



VERGLEICH VON KAMERASENSOREN

HAUSARBEIT II

ZÜRCHER HOCHSCHULE DER KÜNSTE
FACHRICHTUNG BA FILM

Verfasser: Ian Oggenfuss

Eingereicht bei: Prof. Pierre Mennel
Jelena Pavlovic

Frühlingssemester 2022
Abgabedatum: 04.05.2022

Kurzfassung

Mit jedem Jahr wird eine Vielfalt an neuen Kameras auf den Markt gebracht, welche sich in ihren Funktionen nur leicht voneinander unterscheiden. Die Preisspanne wird dabei nicht kleiner und die Frage, welches die passende Kamera für das nächste Projekt ist, umso komplizierter. In dieser Arbeit wird aufgezeigt, wie sich die Sensortechnologie in den letzten Jahren weiterentwickelt hat und wo die Unterschiede zwischen den Kameraherstellern liegen.

Anhand von drei marktführenden Kamerasystemen im Profibereich (ARRI, RED & Sony) wurden Tests durchgeführt und analysiert. Die gewonnenen Testbilder wurden mit modernster Postproduktions-Software im Colorgrading manipuliert und aufeinander angepasst. Die Resultate sind anschliessend einem Fachpublikum präsentiert worden und die erhaltenen Rückmeldungen evaluiert.

Die drei getesteten Sensortypen konnten von den Probanden nicht durchgehend auseinandergehalten werden. Obwohl der Praxistest in sehr unterschiedlichen Lichtverhältnissen durchgeführt wurde, und die jeweiligen Sensortypen dabei ihre Stärken und Schwächen klar aufzeigen, konnte ein aufgenommenes Bild im Durchschnitt nur von 39% der Zuschauenden dem jeweiligen Kameratyp zugeordnet werden.

Schlagwörter: Digitalkameras, Sensortypen, Postproduktion, Colorgrading, Testaufnahmen

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	4
2. GESCHICHTLICHER HINTERGRUND ZU KAMERASENSOREN	5
2.1 LICHT ERFASSEN UND EINFANGEN	5
2.2 DER ANALOGE FILM	5
2.3 DIE DIGITALE REVOLUTION IM FILM	6
2.4 SENSORTECHNIK & BAYER-MATRIX	6
2.5 DIE MODERNE POSTPRODUKTION.....	9
2.6 LOOK-UP-TABLE	10
3. PRAXISTEST	11
3.1 FRAGESTELLUNG.....	11
3.2 DIE DREI ZU VERGLEICHENDEN KAMERAS	11
3.3 SENSORUNTERSCHIEDE	12
3.4 TESTAUFBAU.....	14
3.5 DIE ACHT EINSTELLUNGEN MIT DER ARRI ALEXA, RED GEMINI UND SONY FX6	15
4. POSTPRODUKTION	17
4.1 HERANGEHENSWEISE	17
4.2 DAS PROGRAMM DAVINCI RESOLVE	17
4.3 TESTERGEBNISSE VERGLEICHEN	18
4.4 DAS TESTSCREENING	20
4.5 AUSWERTUNG UND INTERPRETATION.....	21
5. SCHLUSSWORT.....	23
6. ANHANG	24
6.1 QUELLENVERZEICHNIS	24
6.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	25
6.3 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	26
6.4 DOKUMENTENANHANG: FRAGEBOGEN.....	27
7. ERKLÄRUNG	33

1. Einleitung

In dieser Arbeit soll die Frage beantwortet werden, ob der spezifische Entscheid für einen Kamerasensor nach dem Colorgrading noch identifiziert werden kann, oder ob verschiedene Sensoren in der Postproduction so nahe aneinander angeglichen werden können, dass der Sensorentscheid keine zentrale Rolle spielt. Häufig werden Objektive und deren Eigenschaften verglichen, und die Vielfalt an Objektiven lässt in Kombination mit modernen Digitalkameras endlose Variationen zu. Der Vergleich zwischen Kamerasensoren rückt allerdings immer mehr in den Hintergrund.

In einem ersten Schritt werden digitale Kamerasensoren auf ihre Eigenschaften anhand von vorhandener Literatur und Daten untersucht. Dabei soll auch die technische Entwicklung der letzten Jahre berücksichtigt und die erfassten Daten dokumentiert werden.

In einem nächsten Schritt werden Testaufnahmen durchgeführt, in denen drei Sensoren auf Unterschiede wie Bildrauschen, Farbwiedergabe und Dynamikumfang untersucht werden. Die dabei resultierenden Unterschiede werden dokumentiert und im Colorgrading so aufeinander abgestimmt, dass das menschliche Auge, im bestmöglichen Fall, die Unterschiede nicht mehr wahrnehmen kann.

Das Ziel dieser Arbeit ist zu ermitteln, ob der Entscheid für einen spezifischen Kamerasensor einen kreativen Einfluss hat, oder durch ein intensives Colorgrading obsolet wird. Minimale Unterschiede werden vermutlich unabdingbar sein, allerdings soll auch untersucht werden, ob diese von einer Gruppe qualifizierter Testpersonen identifiziert werden können.

2. Geschichtlicher Hintergrund zu Kamerasensoren

2.1 Licht erfassen und einfangen

Das menschliche Auge kann durch eintreffendes Licht auf der Netzhaut dutzende Male pro Sekunde einen räumlich farbigen Moment abbilden. Durch unsere unterschiedlichen Fotorezeptoren in der Netzhaut, den Stäbchen und Zäpfchen, können wir uns in fast jeder Lichtsituation zurechtfinden und individuell anpassen. Die Stäbchen reagieren viel empfindlicher auf schwache luminanzbasierte Lichtstrahlen und sind deshalb ein wichtiger Bestandteil unseres Sehvermögens in der Dunkelheit. Dabei reagieren sie fast nicht auf Farben, welche wir in einem sehr dunklen Raum unmöglich unterscheiden können.

Die Zäpfchen hingegen können in dunklen Verhältnissen nicht angesteuert werden, sind aber bei guten Lichtverhältnissen der ausschlaggebende Punkt zur Differenzierung von einzelnen Farben. Der durchschnittliche Mensch besitzt in der Netzhaut drei Zapfenarten, welche jeweils ein individuelles Farbspektrum abdecken. S-Zapfen decken den blauen Bereich ab, M-Zapfen den grünen und L-Zapfen den roten. Somit ist unser Sehvermögen trichromatisch, was in fast allen modernen Abbildungsverfahren identisch zur Anwendung kommt.

2.2 Der analoge Film

1826 war die Geburtsstunde der Fotografie. Mit einer Camera Obscura wurden erstmals Momente bildhaft eingefangen und festgehalten. Joseph Nicéphore Niépce machte es sich bereits damals zur Lebensaufgabe, den abgelichteten Gegenständen mehr Schärfe, Farben und räumliche Positionierung zu verleihen. Bis zu seinem Tod beschäftigte er sich mit diesen Aufgaben und legte dabei ein wichtiges Fundament für den analogen Film.

Der bewegte Schwarz-Weiss-Film wurde kurz darauf im 19. Jahrhundert entwickelt und erlebte seinen Aufschwung bis in die 1930er Jahre. Es wurde aus technischer Limitation ausschliesslich in schwarzweiss gedreht und es entstand eine immer grösser werdende Faszination für dieses neue Medium. Das Publikum und neuentstehende wirtschaftliche Ziele förderten die Erforschung der Weiterentwicklung weiterer Möglichkeiten mit diesem Medium.

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts wurde mit dem nachträglichen Kolorieren von monochromatischen Bildern experimentiert. 1912 wurde das erste brauchbare Dreifarbenverfahren entwickelt. Durch drei Filterscheiben, welche mit den Grundfarben getönt wurden, konnten zum ersten Mal farbige Projektionen durchgeführt werden. Durch artistische und kommerzielle Rückschläge hatte der Farbfilm allerdings einige Hürden zu überwinden und wurde erst in den 1960er Jahren zum Standard.

2.3 Die digitale Revolution im Film

Um die Jahrtausendwende bricht mit der digitalen Revolution ein neues Zeitalter an. Neben zahlreichen Bereichen, in denen die digitale Technik das Rad neu erfindet, ist auch beim Film ein erneuter Wandel spürbar. Das Bild zukünftig digital auslesen, wiedergeben und abspeichern zu können ist ein Bestreben, welches bis heute geblieben ist und noch immer weiter erforscht wird. Digitale Filmkameras werden immer häufiger als Ergänzung oder Ersatz von herkömmlichen analogen Kameras gebraucht und bringen dabei diverse Vor- und Nachteile mit sich. Digitale Kameras haben einen Stand erreicht, an dem das Bild mit nachträglichen Filmemulationen farblich wie auch vom Korn her unglaublich nahe an ein traditionelles analoges Bild herankommt und die positiven Aspekte die negativen weitgehend überwiegen. Auch der Kostenpunkt und das häufig schnellere Arbeiten auf dem Filmset sind Gründe, warum man sich oft für digitale Kamerasensoren entscheidet. Andere Aspekte hingegen, wie zum Beispiel das unkomprimierte und nicht pixelbasierte Abbilden eines analogen Bildes, die einzigartige Farbwiedergabe oder die längere Lebensdauer des analogen Films, wurden in der digitalen Welt noch nicht vollständig gelöst.

2.4 Sensortechnik & Bayer-Matrix

Fast alle modernen Kamerasensoren sind mit CMOS-Sensoren (complementary metal oxide semiconductor) ausgestattet. Der mit anderen Techniken vergleichbar minimale Stromverbrauch der CMOS-Sensoren, die einfache physische Skalierung der Sensorgröße und die immer besser werdende Farbwissenschaft sind Gründe, warum man sich für dieses Verfahren entscheidet. Fast alle digitalen Sensoren arbeiten mit einer Bayer-Matrix, einem Schachbrettartigen Muster, bestehend aus einzelnen Subpixeln, die wiederum wie unsere Zäpfchen in der Netzhaut aus den drei primären Farben bestehen. Die digitale Bayer-Matrix besteht dabei eigentlich immer aus 50% grünen und jeweils 25% roten und blauen Subpixeln. Dies, aus dem einfachen Grund, weil das menschliche Auge am detailliertesten den Grünanteil in Grautönen erkennen kann und somit die Wahrnehmung von feinen Details, Schärfe und Helligkeitsunterschiede im Bild steigert. 72% der Kontrastwahrnehmung von Grautönen wird durch deren Grünanteil hervorgerufen und da die Farbe Grün die Mitte des Farbspektrums wiedergibt, liefern Objektive über dieses Spektrum am meisten Auflösung.

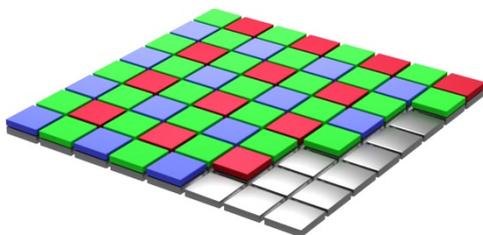


Abbildung 1: Bayer-Matrix.

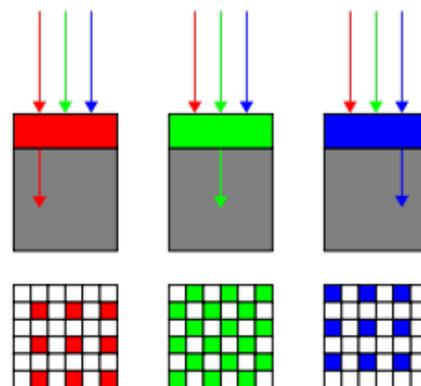


Abbildung 2: Farbaufteilung der Matrix.

Jede digitale Kamera muss diese, durch auftreffendes Licht reagierende, Bayer-Matrix in einem nächsten Schritt durch mathematische Formeln dekodieren (Debayering) und in ein erkennbares farbiges Bild umwandeln. Dabei spielt die Interpolation der einzelnen Farbpixel eine grosse Rolle, da jeder Pixel im Raster nur einen einzelnen Farbwert haben kann und im final dargestellten Bild aus jeweiligen Nachbarpixel farblich kalkuliert werden muss. Dieser Prozess wird Interpolation genannt und ist bei jedem Kamerahersteller einzigartig, was zu kleineren farblichen Abweichungen führen kann. Diese Nuancen werden im nächsten Kapitel erforscht, dokumentiert und zwischen den Kameraherstellern verglichen. Folgende Faktoren sind auch von grosser Bedeutung zur Berechnung eines digitalen Bildes:

- **Sensitivität:** Jeder digitale Sensor wird mit einer konstanten elektrischen Grundspannung versorgt. Diese wird im Bild als Grundrauschen dargestellt und ist in Bildbereichen anzutreffen, wo keine, oder fast keine Informationen von den einzelnen Pixeln mehr erfasst werden können. In guten Lichtverhältnissen ist, unter normalen Umständen, fast kein Bildrauschen anzutreffen, weil gemessene Lichtwerte das Grundrauschen überdecken. Die Grundspannung entspricht bei fast allen Kameras dem Base-ISO-Wert, kann zwar in den Kameraeinstellungen für jeweilige Lichtsituationen angepasst werden, ist dabei aber nicht mit unterschiedlichen Grundspannungen vergleichbar, da die Grenze zum Bildrauschen bei ISO-Anpassungen nicht geändert wird.

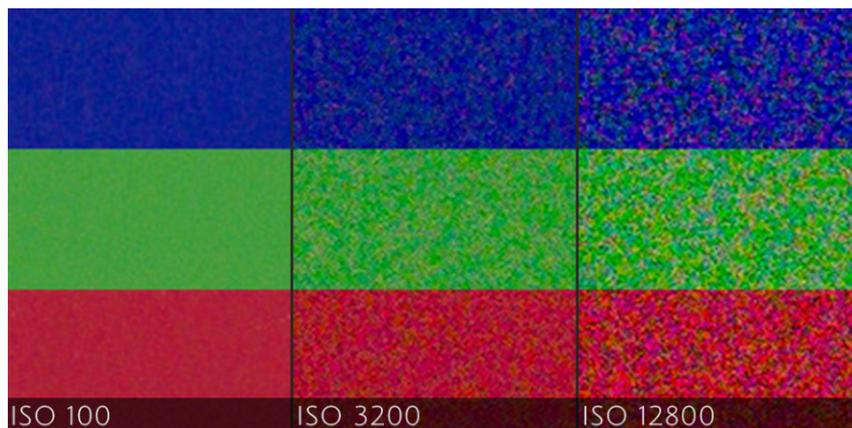


Abbildung 3: Bildrauschen in jeweiligen Farbkanälen.

In den letzten Jahren wurden nun aber vermehrt Kameras gebaut, welche neben ISO-Werten, über eine geringere oder sogar verstellbare Grundspannung verfügen. Dies dient der vorteilhaften Drehmöglichkeit in sehr dunklen Lichtverhältnissen und resultiert meistens in einem grösseren brauchbaren Dynamikumfang. Alle drei Kameras, die in dieser Arbeit verglichen werden (ARRI Alexa, RED Gemini & Sony FX6), sind mit einer solchen Technologie ausgestattet. Bei der RED Gemini und Sony FX6 kann man zwischen zwei Modi wechseln, bei der ARRI Alexa geschieht dies automatisch ohne Anpassungsmöglichkeit, indem bei jedem ausgelesenen Bild zwei unterschiedliche Werte kombiniert und aufeinander abgestimmt werden.

- **Dynamikumfang:** Der Dynamikumfang wird durch das Auffassungsvermögen der einzelnen Pixel bestimmt. Der Unterschied zwischen dem Grundrauschen und dem höchsten von Pixeln definierbaren Lichtwert, wird Dynamikumfang genannt. Die ARRI Alexa mit ihrem einzigartigen ALEV 3 Sensor kombiniert in jedem Bild zwei unterschiedliche Dynamikumfänge und hat deshalb einen der grössten brauchbaren Dynamikumfänge auf dem Markt. Auch die physische Grösse der einzelnen Pixel spielt eine Rolle, da auf einer grösseren Pixelfläche mehr Licht auftreffen kann.

- **Farbprofil:** Wie bereits erwähnt, hat jeder Kamerahersteller sein eigenes Farbprofil und speichert dies auch in unterschiedlichen Farbräumen ab. Die farblichen Unterschiede entstehen durch eigene Interpolationsverfahren der Sensoren. Obwohl grundsätzlich jede Kamera das Ziel anstrebt, ein möglichst realistisches und detailtreues Bild wiederzugeben, gab es um die Jahrtausendwende frappante Unterschiede zwischen Kameras, beziehungsweise deren Sensoren. Deshalb war es nicht einfach, Kameras miteinander zu kombinieren, was sich in den letzten Jahren allerdings stark verbessert hat.
- **Sensordekodierung:** Da die Dekodierung von Sensorinformationen komplex ist und eine grosse Rechenleistung erfordert, können sich unterschiedliche Artefakte oder Fehler ergeben. Moiré zum Beispiel, ein Darstellungsfehler, der sich bei einer zu feinen und kontrastreichen Struktur ergeben kann, erscheint aufgrund einer Fehlinformation im Debayering (Interpolation). Dabei werden zwischen einzelnen Pixeln, die die feinen Strukturen nicht erfassen können, neue fehlerhafte Muster aufgezeigt, die es nicht gibt. Bei teuren Kameras wird mit sogenannten OLPFs (Optical Low Pass Filter), speziell filternde Glasfilter zwischen Sensor und Objektiv, das eintretende Licht bearbeitet und feine Muster präzise entschärft.



Abbildung 4: Bildvergleich mit & ohne Moiré.

Der Rolling-Shutter-Effekt hingegen ist kein Fehler, sondern resultiert durch das langsame Auslesen jeder Pixelzeile von Oben nach Unten. Da sich zum Beispiel bei einem schnellen Kameraschwenk Objekte während dem Auslesen des Sensors im Bild verschieben können, entstehen dann Krümmungen oder Verzerrungen einzelner Objekte oder im ganzen Bild. Viele Kameras wirken dem entgegen, indem der Sensor schnellstmöglich ausgelesen wird. Es gibt nun bereits Kameras auf dem Markt, die den ganzen Sensor auf einmal auslesen können und qualitativ mit professionellen Kameras mithalten können. Dies war früher nur durch Einbussen des Dynamikumfangs möglich.



Abbildung 5: Bildvergleich zwischen Global- & Rolling Shutter.

- **Datenspeicherung:** Die dekodierten Daten eines digitalen Sensors müssen natürlich auch abgespeichert werden. Dies kann in verschiedenen Formaten, mit jeweils unterschiedlichen Qualitätsstufen passieren. Es werden laufend neue und effizientere Codecs erschaffen, welche es erlauben, möglichst viele Informationen in verhältnismässig wenig Platz abzuspeichern. RAW-Codecs sind für moderne Kamerasysteme interessant geworden, da sie eine fast unkomprimierte Bildqualität abspeichern und der Endnutzer viele Parameter noch in der Postproduktion bearbeiten kann. Diese RAW-Codes sind sehr rechenintensiv zu dechiffrieren und deshalb nur mit modernster Computertechnologie kompatibel.

2.5 Die moderne Postproduktion

Die Postproduktion ist ein wichtiger Schritt in der Finalisierung jedes Filmprojektes. Es beinhaltet viele verschiedene Arbeitsschritte, wie zum Beispiel die Montage des Filmes oder die endgültige Sound- & Bildbearbeitung. Insbesondere hat sich das Colorgrading, mit seinen präzisen Bildbearbeitungsmöglichkeiten, als letzter kreativer Anpassungsschritt im Bild bewährt. Im Colorgrading bekommen die Bilder ihren finalen Look, werden in Farbe und Kontrast aufeinander abgestimmt und allfällige Bildfehler werden bestmöglich behoben. So kann man zum Beispiel mit geringem Aufwand problemlos Bildrauschen reduzieren, Pixelfehler beheben oder verschiedene Kameras optisch aneinander angleichen.

Ein Bild kann immer Informationen verlieren, allerdings nie dazugewinnen. Deshalb muss auf dem Filmset das bestmögliche Bild mit den meisten Informationen aufgenommen und abgespeichert werden. Das heisst, das gedrehte Material muss mit möglichst kleiner Komprimierung in einem effizienten und leistungsstarken Codec aufgezeichnet werden. Nur dann kann in der Postproduktion richtig gearbeitet und, wenn nötig, nachgebessert werden.

Immer häufiger werden Weichzeichnungsfilter, die den Bildkontrast reduzieren oder Lichtquellen manipulieren, nicht mehr als physischer Glasfilter auf dem Filmset angewendet, sondern in der Postproduktion. Der Grund liegt darin, dass ein aufgenommener Look oder Effekt im Nachhinein nur noch schlecht bearbeitet werden kann. Eine Bearbeitung in der Postproduktion hingegen ist präziser und auch für allfällige VFX (Visual Effects) ist ein solcher Workflow von Vorteil. Der Nachteil liegt darin, dass man sich gewisse Anpassungen auf dem Filmset abstrahieren und vorstellen muss.

Ein neuer Arbeitsschritt in der Bildbearbeitung ist das Erstellen verschiedener Endformate für die Distribution. Da ein Film nicht mehr zwingend für ein einzelnes Auswertungsmedium produziert wird, müssen im Rendering diverse Formate ausgespielt werden. In den letzten Jahren wurde dies zum Standard, da Filme nicht nur im Kino, sondern auch auf Streaming-Plattformen und auf mobilen Geräten im Internet zugänglich sein müssen. Diese Distribution ist mit einem grossen Aufwand verbunden, da Kino, Web und Streaming-Plattformen unterschiedliche Formate verlangen. Ein neuer Bildstandard im Streaming ist HDR (High Dynamic Range) oder Dolby Vision. Beides sind einzigartige Bildformate, für die man im Colorgrading zwingend eine eigene Bildanpassung vornehmen muss. Für Kamerahersteller sind diese neuen Standards kein Problem, da die Sensortechnologie bereits weit vorangeschritten ist und fast alle Kameras auf dem Markt diese Informationen aufzeichnen können.

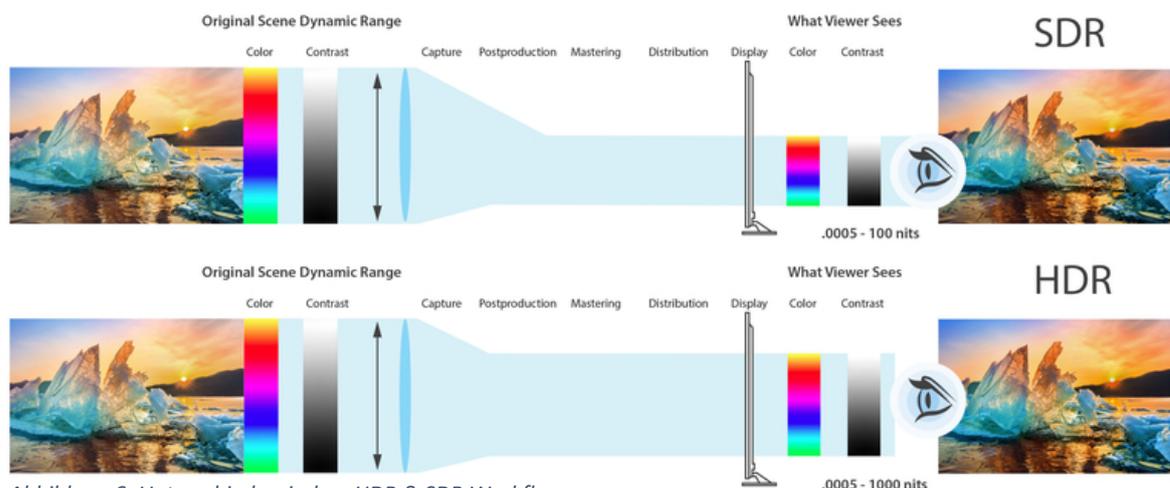


Abbildung 6: Unterschied zwischen HDR & SDR Workflow.

2.6 Look-Up-Table

Der Look-Up-Table, oder einfach LUT genannt, ist eine digitale Umsetzungstabelle von Farb- & Luminanzwerten, welcher ein aufgenommenes Bild in einen anderen Farbraum konvertiert oder einen spezifischen Film-Look generiert. LUTs können auf dem Set oder im Colorgrading zur Anwendung kommen, um kreative Bildanpassungen vorzunehmen, oder werden in der Distribution angewandt, um Farbwerte in andere Farbräume zu transkodieren. So wird beispielsweise ein Grading für einen TV-Sender im REC709-Farbraum in einen P3-Kinofarbraum umgewandelt.

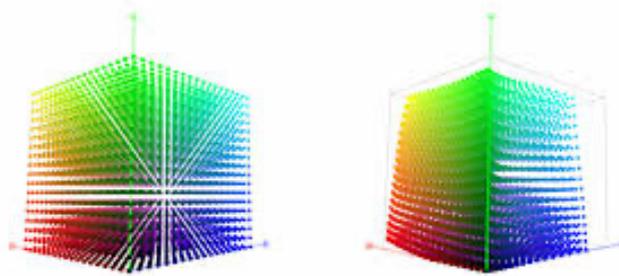


Abbildung 7: 3D-Darstellung eines LUTs.

Solche LUTs sind in ihrer Funktionsweise sehr rudimentär und wandeln lediglich einen Farb- & Luminanzwert in einen neuen Wert um. Fast jeder Kamerahersteller kreiert eigene LUTs, um ihre Kamerabilder in die richtigen Farbräume umwandeln zu können. Bei ARRI, RED und Sony sind dies deshalb eigene LUTs, die auf die jeweiligen Kameras angepasst wurden. Ein LUT von RED würde deshalb bei einer ARRI-Kamera nicht richtig funktionieren.

3. Praxistest

3.1 Fragestellung

Ob uns ein Bild gefällt oder nicht ist nichts weiter als eine persönliche Meinung, die wir für uns, anhand bereits wahrgenommener Eindrücke, bilden. Dies wirft die Frage auf, ob man sich an gewisse Konventionen gewöhnt und solche als Vorlieben definieren kann. Filmgenres sind durch ihre Konventionen geprägt und dennoch versuchen Filmemacher:innen diese immer neu zu definieren.

In dieser Arbeit soll nun erarbeitet werden, was unterschiedliche Kamerasensoren beim Publikum auslösen, und wie die wahrgenommenen Unterschiede interpretiert werden. Somit soll die konkrete Frage, ob eine spezifische Kamera nach dem Colorgrading noch identifiziert werden kann, thematisiert werden.

Da die Preisspanne bei High-End-Kamerasystemen sehr gross ist, kann der Entscheid für ein Kamerasystem einen signifikanten Einfluss auf die Filmproduktion und deren Budget haben. Stand 2022: Eine neue ARRI ALEXA MINI mit ihren Lizenzen und Zubehör kostet mindestens CHF 60'000.-, eine RED GEMINI etwa CHF 30'000.- und eine SONY FX6 maximal CHF 10'000.-. Diese Preisunterschiede werden unter anderem durch die bekannten Marken und deren Bekanntheitsgrad in der Industrie gerechtfertigt.

3.2 Die drei zu vergleichenden Kameras

Folgende drei Kamerasysteme werden nun verglichen und sind Teil der durchgeführten Studie:

Die **ARRI ALEXA MINI** wurde 2015 vom Kamerahersteller ARRI auf den Markt gebracht und ist bis heute ein Standard in der Filmindustrie. Die Kamera punktet mit ihrem verhältnismässig kleinen Formfaktor, welcher bei ARRI zuvor nicht existierte. Die ALEXA MINI verfügt über denselben ALEV 3 Sensor mit einer Auflösung von 3.2K, wie bei allen anderen ARRI-Kameras, und hat durch die bereits beschriebene Sensortechnologie den grössten brauchbaren Dynamikumfang in dieser Studie.

Die **RED GEMINI** wurde 2018 vom Kamerahersteller RED auf den Markt gebracht und wird im Vergleich zur ALEXA MINI eher weniger für grosse Filmproduktionen eingesetzt. Dies aus dem Grund, da sich RED mit ihren Kameras eigentlich mit höheren Sensorauflösungen (bis zu 8K) gegenüber der Konkurrenz positioniert. Die RED GEMINI mit ihrem 5K-Sensor hat vergleichsweise eine niedrige Auflösung, besitzt aber durch die physisch grösseren Pixel als einzige Kamera im RED-Sortiment einen Lowlight Modus. Somit kann die Kamera ein fast identisches Rauschverhalten bei ISO 800 & 3200 wiedergeben. Der Dynamikumfang kommt diesem der ALEXA MINI dabei sehr nahe.

Die **SONY FX6** wurde 2019 vom Kamerahersteller SONY vorgestellt und repräsentiert in dieser Studie die neuste Kamera auf dem Markt. Durch den erschwinglichen Preis und modernster Technologie, wie zum Beispiel der Autofokus, ist sie mit Abstand die Meistverkaufte unter den drei getesteten Kameras und kann sich deshalb auch als einzige hier im Prosumer-Segment positionieren. Die Kamera verfügt, wie auch die RED GEMINI, über einen Lowlight Modus und hat dementsprechend zwei Basis ISO-Werte, nämlich bei ISO 800 & 12'800. Durch diese Funktion ist die Kamera vorwiegend im Dokumentarfilm anzutreffen. Der Dynamikumfang hingegen ist im Vergleich zu den anderen Kameras etwas kleiner.

3.3 Sensorunterschiede

Die drei Kamerasensoren unterscheiden sich in vielen Punkten. Ihre physische Form zum Beispiel zeigt, dass ARRI den Sensor näher dem 4:3 Format anpasst, der SONY Sensor hingegen viel breiter ist und einem 16:9 Fernseher ähnelt. RED hat sich für einen Sensor irgendwo dazwischen entschieden und möchte dadurch verschiedene Märkte abdecken. ARRI ist ausschliesslich für einen professionellen Markt konzipiert, wo man unter anderem mit anamorphotischen Linsen drehen möchte. Deshalb wurde dieser Ausschnitt gewählt. Sony hingegen peilt ein Publikum an, welches hauptsächlich mit sphärischen Linsen dreht und eine Auswertung auf dem Fernseher oder im Web anstrebt.



Abbildung 8: Grössenunterschied der Kamerasensoren.

Auch die jeweiligen Pixelauflösungen der Sensoren zeigen, wo die jeweiligen Hersteller ihre Prioritäten setzen. ARRI hat mit ihren 3424x2202 Pixel die kleinste Auflösung, aber somit auch die grössten individuellen Pixel. Dies erlaubt einen detaillierteren Dynamikumfang, für welchen ARRI und deren Sensor bekannt ist. RED hingegen legt Wert auf möglichst viel Auflösung beziehungsweise Details und hat mit ihrer Auflösung von 5120x3000 am meisten Pixel. Die zusätzlichen Pixel können auch das Bildrauschen minimieren, da das Korn durch die höhere Pixelanzahl im Endformat feiner erscheint.

Was den SONY Sensor einzigartig macht ist seine Breite, welche den Sensor als Vollformatsensor klassifiziert. Obwohl die Sensorhöhe sich von den anderen zwei nicht gross unterscheidet, ist er viel breiter und kann nur von Vollformat-Linsen abgedeckt werden. ARRI und RED gehören mit ihrer Grösse noch dem SUPER-35 Standard an. Die genauen Sensorabmessungen sind folgende:

ARRI ALEXA MINI:	28.25mm x 18.17mm
RED GEMINI:	30.72mm x 18.00mm
SONY FX6:	35.70mm x 18.80mm



Abbildung 9: Benutzte Sensorfläche für Vergleich.

Für diese Studie verwenden wir den Grün markierten Bereich der Sensoren mit der jeweiligen dazu notierten Pixelanzahl. Aus dem einfachen Grund, da die physische Höhe der jeweiligen Sensoren vernachlässigt werden kann und so der spätere Vergleich anhand eines Publikums objektiv und unvoreingenommen passieren kann. Unter normalen Bedingungen könnte jeweils der ganze Sensor (roter Bereich) ausgelesen werden.

Was maximale Bildraten angeht, kann die SONY FX6 den ganzen Sensor 120 mal pro Sekunde auslesen. Die RED GEMINI schafft 75 Bilder pro Sekunde und die ARRI ALEXA MINI maximal 30 Bilder für den kompletten Sensor.

Die jeweiligen Codecs spielen dabei eine zentrale Rolle, da ARRI und RED die aufgenommenen Bilder in ein eigenes RAW-Format abspeichern. RED hat das selbstentwickelte REDCODE RAW Format und ARRI ihr eigenes ARRIRAW. Beides sind sehr rechenintensive Formate, die viel Speicherplatz und Rechenleistung erfordern und so die bestmögliche Qualität gewährleisten. Die SONY FX6 hingegen kann nur ein RAW-Signal über einen externen Recorder aufzeichnen und muss kameraintern auf einen stärker komprimierenden XAVC-I-Codec aufzeichnen. Für einen Clip von 60 Sekunden benötigt die ARRI ALEXA MINI fast 9 GB Speicherplatz, die RED GEMINI 11 GB und die SONY FX6 mit ihrem internen Codec lediglich 2 GB.

Durch das unterschiedliche Debayering der Sensoren werden Informationen jeweils anders abgespeichert. RED kann mit ihrem REDCODE RAW alle Farbkanäle einzeln und nahezu unkomprimiert abspeichern, was dazu führt, dass jeder Farbkanal mit einer Farbtiefe von 16-bit aufgezeichnet wird. Auch ARRIRAW zeichnet jeweils separate Farbkanäle auf, allerdings in 12-bit und die SONY FX6 kann mit dem internen XAVC-I-Codec lediglich ein stärker komprimiertes 10-bit Bild aufbewahren. Dies ist der Grund für die viel kleineren Datenmengen. Der Vorteil von individuell aufgezeichneten Farbkanälen ist die Möglichkeit, den Weissabgleich nachträglich anzupassen. Bei der FX6 muss der Weissabgleich vordefiniert werden und kann in der Postproduction nicht mehr einfach geändert werden.

Was die Sensor-Sensitivität betrifft, haben alle drei Sensoren einen nativen Wert von ISO 800, wobei die RED GEMINI im Lowlight Modus einen nativen Wert von ISO 3200 und die SONY FX6 im selben Modus ISO 12'800 hat. Dies bedeutet, dass die RED GEMINI 2 Blenden, und die SONY sogar 4 Blenden sensibler als die ARRI ALEXA in der Dunkelheit auf Licht reagiert. Wie sich dies in realen Drehverhältnissen übersetzen lässt, sehen wir in den folgenden Testaufnahmen.

3.4 Testaufbau

Der Sensortest ist sehr simpel aufgebaut. Es werden acht statische Einstellungen mit einer Person im Bildmittelpunkt gedreht. Die Einstellungen sollen bei Tag, Dämmerung und in der Nacht in unterschiedlichen Lichtsituationen abgelichtet werden. Dabei soll ausschliesslich mit vorhandenen Lichtquellen gearbeitet werden, um für alle Kameras die bestmöglichen identischen Bedingungen zu konstruieren.

Es werden die Kamerasensoren der ARRI ALEXA MINI, der RED GEMINI und der SONY FX6 mit den exakt gleichen Hilfsmitteln verglichen. Dies heisst konkret, dass alle Kameras auf demselben Stativ positioniert werden, denselben Bildausschnitt haben und die jeweils gleiche Linse mit den dazugehörigen Glasfiltern verwendet wird. Für die Aufnahmen in der Sonne werden ND-Filter eingesetzt, um die Linse auf eine brauchbare Arbeitsblende einzustellen. Diese ND-Filter werden vor der Linse im Kompendium eingesetzt und nicht kameraintern, da interne ND-Filter in ihrer Farbgebung abweichen können. Diese Arbeitsbedingungen garantieren, dass das Licht im selben Zustand auf jeden Kamerasensor auftrifft.



Abbildung 10: Dreh für Sensorvergleich.



Abbildung 11: Dreh für Sensorvergleich.

Bei den jeweiligen Kameras wurden bis auf die Bildauflösung und dem Codec zur Aufzeichnung der Bilder die identischen Einstellungen verwendet. Der ISO-Wert wurde den Lichtverhältnissen angepasst und bei allen Kameras identisch übernommen. Am Tag wurde ausschliesslich mit dem Basis ISO-Wert von 800 gearbeitet und dann in der Dämmerung beziehungsweise Nacht auf die untenstehenden Werte angepasst. Die RED GEMINI wie auch die SONY FX6 wurden bei Dämmerungsbeginn in ihren jeweiligen Lowlight Modus gewechselt. Auch dies wird weiter unten bei den jeweiligen Einstellungen angegeben.

Für das Abspeichern der jeweiligen Kameraclips mussten unterschiedliche Codecs verwendet werden. Bei der ARRI ALEXA MINI wurde in PRORES 4444XQ aufgezeichnet, bei der RED GEMINI in REDCODE-RAW und bei der SONY FX6 im XAVC-I-Codec. Diese Unterschiede werden sicherlich einen Einfluss auf die Postproduktion haben. Wie gross der Einfluss der jeweiligen Codecs ist, wird später evaluiert.

Die aufgezeichnete Auflösung kann der obenstehenden Abbildung mit den Sensorgrössen entnommen werden. Es wurde jeweils die ganze Sensorhöhe verwendet und in der Postproduktion links und rechts auf ein 4:3 Bildformat zugeschnitten. Bei der ARRI ALEXA MINI resultiert dies in einer Auflösung von 2880x2160 Pixeln, bei der RED GEMINI 4000x3000 Pixeln und bei der SONY FX6, identisch wie bei der ARRI ALEXA MINI, 2880x2160 Pixeln.

Der Sensortest wurde mit 25 Bildern pro Sekunde und einer Verschlusszeit von 180 Grad (1/50) gedreht. Diese Parameter wurden während des Drehs nie geändert.

3.5 Die acht Einstellungen mit der Arri Alexa, Red Gemini und Sony FX6

Einstellung 1



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 35mm T2.8
ND-Filter: ND2.7 (9 Blendenstufen)
Sensorsensitivität: ISO 800
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Bei dieser Einstellung wurde mit der Sonne als Gegenlicht gearbeitet, um den Dynamikumfang der jeweiligen Kameras ausreizen zu können.

Einstellung 2



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 85mm T2.8
ND-Filter: ND2.7 (9 Blendenstufen)
Sensorsensitivität: ISO 800
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Diese Einstellung wurde aus derselben Perspektive wie Einstellung 1 gedreht. Es wurde allerdings ein kleinerer Bildausschnitt gewählt, um die Hauttöne besser betrachten zu können.

Einstellung 3



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 24mm T4
ND-Filter: ND2.7 (9 Blendenstufen)
Sensorsensitivität: ISO 800
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Hier wurde der Bildausschnitt so gewählt, dass man das Wasser, den Himmel, den Baum und die Wiese sieht. Die unterschiedlichen Farben sollen unter den Kameras verglichen werden.

Einstellung 4



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 85mm T4
ND-Filter: ND2.7 (9 Blendenstufen)
Sensorsensitivität: ISO 800
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Hier wurde erneut aus derselben Perspektive wie Einstellung 3 gedreht. In einer neuen Lichtsituation (Seitenlicht) sollen die Hauttöne verglichen werden.

Einstellung 5



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 35mm T2
ND-Filter: -
Sensorsensitivität: ISO 800
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Diese Einstellung wurde in der Dämmerung aufgenommen. Das künstliche Licht, unter anderem die Strassenlaternen im Hintergrund, sollen beobachtet werden.

Einstellung 6



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 85mm T1.5
ND-Filter: -
Sensorsensitivität: ISO 800
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Es wurde erneut aus derselben Perspektive wie Einstellung 5 gedreht. Hier soll das Rauschverhalten der einzelnen Sensoren untersucht werden.

Einstellung 7



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 24mm T1.5
ND-Filter: -
Sensorsensitivität: ISO 1600 (RED / SONY im Lowlight Modus)
Weissabgleich: 5600 Kelvin

Hier wurde zum ersten Mal der ISO-Wert angepasst. RED und SONY benutzen den Lowlight Modus und sollen dabei verglichen werden. Erneut eine Mischung aus der Dämmerung und künstlichem Licht.

Einstellung 8



Objektiv & Blende: SIGMA Cine-Objektiv 50mm T1.5
ND-Filter: -
Sensorsensitivität: ISO 3200 (RED / SONY im Lowlight Modus)
Weissabgleich: 3200 Kelvin

In der letzten Einstellung ist nur noch künstliches Licht anzutreffen. Der ISO-Wert wurde erneut erhöht und der Weissabgleich auf die Lichtsituation angepasst.

4. Postproduktion

4.1 Herangehensweise

Das gedrehte Material soll nun zur weiteren Verwendung farblich einander angeglichen werden. Dabei stellt sich die Frage, welches Bild an welches angeglichen werden soll. Die ARRI ALEXA MINI wird als Referenz in den Einstellungen am Tag genommen und in der Nacht sollen die SONY FX6 und die RED GEMINI mit ihren Lowlight Modi als Referenz dienen. Die Bildbearbeitung wird im Programm DaVinci Resolve von Blackmagic Design vorgenommen.

4.2 Das Programm DaVinci Resolve

DaVinci Resolve wurde 2004 vom Hersteller Blackmagic Design auf den Markt gebracht und ist ein Bildbearbeitungsprogramm, welches in der Industrie zur Farbbearbeitung (Colorgrading) weit verbreitet ist. Die unzähligen Möglichkeiten zur Bearbeitung von Farben, Kontrast und Luminanzwerten machen dieses Programm zu einem wichtigen Arbeitsschritt in der modernen Postproduktion.

Neben der Bildbearbeitung können Farb- und Luminanzwerte auch in verschiedenen Formen dargestellt, kontrolliert und zwischen unterschiedlichen Bildern verglichen werden. Dies anhand sogenannter Scopes. Anhand dieser Scopes können farbliche und luminanzbasierte Abweichungen zwischen den aufgenommenen Bildern erkannt und daraufhin angeglichen werden.

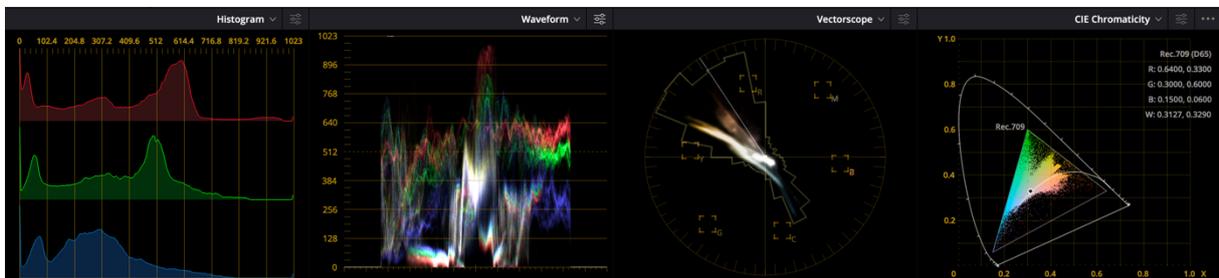


Abbildung 12: Scopes in DaVinci Resolve.

Nachdem die Bilder farblich angepasst wurden, kann in einem nächsten Schritt das Rauschverhalten untersucht und, falls notwendig, reduziert werden. Dies wird in unserer Studie mit einem externen Tool gemacht, welches Neat Video heisst und in DaVinci Resolve als Plugin implementiert werden kann. Neat Video ist eines der besten Programme auf dem Markt, um Bildrauschen zu reduzieren.

Die aufeinander abgestimmten Bilder können danach in einer Schnittsequenz montiert und zu einem finalen Film zusammengestellt werden. Es wurden Übergänge, Beschriftungen und Bild-in-Bild Formate erstellt, um in einem nächsten Schritt das bearbeitete Material einem Publikum zur Evaluation vorführen zu können.



Abbildung 13: Timeline für den Kameravergleich in DaVinci Resolve.

4.3 Testergebnisse vergleichen

Die Bilder wurden farblich und in ihrer Belichtung im Programm DaVinci Resolve aufeinander angepasst. Dabei musste das Kontrastverhältnis der jeweiligen Kameras berücksichtigt werden und einzelne Farbtöne präzise manipuliert werden. Da die SONY FX6 über einen etwas kleineren Dynamikumfang verfügt, enthielten diese Bilder in fast allen Lichtsituationen etwas mehr Kontrast, welcher bei den anderen zwei Kameras entsprechend angeglichen werden musste. Auch das Rauschverhalten war zwischen den Kameras sehr unterschiedlich. Die RED GEMINI, mit den meisten Pixeln, war durchgehend sehr rauscharm und die ARRI ALEXA MINI hingegen, mit den grössten Fotorezeptoren, hatte auch in gutbelichteten Situationen ein konstantes Bildrauschen. Dieses Rauschen ist durch den hochauflösenden Codec aber leicht zu entfernen und wurde lediglich in den extremen Nachtsituationen zum Problem.



Abbildung 14: Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 1)

Die Testaufnahmen am Tag sind relativ einfach anzugleichen und die einzigen zwei bemerkbaren Unterschiede sind die Hautfarbtöne und die Farbwiedergabe des blauen Farbspektrums. Die Hauttöne wirken bei der ARRI ALEXA MINI, ohne irgendwelche Anpassungen vorzunehmen, natürlich und verschmelzen in fast jeder Lichtsituation mit der Umgebung. Die RED GEMINI saturiert die Hauttöne sehr stark und lässt sie immer wärmer erscheinen. Dies konnte aber im Colorgrading in wenigen Minuten an die ARRI angepasst werden. Die SONY FX6 überzeugt auch mit ihren natürlichen Hautfarbtönen, hat aber ein generelles Problem mit Blautönen. Diese haben die Tendenz violett auszusehen, wogegen die ARRI ALEXA MINI und RED GEMINI eher Richtung Cyan tendieren. Dieser Farbunterschied konnte auch angepasst werden, allerdings sind kleinere Nuancen sicherlich noch spürbar.



Abbildung 15: Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 5)

Das Experiment wurde bei der Dämmerung um einiges spannender. Die unterschiedlichen Sensoren bilden künstliches Licht sehr unterschiedlich ab, und als die Strassenlaternen sichtbar wurden und sich im Wasser spiegelten, sieht man sehr schön, wie die jeweiligen Sensoren diese unterschiedlich darstellen. Die ARRI ALEXA MINI gibt diese Farben sehr satt und leuchtend wieder, wogegen die RED GEMINI dieses Kunstlicht eher monochromatisch und flach aussehen lässt. Die SONY FX6 positioniert sich genau dazwischen, zeigt aber deutlich mehr Farben als die RED GEMINI. Diese Unterschiede konnten im Grading nur sehr schwer angepasst werden und sind im Endresultat gut sichtbar.

Mit dem fehlenden Licht der Sonne werden die einzelnen Codecs weiter strapaziert und das Rauschverhalten nimmt zu. Die ARRI ALEXA MINI kann trotz starkem Bildrauschen die Farben treu wiedergeben und sieht nach dem digitalen Entrauschen noch immer ansprechend aus. Die RED GEMINI und die SONY FX6 haben mit ihrem Lowlight Modus einen klaren Vorteil in der Dämmerung und haben dadurch ein erstens rauscharmes Bild und zweitens mehr Details in den Schatten. Die ARRI ALEXA MINI wurde bestmöglich angepasst, aber ein Unterschied, mit den jeweiligen Bildern nebeneinander, ist sicherlich erkennbar.



Abbildung 16: Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 7)

Die SONY FX6 sieht mit ihrem extremen Lowlight Modus weitaus mehr als die ARRI ALEXA MINI überhaupt erfassen kann. Dies ist in den letzten Testaufnahmen in der Nacht gut erkennbar. Ein weiterer Vorteil der SONY FX6 ist das viel hellere Bild, welches danach wieder dunkler gegradet werden kann und so rauscharm und mehr Informationen als andere Kameras enthält. Einzig der Codec bei der SONY FX6 kommt mit seiner stärkeren Komprimierung an seine Grenzen und wenn grössere Anpassungen erwünscht sind, kann dies in sichtbare Artefakte resultieren.



Abbildung 17: Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 8)

Nochmals spannend wurde es in der letzten Einstellung. Hier hat sich die Testperson mit einem Handybildschirm beleuchtet. Der LED-Screen wurde von den jeweiligen Sensoren ganz unterschiedlich dargestellt. Die ARRI ALEXA MINI hatte zwar starke Schwierigkeiten Details in den dunklen Bildbereichen abzubilden, interpretierte das Licht des Handyscreens jedoch ganz natürlich. Die RED GEMINI hingegen bildete das Handylicht nicht neutral, sondern eher warm mit einem starken Magentastich ab. Die SONY FX6 bewegte sich erneut zwischen den zwei Versionen und zeigte nur leichte Magentöne auf der Hautfarbe.

Grundsätzlich können die drei Kamerasensoren in der Postproduktion sehr nahe aneinander angepasst werden. Wenn die Bilder nicht nebeneinander betrachtet werden, ist es vermutlich ziemlich schwierig, die Unterschiede zu erkennen. Spezifische Abweichungen, wie der Handybildschirm oder das Licht der Strassenlaternen, haben jedoch einen klaren Einfluss auf die Bildgestaltung und können nie vollständig korrigiert werden. Auch der Lowlight Modus der RED GEMINI und SONY FX6 ist in dunklen Lichtverhältnissen ein klarer Vorteil. Durch die zusätzlichen Informationen in dunklen Bildregionen kann im Colorgrading entschieden werden, wie man mit den Informationen umgeht, um nachträglich kreative Entscheidungen treffen zu können.

4.4 Das Testscreening

Den Probanden wurde der vorgefertigte Film, der die farbkorrigierten Testaufnahmen anonym und in beliebiger Reihenfolge aufzeigt, vorgeführt und anhand eines Fragebogens präzise Fragen gestellt. Damit die Bedingungen möglichst kontrolliert durchgeführt werden konnten, fand das Screening im Kino-Toni in Zürich statt. Der Film wurde mit einem professionellen Christie-Beamer auf eine grosse Leinwand projiziert und dies ab einem branchenüblichen DCP (Digital Cinema Package), dem üblichen Codec bei Kinoprojektionen. Der Film wurde zudem in 4K-Auflösung gezeigt, um den Zuschauenden den bestmöglichen Bildeindruck, mit keinem Qualitätsverlust, vermitteln zu können. So sind auch feine Details, wie das Rauschverhalten der jeweiligen Kameras, gut ersichtlich.



Abbildung 18: Vorführung des Kameratests im Kino-Toni an der Zürcher Hochschule der Künste.

Es wurden grundsätzlich zwei Themen mit den Probanden untersucht. Zum einen die Frage nach dem optisch schönsten Bild und in einem zweiten Schritt das Identifizieren des Sensortyps und das Zuordnen der gezeigten Bilder. Da das Publikum hauptsächlich aus Filmschaffenden bestand, waren die jeweiligen Kameras von Vorurteilen geprägt. Die gezeigten Bilder wurden aber, wie bereits erwähnt, anonym und in jeweils unterschiedlichen Reihenfolgen präsentiert. Die jeweiligen Einstellungen wurden zuerst nacheinander und danach nebeneinander, mit einem eigenen Buchstaben gekennzeichnet, vorgeführt. Die Probanden wussten auch, dass in jeder Runde die Bilder von allen Kameras vorkommen und keines doppelt gezeigt wird. Dies wurde so entschieden, da ansonsten keine präzise Statistik erstellt werden konnte.

Durch die Möglichkeit, jedes Bild nebeneinander betrachten zu können, werden die kleinsten Unterschiede in den Bildern wahrgenommen und verhindern eine neutrale Bildbetrachtung der Probanden. Es wurde dadurch nach der kleinsten Imperfektion im jeweiligen Bild gesucht, was allerdings auch das Ziel dieser Testvorführung war. Den Probanden sollte die bestmögliche Chance, die Bilder auseinander halten zu können, dargeboten werden.

4.5 Auswertung und Interpretation

Die ersten vier Einstellungen, bei direktem Sonnenlicht, haben gezeigt, dass die Bilder der drei Kamerasensoren sehr nahe aneinander angeglichen werden konnten. Obwohl in der ersten Einstellung die Kameras noch verhältnismässig gut auseinandergehalten wurden, war dies bei den restlichen Einstellungen am Tag nicht mehr der Fall. Gerade bei Nahaufnahmen war es für die Probanden unglaublich schwierig und zeigte, dass keine Kamera eindeutig identifiziert werden konnte. Bei der ersten Einstellung waren noch fast 60% der Antworten richtig, bei der zweiten allerdings nur knapp 17%, bei der dritten 29% und der letzten Einstellung bei Tageslicht nochmals 40%.

Während der Dämmerung waren die Ergebnisse etwas konkreter. Bei Einstellung 5 lag der Durchschnitt der richtigen Antworten bei knapp 36%, allerdings hat die Hälfte der Probanden die RED richtig erkannt. Bei Einstellung 6 lag der Durchschnitt bei 40%, ARRI und SONY wurden jeweils von der Hälfte der Teilnehmenden richtig erkannt. Bei Runde 7 wurde die SONY von 64% richtig identifiziert. Wahrscheinlich durch den Lowlight Modus, wobei die RED nur von 36% gefunden wurde, was etwas überraschend ist.

In der letzten Runde wurde die ARRI von 71% erkannt. Dies wahrscheinlich aus zwei Gründen. Einerseits war es das Bild, welches am wenigsten Details in den dunklen Bereichen darstellte, andererseits war es auch die einzige Kamera, die den Handyscreen farblich natürlich interpretieren konnte. RED und SONY wurden sehr wahrscheinlich verwechselt, da die Teilnehmenden dachten, die RED sei weniger anfällig für den Handyscreen.

Teil 1 Runde 1	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6	Teil 1 Runde 5	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild A	6	8	0	Bild N	4	6	4
Bild B	7	3	4	Bild O	8	1	5
Bild C	1	3	10	Bild P	2	7	5
korrekte Antwort in %	50.00	57.14	71.43	korrekte Antwort in %	28.57	50.00	28.57
Teil 1 Runde 2	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6	Teil 1 Runde 6	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild D	6	5	3	Bild Q	7	4	3
Bild E	2	7	5	Bild R	7	3	4
Bild F	6	2	6	Bild S	0	7	7
korrekte Antwort in %	14.29	14.29	21.43	korrekte Antwort in %	50.00	21.43	50.00
Teil 1 Runde 3	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6	Teil 1 Runde 7	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild G	8	5	1	Bild T	2	3	9
Bild H	5	3	6	Bild U	5	6	3
Bild J	1	6	7	Bild V	7	5	2
korrekte Antwort in %	7.14	35.71	42.86	korrekte Antwort in %	35.71	35.71	64.29
Teil 1 Runde 4	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6	Teil 1 Runde 8	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild K	3	6	5	Bild W	10	3	1
Bild L	5	6	3	Bild X	0	5	9
Bild M	6	2	6	Bild Y	4	6	4
korrekte Antwort in %	42.86	42.86	35.71	korrekte Antwort in %	71.43	35.71	28.57

Abbildung 19: Datenauswertung der Probanden.

Die durchschnittliche Identifizierbarkeit der jeweiligen Kamera ist wie folgt:

- Die **ARRI ALEXA MINI** wurde von **37.50%** der Teilnehmenden erkannt.
- Die **RED GEMINI** wurde von **36.61%** der Teilnehmenden erkannt.
- Die **SONY FX6** wurde von **42.86%** erkannt.

Somit wurde festgestellt, dass die SONY FX6 am einfachsten der drei getesteten Kameras identifiziert werden konnte. Die ARRI ALEXA MINI und RED GEMINI haben praktisch denselben Wert. Allerdings sind alle Werte nicht weit auseinander und gemäss dieser Statistik werden mehrheitlich die Bilder eher falsch als richtig erkannt, da keiner der Identifizierbarkeitswerte die 50% Marke übersteigt.

Die Frage nach dem schönsten Bild wurde wie folgt ausgewertet:

- Die **ARRI ALEXA MINI** gefällt **36.13%** der Teilnehmenden am besten.
- Die **RED GEMINI** gefällt **39.35%** der Teilnehmenden am besten.
- Die **SONY FX6** gefällt **24.52%** der Teilnehmenden am besten.

Die RED GEMINI gefällt dementsprechend den meisten Probanden. Die ARRI ALEXA MINI folgt kurz darauf und die SONY FX6 gefällt knapp einem Viertel der Teilnehmenden. Man darf hier nicht vergessen, dass diese Zahlen aus acht Einstellungen entstanden sind und lediglich eine Tendenz wiedergeben. Es wurden bewusst Situationen gewählt, in welchen die Kameras an ihre Grenzen stossen und minime Bildunterschiede aufweisen können.

5. Schlusswort

Die Tendenz zeigt, dass die ARRI ALEXA MINI und RED GEMINI sehr schwierig zu unterscheiden sind. Beide werden grundsätzlich als gleich schöne Bilder empfunden und unterscheiden sich nur in wenigen Punkten. Die ARRI ALEXA MINI reproduziert mit ihrem Sensor die natürlichsten Farben, und die RED GEMINI zeigt mit künstlichen Lichtquellen ihre deutlichste Schwäche.

Die SONY FX6 konnte vom Fachpublikum am einfachsten identifiziert werden und wird auch unter den getesteten Kamerasensoren als tendenziell weniger schönes Bild wahrgenommen. Jedoch ist der Unterschied keineswegs frappant und wären die Bilder nicht auf das kleinste Detail miteinander verglichen worden, wäre der Unterschied wahrscheinlich fast nicht erkennbar. Die SONY FX6 kommt den zwei anderen Kameras erstaunlich nahe und ist mit ihrem vergleichsmässig erschwinglichen Preis, dem physisch grössten Sensor und der modernsten verbauten Technik, für viele Situationen das richtige Mittel zum Zweck.

Die heutige Postproduktion kann Bilder unterschiedlicher Kameras mit relativ geringem Aufwand unglaublich gut aufeinander abstimmen. Problemlos können verschiedene Kameramodelle auf einem Dreh kombiniert werden. Die perfekte Kamera gibt es nicht, und die unterschiedlichen Kameras bleiben Werkzeuge, die für jeweilige Projekte verschiedene Stärken und Schwächen mit sich bringen.

In naher Zukunft sollen die Testaufnahmen erneut einem grösseren Fachpublikum vorgeführt werden, um die bereits erhaltenen Resultate unterstreichen oder allenfalls anpassen zu können. Zudem soll die Arbeit dem gesamten SSFV (Schweizer Syndikat Film und Video) elektronisch verschickt werden, um fundierte Rückmeldungen zu erhalten. Auch eine breitere Online-Auswertung der Testaufnahmen ist in Planung.

6. Anhang

6.1 Quellenverzeichnis

Wikipedia. *Complementary metal-oxide-semiconductor*.

https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary_metal-oxide-semiconductor.

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Wikipedia. *Bayer-Sensor*.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor>.

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Wikipedia. *Bildsensor*.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bildsensor>.

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Wikipedia. *Digitale Kinokamera*.

https://de.wikipedia.org/wiki/Digitale_Kinokamera.

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Wikipedia. *Farbfilm*.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Farbfilm>.

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Wikipedia. *Zapfen (Auge)*.

[https://de.wikipedia.org/wiki/Zapfen_\(Auge\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Zapfen_(Auge)).

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Red Digital Cinema. *RED Ranger Gemini Technical Specifications*.

http://docs.red.com/955-0192_v7.3/RANGER_GEMINI_HTML_v7.3/Content/A_TechSpecs/Specs_RANGER_GEMINI.htm.

Datum des Zugriffs: 19.02.2022

Wikipedia. *DaVinci Resolve*.

https://en.wikipedia.org/wiki/DaVinci_Resolve.

Datum des Zugriffs: 20.02.2022

ARRI. *Formats and Resolutions Overview*.

<https://www.arri.com/resource/blob/31908/14147b455c90a9a35018c0d091350ff3/2021-10-arri-formatsandresolutionsoverview-3-4-data.pdf>.

Datum des Zugriffs: 19.02.2022

ARRI. *ALEV Sensors*.

<https://www.arri.com/en/learn-help/technology/alev-sensors>.

Datum des Zugriffs: 05.02.2022

Fotovoyage. *ISO*.

<http://www.fotovoyage.com/iso/>.

Datum des Zugriffs: 19.02.2022

ifolor. *Geschichte der Fotografie*.

<https://www.ifolor.ch/inspirationen/geschichte-fotografie-teil1>.

Datum des Zugriffs: 03.02.2022

Live Production. *Six Tips for Simpler HDR Workflows*.

<https://www.live-production.tv/news/4k-8k-arising/six-tips-simpler-hdr-workflows.html>.

Datum des Zugriffs: 19.02.2022

Nikon. *Was ist ein optischer Tiefpassfilter*.

https://www.nikoningsupport.com/eu/BV_article?articleNo=000006377&configured=1&lang=de.

Datum des Zugriffs: 05.02.2022

Red Digital Cinema. *Temporal Aliasing with Cinema*.

<https://www.red.com/red-101/cinema-temporal-aliasing>.

Datum des Zugriffs: 05.02.2022

Red Digital Cinema. *Global & Rolling Shutters*.

<https://www.red.com/red-101/global-rolling-shutter>.

Datum des Zugriffs: 05.02.2022

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Seite 6: *Bayer-Matrix*.

<https://lernen.zoner.de/sensor-technologie-was-sie-in-der-praxis-von-ihrem-sensor-erwarten-koennen/>.

Datum des Zugriffs: 11.03.2022

Abbildung 2, Seite 6: *Farbaufteilung der Matrix*.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bayer-Sensor>.

Datum des Zugriffs: 11.03.2022

Abbildung 3, Seite 7: *Bildrauschen in jeweiligen Farbkanälen*.

<http://www.fotovoyage.com/iso/>.

Datum des Zugriffs: 11.03.2022

Abbildung 4, Seite 8: *Bildvergleich mit & ohne Moiré*.

<https://www.red.com/red-101/cinema-temporal-aliasing>.

Datum des Zugriffs: 11.03.2022

Abbildung 5, Seite 8: *Bildvergleich zwischen Global- & Rolling Shutter*.

<https://www.red.com/red-101/global-rolling-shutter>.

Datum des Zugriffs: 11.03.2022

Abbildung 6, Seite 9: *Unterschied zwischen HDR & SDR Workflow*.

<https://www.cnet.com/tech/home-entertainment/dolby-vision-hdr10-advanced-hdr-and-hlg-hdr-formats-explained/>.

Datum des Zugriffs: 19.02.2022

Abbildung 7, Seite 10: *3D-Darstellung eines LUTs*.

<https://skylum.com/de/blog/what-is-a-lookup-table-lut>.

Datum des Zugriffs: 06.02.2022

Abbildung 8, Seite 12: *Größenunterschied der Kamerasensoren*.

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 9, Seite 12: *Benutzte Sensorfläche für Vergleich*.

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 10, Seite 14: *Dreh für Sensorvergleich*.

Paul Märki, Jahr 2022

Abbildung 11, Seite 14: *Dreh für Sensorvergleich*.

Paul Märki, Jahr 2022

Abbildung 12, Seite 17: *Scopes in DaVinci Resolve*.

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 13, Seite 17: *Timeline für den Kameravergleich in DaVinci Resolve*.

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 14, Seite 18: *Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 1)*

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 15, Seite 18: *Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 5)*

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 16, Seite 19: *Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 7)*

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 17, Seite 19: *Vergleich der jeweiligen Kamerabilder nach dem Colorgrading. (Einstellung 8)*

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

Abbildung 18, Seite 20: *Vorführung des Kameratests im Kino-Toni an der Zürcher Hochschule der Künste*.

Miriam Loertscher, Jahr 2022

Abbildung 19, Seite 21: *Datenauswertung der Probanden*.

Ian Oggenfuss, Jahr 2022

6.3 Abkürzungsverzeichnis

CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
OLPF	Optical Low Pass Filter
VFX	Visual Effects
HDR	High Dynamic Range
SDR	Standard Dynamic Range
LUT	Look Up Table
DCP	Digital Cinema Package
SSFV	Schweizer Syndikat Film und Video

6.4 Dokumentenanhang: Fragebogen

Studie zur Erforschung unterschiedlicher Kamerasensoren

Liebe/r Zuschauer/in

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an dieser Studie. Wir weisen Sie darauf hin, dass die Untersuchung ausschliesslich dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn dient und anonym ausgewertet wird. Die erhobenen Daten lassen keine Rückschlüsse auf einzelne Personen zu.

Sie sehen in dieser Untersuchung 8 verschiedene Kameraeinstellungen, die identisch mit drei Kameras gedreht wurden. Mit folgenden Kameras wurden die Aufnahmen durchgeführt: ARRI ALEXA, RED GEMINI & SONY FX6.

Sie sollen in dieser Studie die jeweils gezeigten Bilder den Kameras zuordnen und in einem zweiten Teil das für Sie ansprechendste Bild auswählen.

Sie erfüllen den Zweck der Befragung am besten, wenn Sie die Fragen zügig und spontan beantworten.

Bitte erst nach dem Start des Filmes umblättern!

TEIL 1

Pro Runde bitte das gezeigte Bild der jeweiligen Kamera zuordnen.
Es kann keine Kamera mehrmals pro Runde vorkommen.

RUNDE 1:	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild: „A“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „B“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „C“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RUNDE 2:	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild: „D“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „E“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „F“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RUNDE 3:	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild: „G“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „H“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „I“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RUNDE 4:	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
Bild: „K“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „L“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „M“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Bitte umblättern!

	ARRI ALEXA	RED GEMINI	SONY FX6
RUNDE 5:			
Bild: „N“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „O“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „P“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RUNDE 6:			
Bild: „Q“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „R“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „S“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RUNDE 7:			
Bild: „T“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „U“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „V“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RUNDE 8:			
Bild: „W“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „X“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bild: „Y“	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Teil 1 ist fertig. Besten Dank!

Bitte umblättern!

TEIL 2

Pro Runde bitte ein Bild auswählen, dass Ihnen am besten gefällt.
Begründen sie diese Auswahl mit Stichworten.

RUNDE 1:

Begründung: (Stichwortartig)

- A
- B
- C

RUNDE 2:

Begründung: (Stichwortartig)

- D
- E
- F

RUNDE 3:

Begründung: (Stichwortartig)

- G
- H
- J

RUNDE 4:

Begründung: (Stichwortartig)

- K
- L
- M

RUNDE 5:

Begründung: (Stichwortartig)

- N
- O
- P

RUNDE 6:

Begründung: (Stichwortartig)

- Q
- R
- S

RUNDE 7:

Begründung: (Stichwortartig)

- T
- U
- V

RUNDE 8:

Begründung: (Stichwortartig)

- W
- X
- Y

Teil 2 ist fertig. Besten Dank!

Bitte umblättern!

Demografische Angaben

Mit welchem Geschlecht identifizieren Sie sich:

- Nicht binär Weiblich Männlich Weiss nicht

In welchem Jahrgang wurden Sie geboren: _____

Sind Sie eine Fachperson im Bereich Film?

- Ja Nicht wirklich Nein Weiss nicht

Was ist Ihr höchster Bildungsabschluss?

- Berufslehre
 Sekundarschule
 Höhere Berufsbildung
 Fachhochschule oder Universität
 Andere: _____

Bitte notieren, wenn Sie eine Sehschwäche/-korrektur haben:

Bitte umblättern!

Wie wichtig ist für Sie bei Filmen, ...

	Überhaupt nicht wichtig	Nicht so wichtig	Weder noch	Ziemlich wichtig	Sehr wichtig
... dass es zugeht wie im richtigen Leben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... dass die Gefühle der Personen echt wirken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... dass die erzählte Geschichte auf wahren Fakten basiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... die Kameraarbeit und Bilder.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... die technische Bildqualität.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... wie der Film oder die Bilder geschnitten sind.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... dass der Film zum Nachdenken anregt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

VIELEN DANK FÜR IHRE TEILNAHME!

Den Fragebogen bitte der Versuchsleitung abgeben.

LINK ZUM FILM:

<https://vimeo.com/679159424/cc0c77a9f>

7. Erklärung

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst zu haben.

Zürich, 4. Mai 2022

Ort, Datum

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Unterschrift