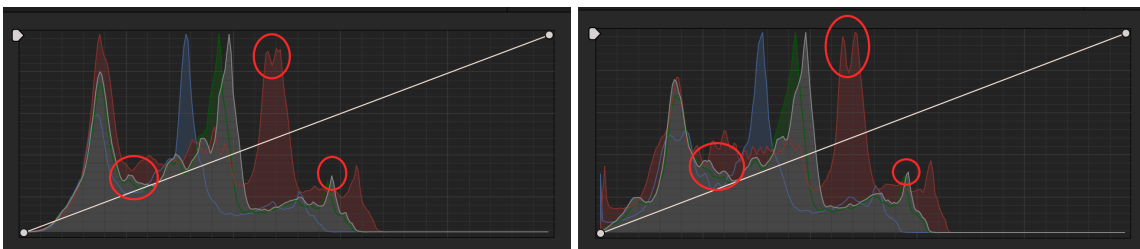
Das Resultat sind trotzdem kaum sichtbare Unterschiede der beiden Bittiefen. Selbst bei einem 1000-prozentigen Zoom auf die kritischen Bereiche der Hauttöne kann kein Unterschied durch das menschliche Auge erschlossen werden.



10-bit / 1000% Zoom / CST & WB Korrektur /
Hautton Kontrast 140% / Highlights angehoben

12-bit / 1000% Zoom / CST & WB Korrektur /
Hautton Kontrast 140% / Highlights angehoben

Obwohl der 12-bit Clip wesentlich mehr Optionen zur Darstellung von Farbkontrasten und damit auch Verläufen bietet, werden Unterschiede jedoch erst wirklich in der Tonwertkurve der Clips sichtbar, in welcher an den Extremstellen die Kurvenverläufe minimalst weicher als bei dem 10-bit Clip verlaufen.



10-bit / Tonwertkurve

12-bit / Tonwertkurve

Kurzes Zwischenfazit

Unter korrekt ausgeleuchteten Bedingungen mit Mischlicht unterscheiden sich 10-bit und 12-bit selbst bei stark provozierten Farbkorrekturen kaum. Das Material zeigt eine hohe Stabilität über alle Bittiefen hinweg und gibt selbst unter extremen Bearbeitungs- und Betrachtungsbedingungen sowie der Tonwertkurve kaum sichtbare Unterschiede preis.

4.3 Szene C – Outdoor, Fokus auf Himmel & Highlights



Unbearbeitete Version aller Clips aus Szenario 3

Das Hauptziel dieses Szenarios ist es, durch die feinen Tonwertunterschiede im Himmel Unterschiede in den Bittiefen sichtbar zu machen. Es soll erkennbar werden, bei welchen Bittiefen kritische Flächen auch bei starken Helligkeitskorrekturen die feinen Farbübergänge erhalten bleiben.

Nach dem Umwandeln der Clips in den Bearbeitungs-Farbraum durch ein Color Space Transform Node sind sowohl auf optischer Ebene, wie auch bei den Waveforms keine sichtbaren Unterschiede oder grobe Bildartefakte wie Banding oder starke Farbbrüche zu verzeichnen.

Um die Unterschiede der Bittiefen in diesem Clip zu provozieren, wird das interne Tool Depth Map von DaVinci Resolve verwendet. “[Diese] scannt [das] 2D-Filmmaterial und generiert einen Alphakanal (eine Maske), basierend darauf, wie weit Objekte von der Kamera entfernt sind. Im Wesentlichen erstellt es virtuelle Ebenen in einem 3D-Raum, die alle aus Ihrem Standard-Videoclip abgeleitet sind”⁶¹.

Nach dem Isolieren des Himmels mit der Depth Map wird dieser um 200% heller gemacht.

⁶¹ Robinson, Justin (2025): DaVinci Resolve Depth Map Explained, JAYARETV, [online] <https://javaretv.com/color/davinci-resolve-ai-depth-map-explained/>



Alle Clips / Himmel 200% Helligkeit angehoben

Wird nun in die Ecken des Materials gezoomt, so sind bei dem 12-bit-Clip etwas mehr Details in den Farbverläufen zu erkennen als bei dem 10-bit-Material.



10-bit / 200% Zoom / Himmel 200% angehoben

12-bit / 200% Zoom / Himmel 200% angehoben

Kurzes Zwischenfazit

In einer natürlich beleuchteten Szene mit korrektem Weißabgleich zeigen sich Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit erst nach gezielter Tonwert-Manipulation. Das 12-bit-Material weist dabei eine höhere Detailstabilität in homogenen Himmelsverläufen auf, ohne dass diese Unterschiede im normalen Betrachtungsmaßstab deutlich sichtbar oder relevant wären.

5. Diskussion

5.1 Interpretation der Ergebnisse

Als grundsätzliche Einordnung der Ergebnisse kann angegeben werden, dass die durchgeführten Analysen durchaus Unterschiede zwischen den Bittiefen von 10-bit und 12-bit zeigen. Diese treten jedoch nicht konstant oder sehr offensichtlich auf. Die Ergebnisse bestätigen die These, dass sich Bittiefe nicht primär im Ausgangsbild wirkt, sondern vor allem im Kontext der Postproduktion und starken Tonwertveränderungen Einfluss nimmt.

Die Wahrnehmbarkeit im Normalbetrieb von Material bei moderatem Color Grading ist also als kaum visuell zu verzeichnende Unterschiede zu benennen, da das Bildmaterial in allen drei Szenarien ohne starke Nachbearbeitung fast immer identisch erscheint.

Trotzdem kann durch die Unterschiede bei starken Kontrasterhebungen, intensiven Farbkorrekturen oder gezielter starker Manipulation von Schatten und Highlights die Bittiefe als Reservefaktor dienen. Doch selbst unter Extrembedingungen sind Unterschiede nur minimal zu erkennen und werden nur sichtbar, wenn es darauf angelegt wird, diese zu provozieren und herauszuarbeiten.

In mehreren Fällen zeigen sich Unterschiede deutlicher in der Tonwertkurve als im subjektiven Bildeindruck. Dies weist darauf hin, dass höhere Bittiefe primär die interne Bildstabilität erhöht und Reserven schafft, anstatt zwangsläufig sofortige Bildveränderungen zu kreieren.

Somit wirkt die Bittiefe eher präventiv und nicht als direkter wahrnehmbarer Qualitätsfaktor.

Die Ergebnisse lassen also erkennen, dass sich die Auswirkung unterschiedlicher Bittiefen weniger im fertigen Bild, sondern stärker im intensiven Bearbeitungsprozess bemerkbar macht.

5.2 Bedeutung der Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit für die Praxis

Unter praxisnahen Produktionsbedingungen sind Unterschiede zwischen 10-bit und 12-bit also meist nicht direkt und eindeutig sichtbar, sondern erzeugen die Möglichkeit, bildgestalterische Extremsituationen wie das Belichten vom Himmel sauberer und sicherer durchzuführen. Insbesondere wird dies relevant, wenn andere Parameter wie ein korrekter Weißabgleich und hochwertige Optiken erfüllt sind.

10-bit ist somit ausreichend für die meisten szenischen, dokumentarischen und kommerziellen Produktionen und hält mit seiner hohen Kompatibilität und effizientem Workflowverhalten die Datenraten im Vergleich zu 12-bit deutlich niedriger.

Im Vergleich dazu bietet 12-bit vor allem Vorteile, wenn die Aufnahmesituationen schwer kontrollierbar sind oder mit starkem oder experimentellem Color Grading zu rechnen ist. Diese Bittiefe fungiert somit grundlegend als Absicherung bei fehlerhaften Aufnahmen wie starker Belichtungskorrektur oder falschem Weißabgleich.

Der praktische Mehrwert von 12-bit liegt also weniger im Look direkt, als dafür mehr in der Fehlerverzeihung und Nachbearbeitungsreserve.

Die Wahl zwischen 10-bit und 12-bit ist daher weniger eine Frage sichtbarer Qualität, sondern eher eine Entscheidung zwischen Workflow-Effizienz und maximaler Sicherheit.

5.3 Grenzen der eigenen Untersuchung

Um die Grenzen der Untersuchung zu verstehen, wird der Aufnahmeprozess aufgeschlüsselt.

Bei dem gesamten Experiment nur auf eine Kamera zurückzugreifen, war essentiell, da die Vergleichbarkeit der Aufnahmen gegeben sein muss, um den Faktor Bittiefe so gut es möglich zu isolieren. Trotzdem vergleicht man in dieser Untersuchung eine Eigenschaft, die systemübergreifend für alle Kamerasysteme relevant ist, hier ausschließlich mit einem angewendeten System, nämlich Sony.

Wie sich also die Bittiefe systemübergreifend verhält, bleibt zu klären.

Auch der Workflow in der Postproduktion basiert auf den Kenntnissen einer einzelnen Person und sollte für ein vollständiges und stark umfangreiches Experiment von Bittiefen über mehrere Systeme ebenfalls angepasst werden.

Die Ergebnisse sind daher nicht uneingeschränkt auf andere Kameras und Codecs übertragbar.

Des Weiteren erfolgt die Analyse qualitativ und ohne statistische Auswertung von Zuschauerstudien, welche bei wahrnehmungsbasierten Bewertungen ebenfalls nutzbar sein könnten. Visuelle Unterschiede wurden teilweise erst unter extremen Grading-Bedingungen sowie starkem Zoom ansatzweise sichtbar, was die praktische Relevanz des Themas hervorhebt.

Außerdem wurden externe Einflussfaktoren wie die interne Rauschreduktion des Sony-Systems vernachlässigt und erst im Verlauf der Arbeit als methodische Differenz anerkannt. Auch die minimale Veränderung der Lichtverhältnisse bei der Arbeit mit natürlichem Licht konnte nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Der Vollständigkeit halber ist somit zu erwähnen, dass die Untersuchung keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit erhebt, sondern praxisnahe Ergebnisse unter weitreichend kontrollierten Bedingungen liefern soll.

5.5 Ansätze für weiterführende Untersuchungen

Um die Parameter der Bittiefe praxisnah zu untersuchen, sollten diverse weitere Kamerasysteme mit abweichenden Sensoren und Herstellern genutzt werden. Zur Vollständigkeit dient auch die Einbeziehung von weiteren relevanten Codecs und RAW-Implementierungen sowie LOG-Profilen. Des Weiteren sollten andere Farbräume, Kompressionen und interne Signalverarbeitungen in den Kontext der Ausgabe der Bittiefe mit einbezogen werden. Unter anderem eine Erweiterung um HDR-Workflows und unterschiedliche Abspieloptionen sowie Bildschirmgegebenheiten sollte genutzt werden, wie auch eine Ergänzung durch wahrnehmungspsychologische Studien und strukturierte Zuschauervergleiche.

6. Fazit

6.1 Allgemeine Beantwortung der Forschungsfrage

Die Untersuchung der Bittiefen zeigt, dass sich die Auswirkungen von 10-bit und 12-bit nicht primär im unbearbeiteten Ausgangsmaterial, sondern vor allem im Verlauf der Postproduktion manifestieren.

Zwischen 10-bit und 12-bit-Aufnahmen lassen sich bei moderater Bearbeitung kaum visuell wahrnehmbare Unterschiede feststellen. Diese werden vorwiegend erst sichtbar, wenn starke Kontrast- oder Farbkorrekturen stattfinden oder gezielte Tonwerte oder Farbbereiche manipuliert werden. In diesem Szenario zeigt 12-bit Material generell stabilere Tonwertverläufe und eine geringere Neigung zu Artefaktbildung wie flächigen Übergängen oder Stufenbildung. 10-bit Material hingegen weist unter extremen Grading-Eingriffen frühere Einschränkungen in der Tonwertdifferenzierung auf.

Hinsichtlich des Farbumfangs zeigen sich keine grundsätzlichen sichtbaren Unterschiede im darstellbaren Farbraum, jedoch Unterschiede vereinzelt in der Feinheit der Farbabstufungen und der Stabilität bei Farbtransformationen.

Insgesamt wirkt sich eine höhere Bittiefe also weniger auf den wahrnehmbaren Look des Materials als auf die technische Robustheit und Bearbeitungsreserve in der Postproduktion aus. Die Wahl der Bittiefe dient also als eine bewusste Abwägung zwischen Qualität, Kosten, Größe und Geschwindigkeit des Workflows und hängt stark vom jeweiligen Einsatzgebiet ab⁶².

⁶² vgl. Peterson, Doug (2023)

6.2 Unverbindliche Handlungsempfehlung für Studierende

Auf Basis der Untersuchungen und der Grundannahme vom begrenzten Budget lässt sich 10-bit als sinnvoller Zielstandard festlegen. Es ist durch seine gute Balance zwischen Qualität und Datenmenge gut geeignet für Kurzfilme, Hochschulprojekte und szenische Arbeiten. 12-bit-basierte Systeme hingegen sollten eher als sinnvolle Ergänzung für Abschlussprojekte oder visuelle sehr anspruchsvolle Arbeiten gesehen werden. Keineswegs sollte 12-bit jedoch ein Dauerzustand der Produktionsbedingungen sein. Außerdem sollte 8-bit nicht völlig ausgeschlossen werden, da bei sauberer Belichtung und gut verarbeitetem Kamerasignal es sich gut für dokumentarische Arbeiten, schnelle Projekte oder jene mit wenig Speicherkapazitäten verwenden lässt. Die Ergebnisse der Experimente zeigen, dass die visuellen Unterschiede in der Praxis meist zu vernachlässigen sind.

Statt den Fokus auf die komplexen technischen Gegebenheiten wie Bittiefe zu legen, sollte die Priorität bei studentischen Arbeiten mit dem Fokus auf das Lernen der Workflows, eher auf den korrekten und kreativen Einsatz von Licht oder Optiken gesetzt werden. Komplexere technische Aufrüstung garantiert nicht automatisch bessere Bilder, sondern erweist sich erst als sinnvolle Option, wenn die eigene Gestaltung und Postproduktion Gegebenheiten an ihre Grenzen stoßen.

Das Ziel für Studierende sollte sein, ein stabiles und verlässliches Setup, welches die kreative Arbeit ohne unnötige technische Komplexität ermöglicht, zu wählen.

6.3 Persönliche Einordnung aus Sicht eines Kameramanns

Realistisch liefern die Ergebnisse die Schlussfolgerung, dass sich die Wahrnehmbarkeit der Bittiefen stark in Grenzen hält und somit für kleine bis mittelgroße Projekte 12-bit keinen sichtbaren Mehrwert bietet. Besonders im Verhältnis zum Speicherbedarf ist die massive Erhöhung der Daten für solche Produktionen nicht sinnvoll.

Der Speicher, das Datenhandling sowie der komplexere Workflow würden in so einem Szenario einen wesentlich größeren technischen Aufwand erzeugen, ohne eine eindeutige optische Verbesserung im finalen Bild zu bieten.

Mit wachsendem Budget kann jedoch 12-bit als gute Absicherung für mehr Spielraum in der Nachbearbeitung dienen, falls etwas am Set nicht ideal läuft. Es bildet dadurch eher eine Art Sicherheitsnetz und dient als Qualitätsgarantie für größere Projekte. Dies ist auch der Grund, warum 12-bit bei High-End-Kinoproduktionen und professionellen Postproduktionspipelines verwendet wird, da diese mit extremer Farbgenauigkeit arbeiten⁶³.

Auch bei Arbeiten mit Greenscreen oder CGI-Arbeiten bietet 12-bit ein exzellentes Einsatzgebiet und ist dort ein sinnvolles Tool⁶⁴.

⁶³ vgl. Cincopa (2025)

⁶⁴ vgl. Tomkies, Pete (2019)

Eigene Schlussfolgerung

10-bit deckt praktisch alle eigenen Anforderungen an Produktionen ab und ist der Scheidepunkt zwischen professionellen Aufnahmen und High-End-Produktionen. Auch wenn Filmtechnik stets nach noch besseren, noch größeren, noch komplexeren Wegen strebt, soll diese Untersuchung aufzeigen, dass, auch wenn ein Faktor auf dem Papier als sinnvoll und essentiell beschrieben wird, es in der Praxis nicht immer einen starken Unterschied ausmacht.

Als Erkenntnis dieser Untersuchung lässt sich formulieren, dass oft andere Faktoren wie Dynamikumfang einen tieferen und direkteren Einfluss auf das Endbild ausüben als die Bittiefe selbst⁶⁵. Des Weiteren ist die interne Signalverarbeitung der Kamera mindestens genauso entscheidend für die Qualität des Produkts.

Überraschenderweise positioniert sich auch das 8-bit-Material als durchaus vertretbare Aufnahmeoption. Ein großer Teil dazu trägt auch die korrekte Belichtung wie auch die FX3-internen Verarbeitungsprozesse bei, jedoch kann 8-bit trotzdem durch seine Vorteile als schnell zu verarbeitendes Material in passenden Szenarien sehr hilfreich sein.

Als finale Schlussfolgerung kann festgehalten werden, dass Technik als Werkzeug dienen sollte, und nicht als Selbstzweck. Für die Zukunft ist es wichtig, sich der Gefahr bewusst zu werden, dass es einfach ist, sich in technischen Spezifikationen zu verlieren. Die eigene Kreativität bietet bei der Erschaffung von anspruchsvollen Bildern mehr Möglichkeiten, als jedes technische Parameter dazu jemals in der Lage wäre.

⁶⁵ vgl. Peterson, Doug (2023)

7. Literaturverzeichnis

Altunin, Yaroslav (2024): Unlock the Raw Power of the Sony FX3 Using the Atomos Ninja V, sony-cinematography.com, [online]

<https://sony-cinematography.com/articles/unlock-the-raw-power-of-the-sony-fx3-using-the-atomos-ninja-v/> [abgerufen am 29.12.2025]

Atomos (2025): Sony FX3, Supported Cameras, [online]

<https://www.atomos.com/compatible-cameras/fx3/> [abgerufen am 29.12.2025]

Cincopa (2025): Bit Depth in Video: 8-bit, 10-bit and 12-bit Explained, in: [cincopa.com](https://www.cincopa.com), [online] <https://www.cincopa.com/learn/bit-depth-in-video-8-bit-10-bit-and-12-bit-explained> [abgerufen am 15.11.2025]

Cincopa (2025): Bit Depth in Video: 8-bit, 10-bit and 12-bit Explained, in: [cincopa.com](https://www.cincopa.com), [online] <https://www.cincopa.com/learn/bit-depth-in-video-8-bit-10-bit-and-12-bit-explained> [abgerufen am 15.11.2025]

Cincopa (2025): Chroma Subsampling (4:2:0, 4:2:2, 4:4:4): Why it Matters?, in: [cincopa.com](https://www.cincopa.com), [online] <https://www.cincopa.com/learn/chroma-subsampling-4-2-0-4-2-2-4-4-4-why-it-matters> [abgerufen am 30.01.2026]

Dexon Systems (2024): What does Bit Depth Mean? Why is it important?, in: Resources/Blog, [online] <https://dexonsystems.com/blog/bit-depth> [abgerufen am 17.11.2025]

Flückiger, Barbara (2008): Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer. Marburg: Schüren 2008, S. 334-356.

Flückiger, Barbara (2008): Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer. Marburg: Schüren 2008, S. 334-356.

Freeman, Michael (2009): Kunst der perfekten Belichtung: Der Schlüssel zu brillanten Bildern, München, Deutschland: Markt-&-Technik-Verleih, S. 36

Mackin, Alex/Di Ma/Fan Zhang/ David Bull (2021): A Subjective Study on Videos at Various Bit Depths, in: Bristol Vision Institute, University of Bristol, S. 1

Matrox (o.D.): Introduction to Color Spaces in Video, Guides & Articles, [online]
<https://video.matrox.com/en/media/guides-articles/introduction-color-spaces-video> [abgerufen am 15.11.2025]

Neat Blog (2021): Learn how to handle banding, [online]
<https://www.neatvideo.com/blog/post/banding> [abgerufen am 15.11.2025]

Peterson, Doug (2023): In-Depth on Bit Depth, in: DT Heritage, [online]
<https://heritage-digitaltransitions.com/in-depth-on-bit-depth/> [abgerufen am 11.11.2025]

Reid, Andrew (2015): Is Adobe Premiere to blame for banding in 8-bit DSLR footage?, [online]
<https://www.eoshd.com/news/is-adobe-premiere-to-blame-for-banding-in-8bit-dslr-footage-can-on-1d-c/>
[abgerufen am 16.12.2025]

RMIT University (2023): Colour gamuts and colour spaces, in: rmit.pressbooks.pub, [online]
<https://rmit.pressbooks.pub/colourtheory1/chapter/colour-spaces-or-gamuts> [abgerufen am 18.12.2025]

Robinson, Justin (2025): DaVinci Resolve Depth Map Explained, JAYARETV, [online]
<https://jayaretv.com/color/davinci-resolve-ai-depth-map-explained/> [abgerufen am 20.01.2026]

Safonov, Nickolay/Vatolin, Dmitriy (2022): Bit-depth enhancement detection for compressed video, in: MSU Institute of Advanced Studies of Artificial Intelligence and Intelligent Systems, S. 1

Sony (2023): ILME-FX3 Specifications, Sony Support, [online]
<https://www.sony.com/electronics/support/camcorders-and-video-cameras-interchangeable-lens-camcorders/ilme-fx3/specifications> [abgerufen am 29.12.2025]

Stankovic, Isidora/Milos Brajovic/Milos Dakovic et. al. (2020): Bit-depth quantization and reconstruction error in digital images, in: researchgate.net [online] doi:
[10.1007/s11760-020-01694-4](https://doi.org/10.1007/s11760-020-01694-4)

Teledyne Vision Studios (o.D): Bit Depth, Full Well, and Dynamic Range, in: [teledynevisionsolutions.com](https://www.teledynevisionsolutions.com), [online] <https://www.teledynevisionsolutions.com/de-de/learn/learning-center/imaging-fundamentals/bit-depth-full-well-and-dynamic-range/> [abgerufen am 16.12.2025]

Tella (o.D): Noise Reduction: The Process of removing noise from an image, Tella [online] <https://www.tella.com/definition/noise-reduction> [abgerufen am 19.01.2026]

Tomkies, Pete (2019): Understanding bit depth and color rendition in video, in: [videomaker.com](https://www.videomaker.com), [online] <https://www.videomaker.com/article/c02/19251-understanding-bit-depth-and-color-rendition-for-video/> [abgerufen am 12.11.2025]

Tu, Zhengzhong/Chia-Ju Chen/Jessie Lin et. al. (2025): Understanding, detecting, and removing perceptual banding artifacts in compressed videos, in: [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com), [online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923596525001183?via%3Dihub>

Tucsen Photonics Co.,Ltd (2025): Bit Depth in Scientific Cameras: How It Impacts Image Quality and Data Accuracy, in: [tucsen.com](https://www.tucsen.com), [online] <https://www.tucsen.com/learning/bit-depth-in-scientific-cameras/> [abgerufen am 16.12.2025]

Van Hurkman, Alexis (2011): Color Correction Handbook: Professional Techniques for Video and Cinema, Kalifornien, USA: Peachpit Press, S.115

What are 8-bit, 10-bit, 12-bit, 4:4:4, 4:2:2 and 4:2:0 (2020): [datavideo.com](https://www.datavideo.com), [online] <https://www.datavideo.com/de/article/412/what-are-8-bit-10-bit-12-bit-4-4-4-4-2-2-and-4-2-0> [abgerufen am 12.11.2025]

XP-Pen (2025): Color Depth Deciphered: Why It's Crucial for Artists, Designers and Photographers, [online] <https://www.xp-pen.com/blog/color-depth.html> [abgerufen am 12.11.2025]

8. Anhang

▣ Bachelorarbeit Bittiefe

(<https://shorturl.at/bZ8Pe>)

9. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Textpassagen, die wörtlich oder dem Sinn nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Zur sprachlichen Überprüfung wurde eine KI-gestützte Rechtschreib- und Grammatikprüfung (Grammarly) verwendet. Die inhaltliche Ausarbeitung, Strukturierung, Argumentation sowie die Bewertung der Quellen erfolgten vollständig eigenständig. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Detmold, 31.01.2026

A black rectangular box with a white 'X' inside, used to redact the signature.

Unterschrift