

Vorteile und Vergleich der Anwendung des linearen Workflows in 3ds Max mittels V-Ray

Studiengang Medieninformatik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

André Berger

geb. 30.04.1980 in Marburg

durchgeführt bei
Dreidesign, Hamburg

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk
Korreferent der Arbeit: Hans-Christian Arlt B. Sc.
Betreuer Dreidesign: Christoph Hennig

Hamburg, 1. Juli 2014

In Ehren für Rosemarie Totzauer

Danksagung

Danken möchte ich in erster Linie meinem Referenten Herrn Prof. Dr. Cornelius Malerczyk für seine ausgiebige Unterstützung und seine Flexibilität, denn die weite Entfernung von der THM zum Praktikum und der Bachelorarbeit in Hamburg stellte eine besondere Herausforderung dar. Diesbezüglich möchte ich mich auch bei Herrn Hans-Christian Arlt für die Übernahme der Funktion des Korreferenten bedanken.

Auch mein Vorgesetzter und meine Kollegen bei *dreidesign* haben maßgeblich dazu beigetragen, dass diese Bachelorarbeit in der jetzigen Endfassung vorliegt. An dieser Stelle gilt ein ganz besonderer Dank meinem Betreuer Herrn Christoph Henning. Durch seine Hilfestellung und konstruktive Kritik gewann diese Arbeit eine durchdachte und stringente Struktur.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Korrekturlesern bedanken, die viel private Zeit in die Berichtigung meiner Arbeit investiert haben.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Freundin, die mich in der ganzen Zeit immer wieder ermutigte und zur Seite stand. Meinen Eltern gebührt der größte und herzlichste Dank, denn sie haben mich in allen Lebenslagen stets unterstützt.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Hamburg, 1. Juli 2014

André Berger

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Selbstständigkeitserklärung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung	4
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Zusammenfassung	8
2 Stand der Technik	11
2.1 Einleitung	11
2.2 Gammakorrektur	12
2.3 Monitore	14
2.4 Renderer	17
2.5 Grafikformate	19
2.6 Texturen und Materialien	21
2.7 Zusammenfassung	23
3 Grundlagenkapitel	25
3.1 Menschliche Wahrnehmung	25
3.2 Kontrast und Schwarz-Weiß-Punkt	28
3.3 Farbmanagement	32
3.4 Farbtiefe	36
3.5 Image-based lighting (IBL)	38
4 Anwendung des linearen Workflows	41
4.1 Einleitung	41
4.2 Kalibrierung	41
4.2.1 Softwarelösung	42

4.2.2	Hardwarelösung	43
4.3	Kalibrierung des Monitors	44
4.4	Globale Einstellungen in 3ds Max	46
4.5	V-Ray Einstellungen	49
4.6	Doppelte Gammakorrekturanwendung	51
4.7	Lineare Daten	53
4.8	Szenenaufbau	55
5	Ergebnisse	59
5.1	Objektive Bewertung	61
5.1.1	Licht und Schatten	61
5.1.2	Displacement-Kanal	63
5.1.3	Reflexion	64
5.2	Subjektive Bewertung	65
5.2.1	Ergebnis zum Thema „Lichtstimmung“	66
5.2.2	Ergebnis zum Thema „Himmel“	67
5.2.3	Ergebnis zum Thema „Beleuchtung“	68
5.2.4	Bewertung der Umfrage	68
6	Zusammenfassung und Ausblick	71
6.1	Der lineare Workflow	71
6.2	Lineares Compositing	71
6.3	Zukünftige Verbesserungen	72
6.4	Internet-Referenzen	73
	Literaturverzeichnis	75

Abbildungsverzeichnis

1.1	Architekturvisualisierung mit Fokus auf das Objekt	3
1.2	Agami House von Ronen Bekerman	3
1.3	Helligkeitsverlauf	4
1.4	Beispiel mit und ohne linearen Workflow	5
1.5	Gesamt-Gamma mit Gamma-Vorentzerrung und Monitorgamma	5
2.1	Beispiel eines Farbmanagements	12
2.2	Dichtekurve	13
2.3	CRT und LCD Monitor	15
2.4	Beispiel zweier Gammakurven	15
2.5	Beispiel eines Renderprozesses in 3ds Max mittels V-Ray	18
2.6	Beispiel eines V-Ray-Material in 3ds Max	22
3.1	Wellenlänge des sichtbaren Lichts	26
3.2	Beispiel von weichem und harten Kontrast	28
3.3	Helligkeitstäuschung in zwei Beispielen	29
3.4	Tonwertkorrektur in Adobe Photoshop CS6	30
3.5	Gradationskurve bei Adobe Photoshop CS6	31
3.6	Additive Farbmischung	32
3.7	Subtraktive Farbmischung	33
3.8	RGB und CMYK als Würfel	34
3.9	Zusammensetzung einzelner Kanäle von RGB und CMYK	34
3.10	Grafische Darstellung des Lab-Farbraums	35
3.11	Beispiel von RGB-, CMYK- und Lab-Farbraum	35
3.12	Farbverlauf verschiedener Bitraten	37
3.13	1. Beispiel des IBL-Verfahrens anhand verschiedener Himmel	40
3.14	2. Beispiel des IBL-Verfahrens anhand verschiedener Himmel	40
4.1	Zwei unterschiedliche Kolorimeter	43
4.2	Einsatz des Kolorimeters Spyder4Pro von datacolor	45
4.3	Erweiterte Einstellungen für den Spyder4Pro	45
4.4	Ergebnis vor und nach der Kalibrierung	47
4.5	Globale Einstellung in 3ds Max	48
4.6	Beispiel des Farbverlaufs ohne und mit linearen Workflow	48

4.7	Grundeinstellungen in V-Ray	50
4.8	Doppelte Gammakorrekturanwendung anhand einer Cornell-Box	52
4.9	Texturen mit unterschiedlichem Gammawert laden	53
4.10	Der Materialeditor vor und nach der Umstellung zum linearen Workflow	54
4.11	„Speichern unter“ Fenster mit optionaler Bestimmung des Gammawertes	55
4.12	Ansicht des 3D-Modells von außen und vorn	55
4.13	Das sphärische Foto für die Belichtung und den Hintergrund	56
5.1	Gerendertes Bild mit Anwendung des linearen Workflows	60
5.2	Gerendertes Bild ohne Anwendung des linearen Workflows	60
5.3	Beurteilung der Schatten mit und ohne linearen Workflow	62
5.4	Auswertung des Schattenverlaufs mit linearen Workflow	62
5.5	Auswertung des Schattenverlaufs ohne linearen Workflow	63
5.6	Beurteilung des Displacements mit und ohne linearen Workflow	64
5.7	Beurteilung der Reflexion mit und ohne linearen Workflow	65
5.8	Befragung zur Lichtstimmung	66
5.9	Befragung zur Natürlichkeit des Himmels	67
5.10	Befragung zum Verhältnis der Außen- und Innenbeleuchtung	68

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Sowohl vor als auch nach der Einführung der Computergrafik zum Erstellen von Architekturvisualisierungen waren und sind Architekten auf Ihre Präsentationen Ihrer Werke angewiesen. Dies gilt für alle Bereiche der Vermarktung, denn der Architekt hat stets die Aufgabe, seine Kunden mit den Bildern zu überzeugen.

„Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ trifft in der Architekturbranche somit voll und ganz zu. Denn mit der Visualisierung, einer visuellen Veranschaulichung von abstrakten Daten eines Objektes, kann sich auch ein Außenstehender ohne technische Zeichnungen ein Bild vom späteren Objekt machen.

Der Erfolg eines Architekten hängt heute mit von seiner perfekten Präsentation des Objektes ab, bei dem eine High-End-Architekturvisualisierung kaum noch wegzudenken ist. Wie sonst könnten Wohnungen oder Häuser, die noch nicht gebaut sind, bereits verkauft werden? Die zukünftigen Besitzer oder Mieter entscheiden sich bereits Monate vor dem eigentlichen Bau für diese Wohnung, ohne jemals innerhalb gestanden zu haben.

Durch ein fotorealistisches Bild kann dem Kunden ein einwandfreier Einblick geboten werden wie es früher vor Einführung der Computergrafik kaum möglich war. Dies ist allerdings nur ein Beispiel. Selbstverständlich gibt es zahlreiche weitere Verwendungen für eine Visualisierung wie unter anderem Architektur-Wettbewerbe, Städteplanung, Freiflächenplanung oder Bürgerentscheide.

Infolge modernster Computergrafik und ständige Weiterentwicklung ist es heute möglich, nicht nur das Gebäude an sich, sondern auch die Umgebung wie z. B. Nachbargebäude zu unterschiedlichen Tageszeiten bzw. bei unterschiedliche Lichtverhältnissen realistisch darzustellen.

Durch das zusätzliche Einbinden der Fotografie für bereits vorhandene Objekte und dem Zusammenspiel der einzelnen Programme wie den 3D-Programmen (3ds Max, Cinema 4D, Maya etc.) und Adobe Photoshop ist es heutzutage möglich, eine perfekte Sicht in alle Bereiche, die sich der Kunde wünscht, zu erhalten.

Unumgänglich sind selbstverständlich bestimmte Methoden, um zu gewährleisten, dass der Betrachter es so sieht wie das Objekt in Wirklichkeit sein wird. Hier muss eine physikalisch glaubwürdige Farbgebung mit natürlichen Helligkeitsverläufen angestrebt werden, um den Farbumfang, Kontrast und die Helligkeit so darzustellen wie es das menschliche Auge auch in der Realität wahrnehmen würde.

Diese Voraussetzungen sind allgemeingültig, denn Visualisierung ist nicht nur in der Architekturbranche ein wichtiges Instrument. Ebenso ist sie in der Film- und Werbebranche nicht mehr wegzudenken, um nur zwei weitere große Bereiche zu nennen. Der lineare Workflow ist somit für jedermann, der eine realistische Wahrnehmung anstrebt, von wichtiger Bedeutung.

“Vereinfacht gesagt, beschreibt der lineare Workflow ein Verfahren, die Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe von Bildmaterial im 3ds Max zu steuern. Der Monitor ist nicht in der Lage, ein Bild in seiner Helligkeit so darzustellen, wie wir es in der Realität sehen. Jedes Bild ist mit einer Gammakorrektur-Kurve versehen, um am Monitor für unser Auge richtig dargestellt zu werden. Dabei handelt es sich in der Regel um einen Gammakorrektur-Wert von 2,2. Da 3ds Max intern linear, d. h. mit einem Gamma von 1,0 arbeitet, muss diese Korrektur wieder rückgängig gemacht werden” [JE09]

Der lineare Workflow ist sozusagen ein Arbeitsweg, der es ermöglicht, dass das finale Bild einen linearen Helligkeitsverlauf besitzt. Dies hat selbstverständlich auch etwas mit der menschlichen Wahrnehmung des Auges zu tun, worauf im Grundlagenkapitel näher eingegangen werden wird.

Wie das finale Bild von Architekten präsentiert werden soll, hängt von der Gestaltungsmöglichkeit oder vom Kundenwunsch ab. Ganz beabsichtigt werden Nachbargebäude manchmal auch nur einfarbig texturiert, um den Fokus auf das neue Objekt zu setzen (siehe Abb. 1.1).

Hier könnte vermutet werden, dass eine Benutzung des linearen Workflow nicht benötigt wird, da eine realistische Darstellung nicht gewünscht ist. Der lineare Workflow bietet sich allerdings auch hier an, da durch die Erweiterung der Farbpalette ebenfalls mehr Grautöne zur Verfügung stehen. Wie genau sich die Farbpalette mit dem linearen Workflow ändert, wird im Grundlagenkapitel erläutert.



Abbildung 1.1: Architekturvisualisierung mit Fokus auf das Objekt (Quelle: <http://bit.ly/MxqZ3k>)

Somit empfiehlt sich stets eine Bearbeitung mit dem linearen Workflow. Denn wenn die Einstellungen eingerichtet sind und der Umgang damit erlernt wurde, hat der Benutzer nur noch einen minimalen Aufwand. Er erhält jedoch mehr Bearbeitungsmöglichkeiten.

Wie hochwertige Architekturvisualisierungen bereits damals schon aussehen konnte, kann anhand des Bildes von Ronen Bekerman¹ nachvollzogen werden. Ronen Bekerman ist seit Jahren professioneller 3D-Architekturvisualisierer aus Israel. Dieses Werk wurde von ihm im Januar 2010 erstellt (siehe Abb. 1.2).



Abbildung 1.2: Agami House von Ronen Bekerman (2010) (Quelle: <http://bit.ly/Qp0yPE>)

¹<http://bit.ly/Qp04Jb> (Ronenbekerman.com)

1.2 Problemstellung

Für einen Grafiker ist die Kalibrierung seines Monitors Voraussetzung. Dabei fällt der nicht lineare Helligkeitsverlauf eines Displays sehr deutlich auf. Ob dies einem alten Röhrenmonitor (CRT²) oder Flüssigkristallbildschirm (LCD³) entspricht, ist zu vernachlässigen, da alle Monitore dieses technische Problem besitzen. Lediglich die Kurven unterscheiden sich ein wenig, aber keiner von ihnen kann einen linearen Helligkeitsverlauf wiedergeben.⁴

In den zwei Abbildungen ist der konvexe Verlauf der Helligkeit zweier Monitore deutlich zu erkennen (siehe Abb. 1.3). Bei ca. 30% der maximalen Leistungsaufnahme am RGB-Eingang strahlt der Monitor erst ca. 10% seiner Luminanz ab. Somit ist ein nicht linearer Verlauf eindeutig erkennbar.

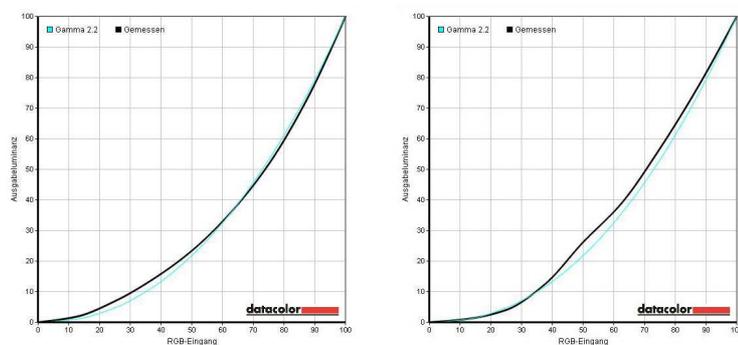


Abbildung 1.3: Darstellung des Helligkeitsverlaufs zweier Monitore: Samsung SyncMaster 2343BW (links) und Samsung SyncMaster T220 (rechts).

Dieser nicht lineare Verlauf führt dazu, dass dunkle Bereiche eines Bildes mit zunehmender Leistung weniger stark ansteigen als in den helleren Bereichen. Somit werden Schatten schneller abgebrochen als es in der Realität der Fall ist und wichtige Details gehen verloren (siehe Abb. 1.4).

Dies gilt für alle gängigen Monitore wie wir sie heute im Einsatz haben, und mittlerweile kann behauptet werden dass sich ein Gamma-Richtwert von 2,2 durchgesetzt hat.

Wie der Abbildung 1.3 zu entnehmen ist, liegen auch hier die Kurven sehr dicht an dem Wert. Jedoch können alle Monitore technisch betrachtet niemals exakt auf einem Gamma-wert von 2,2 liegen. Dies basiert auf dem Signalstandard vom NTSC (National Television System Committee). [Har]

²CRT: engl. für Cathode ray tube: Kathodenstrahlröhre

³LCD: engl. für Liquid crystal display: Flüssigkristallbildschirm

⁴<http://bit.ly/1kC7MG> (Uni Stuttgart)

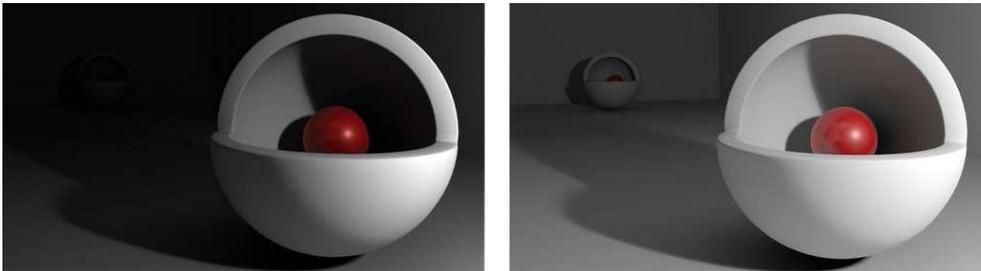


Abbildung 1.4: Rendering ohne Beachtung des linearen Workflows (links) und unter Berücksichtigung des linearen Workflows (rechts). Quelle: <http://bit.ly/1exVB00>

Jeder Monitor hat somit stets seine eigene Abweichung, was den linearen Workflow in der finalen Bearbeitung streng betrachtet erschwert. Denn um einen hundertprozentigen linearen Verlauf in der finalen Bildverarbeitung zu erhalten, muss der Wert des Ausgabemediums bekannt sein und im Vorfeld berechnet werden.

“Um nun den Monitor-Gammawert von 2,2 zu kompensieren, muss der reziproke Wert mit $1 / 2.2 = 0.4545$ gebildet werden. Hat ein Bild den Gammawert 0.45, so wird es an einem Monitor mit dem Gammawert 2.2 linear, also für unsere Augen «richtig» dargestellt”⁵

Damit ein harmonischer Verlauf gewährleistet wird, bedarf es einer Korrektur mit einer gegenläufigen Kurvenform, einer sogenannten Gammakurve. Als Endergebnis erhält man einen linearen Helligkeitsverlauf (siehe Abb. 1.5). Den linearen Workflow!

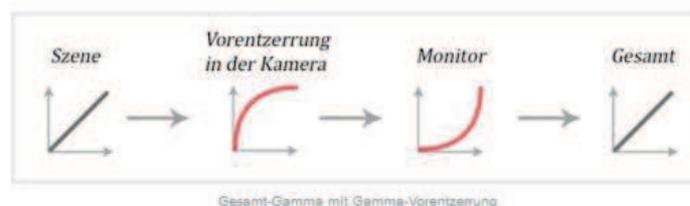


Abbildung 1.5: Gesamt-Gamma mit Gamma-Vorentzerrung und Monitorgamma. Quelle: <http://bit.ly/1d2jwn8>

Ohne diesen Workflow würden zusätzliche Lichtquellen benötigt werden, um in den dunklen Bereichen mehr Details (Grautöne) entnehmen zu können. Dies führt ebenfalls dazu, dass wiederum andere Bereiche, bei denen die Helligkeit ausreicht, überstrahlt werden. Eine ständige Anpassung dessen nähme zu viel Zeit in Anspruch und ist nur schwer umsetzbar.

⁵<http://bit.ly/1hilxcW> (Blender Documentation)

Bei der Gammakorrektur wird dem Verlauf der Helligkeitsverteilung entgegengewirkt, so dass diese für den Betrachter im Ergebnis linear verläuft. Dem neutralen Betrachter fällt allerdings eine Bearbeitung mit dem linearen Workflow nicht auf, während der Grafiker die optimale Qualität aus einem Bild gewinnen kann.

Häufig werden 3D-Szenen gammakorrigiert texturiert und mit weiteren nicht gammakorrigierten Texturen vermischt. Auch hier muss von Anfang an linear gearbeitet werden und die verschiedenen Dateiformate berücksichtigt werden. Die Renderer arbeiten grundsätzlich linear, also liegt es nahe, dass die Texturen ebenfalls linear vorliegen müssen, weil ansonsten der Renderer mit verfälschten Werten arbeitet. Sofern die Texturen vor der Verarbeitung nicht linear sind, muss stets eine Gammakorrektur vorgenommen werden. Das passiert u. a. bei JPG-Texturen, da das Format die Gammakorrektur bereits beinhaltet.

Es ist somit leicht zu erkennen, dass es nicht ausreicht, nur das 3D-Programm auf den linearen Workflow einzustellen. Der lineare Workflow ist zwar hinreichend bekannt und innerhalb der 3D Programme gut dokumentiert, aber das Zusammenspiel von linearem Workflow und den Gammakorrekturen in den unterschiedlich vorliegenden Texturen und Monitoreinstellungen wurde noch nicht ausreichend untersucht und ist Ziel dieser Arbeit. Denn nur wenn die Daten im linearen Format vorliegen und das Ausgabemedium mit dem Gammawert bekannt ist, kann der Renderer die Berechnung korrekt vornehmen und dem Anwender die besten Ergebnisse liefern. Ohne Linearität der Daten würde das Verhältnis von linearen zu gammakorrigierten Daten bei einer Erhöhung der Helligkeit nicht dem gleichen Wert entsprechen. Da sich leider kein einziges Anwendungsbeispiel so intensiv damit beschäftigt, existieren somit noch wichtige Probleme bei der korrekten Anwendung des linearen Workflows.

1.3 Zielsetzung

Im Internet finden sich viele einzelne Themen und Hinweise für die Benutzung des linearen Workflows innerhalb der einzelnen 3D-Programme. Vorschläge und Hinweise zu Einstellungen, die in jedem konkreten Einzelfall ein bestmögliches Ergebnis mit Hilfe des linearen Workflows erzielt haben, gibt es ausreichend. Für jeden Einzelfall können die Einstellungen allerdings variieren. Dieser Umstand macht die Thematik schnell unübersichtlich, und der Suchende erliegt einer Flut von Informationen, die zu projekt- und programmspezifisch sind. Des Weiteren beschäftigen sich diese Anwendungsbeispiele meist schon mitten in der Anwendung, obwohl es von vornherein bereits schon wichtige Einstellungen zu beachten gibt. Diese Lücke soll mit dieser Bachelorarbeit geschlossen werden und den linearen Workflow als kompletten Arbeitsweg betrachten, der zum Schluss sowohl objektiv als auch subjektiv bewertet wird.

Der lineare Workflow setzt sich mit dem Dateiformat der Textur fort. Dabei stellen sich hier schon die ersten Fragen. Welches Dateiformat ist die richtige Wahl? Welche Unterschie-

de gibt es bei den verschiedenen Formaten und erhalten sie bereits eine Gammakorrektur oder benötigen sie diese nicht, weil sie schon linear sind? Auf diese Fragen wird im Kapitel „Stand der Technik“ eingegangen, dessen Verständnis auch eine Grundlage der Bachelorarbeit darstellt. Außerdem darf der Gammawert des Ausgabemediums nicht vernachlässigt werden. Denn nur wenn dieser bekannt ist, können die Texturen dementsprechend eine Gammakorrektur erhalten. Diese müssen möglichst exakt der gegenläufigen Kurve des Gammawertes des Monitors entsprechen, um sicherzustellen, dass der Renderer linear berechnen kann.

Innerhalb dieser Arbeit soll sachlich und individuell nachgewiesen werden, dass der richtig umgesetzte lineare Workflow, d. h. physikalisch korrekt und vollständig, die besten Ergebnisse liefert.

Dazu werden zwei 3D-Szenen verwendet. Eine kleine selbst erstellte Szene, vergleichbar mit der Standard-Szene „Cornell-Box“⁶, die einen Raum mit nur einer Öffnung für Licht besitzt und innen zwei Objekte mit glänzender Oberfläche enthält. Die Renderzeit bleibt damit gering, und dennoch lässt sich der Helligkeitsverlauf von Schatten und Spiegelungen sehr gut beurteilen.

Die zweite ist eine hochwertige Innenraumarchitektur-Szene (mit freundlicher Genehmigung von Dreidesign in Hamburg) mit langen Renderzeiten. Hier haben die späteren Betrachter die Möglichkeit die Szene im Ganzen besser zu beurteilen.

Als globale Beleuchtung wird das Verfahren „Image-based lighting“ (IBL) angewendet. Bei dem eine texturierte Kugel um die Szene gebaut wird, die als Beleuchtungsgrundlage für die Szene dient. Das Thema wird ebenfalls im Grundlagenkapitel näher erklärt.

Beide Szenen werden mit dem 3D-Programm 3ds Max von Autodesk umgesetzt. Um dennoch einen globalen Bezug herzustellen, wird innerhalb dieser Arbeit mit V-Ray gearbeitet. Dieses Render-PlugIn kann in fast jedem 3D-Programm eingesetzt werden und bietet somit den generellen Bezug an. Alle weiteren Einstellungen auf Programmebene werden mit 3ds Max in der Version 2013 erarbeitet.

Hiermit wird dem Leser nicht nur das nötige Wissen des Themas vermittelt, sondern auch wichtige Voreinstellungen im Programm 3ds Max erläutert. Des Weiteren sollte es dem Leser anschließend möglich sein, den linearen Workflow anzuwenden und dadurch realistische Renderings zu erhalten.

Überstrahlte Bereiche durch zusätzliche Lichtquellen werden dadurch vermieden und Schatten natürlicher dargestellt. Das führt zu einem generell besseren und harmonischerem Verlauf der Farben und somit zu aussagekräftigen Ergebnissen.

⁶<http://bit.ly/V1Bjpb> (Cornell University)

Die hier beschriebene Methode, einschließlich der Anwendung des linearen Workflows, ist aufgrund der diversen Einstellungsmöglichkeiten noch keine Garantie für ein realistisches Bild. Entscheidend ist es, den linearen Workflow vollständig zu betrachten und bereits vorher mit korrekten Daten zu arbeiten. Dies gilt auch für Anwender anderer 3D-Programme. Denn es müssen lediglich programmspezifische Einstellungen angepasst werden.

1.4 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt die Anwendung des linearen Workflows für eine physikalisch korrekte und glaubwürdige Farbgebung wie sie in der Architektur- und Filmbranche Voraussetzung ist.

Am Anfang werden die theoretischen Grundlagen erläutert. Für die korrekte Umsetzung in 3ds Max und V-Ray werden anschließend die Schwerpunkte, sowie richtige Einstellungen für den linearen Workflow hervorgehoben. Es folgt die eigene Erstellungen von Bildern und Darstellung der Ergebnisse. Am Ende wird der Vorteil des linearen Workflows nachgewiesen.

Die Arbeit ist wie der Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte für die Einhaltung des linearen Workflows aufgebaut. Von der Kalibrierung des Monitors über die Anwendung des linearen Workflows und Softwareeinstellungen bis zur linearen Nachbearbeitung.

In Kapitel 2 wird der Leser auf den Stand der Technik gebracht. Besondere Schwerpunkte in diesem Kapitel sind die Gammakorrektur bezogen auf Hard- und Software. Weiterhin werden die Eigenschaften der Grafikformate, Texturen und Materialien in Bezug auf den linearen Workflow erläutert.

Kapitel 3 befasst sich mit den Grundlagen, die für das Verständnis innerhalb der Bachelorarbeit wichtig sind. Angefangen von der menschlichen Wahrnehmung für den linearen Helligkeitsverlauf über das Farbmanagement bis zur Anwendung der HDR-Fotografie als Lichtquelle anhand des IBL-Verfahrens.

Kapitel 4 beschreibt die Anwendung des linearen Workflows als strukturierten Ablauf in Einzelschritten. Beginnend mit der Kalibrierung des Monitors bis zum Rendern werden alle Einstellungen in 3ds Max und V-Ray, unter Berücksichtigung der Linearität der Daten, vorgestellt. Es enthält wichtige Hinweise für die Schnittstellen wie die Übergabe und Speicherung der Daten für den finalen Szenenaufbau.

In Kapitel 5 wird die gerenderten Szene dargestellt. Die Ergebnisse werden im Anschluss objektiv sowie subjektiv bewertet. Die objektive Bewertung erfolgt anhand von selbst erstellten Einzelaufnahmen, in denen je ein lineares und nicht lineares Bild gegenübergestellt wird. Die subjektive Bewertung wurde anhand einer Befragung durchgeführt und die Ergebnisse vorgestellt.

Diese Arbeit schließt mit dem Beweis, dass der lineare Workflow physikalisch korrekt berechnete und realistische Bilder liefert, ab. Mit der Übergabe der linearen Daten an das Compositing sind ideale Voraussetzungen für die Weiterbearbeitung der Bilder gesichert. Verbesserungsvorschläge sollen am Ende dieser Arbeit einen Ausblick geben.

Kapitel 2

Stand der Technik

2.1 Einleitung

Betrachtet man den heutigen Stand der Hard- und Software gibt es verschiedene Lösungsansätze den linearen Workflow umzusetzen.

Viele professionelle Fotografen, Hard- und Softwarehersteller, bis hin zu den Grafikern im 3D-Bereich haben sich mit der Frage beschäftigt: Wie erreicht man eine mathematisch und physikalisch korrekte Wiedergabe der dargestellten Helligkeit?¹

Dabei hat man entdeckt, dass der wichtigste Bestandteil die „Gammakorrektur“ ist. Aus diesem Ansatz heraus wurden verschiedene Lösungsansätze entwickelt, aber nicht miteinander verknüpft.

So gibt es heute viele „Insellösungen“, die letzten Endes dazu führen, dass nicht konstant oder konsequent linear gearbeitet wird und Verbesserungspotential besteht.

Es ist ein Faktum, dass jede Firma, sei es Hard- oder Software, sich nur innerhalb ihrer eigenen Mittel bewegt, ohne andere mit einzubeziehen bzw. die Möglichkeiten dazu anbietet. So hat u. a. die Firma „EIZO“ auf ihrer Homepage ihre eigene Lösung zum einhalten ihre Farbreinheit zwischen ihren verschiedenen Geräten, indem sie alle so konfigurieren, dass sie den selben Farbraum benutzen (siehe Abb. 2.1).²

Bei dem Softwarehersteller „Autodesk“ im Programm „3ds Max“ hingegen gibt es gewisse globale Einstellungen, um den linearen Workflow auf einen Gammawert von 2,2 einzustellen.

Hier stellt sich jetzt die Frage, wie beide Parteien zusammen gewährleisten wollen, dass ihre Daten jeweils linear sind und problemlos an den anderen weitergegeben werden kann?

¹<http://bit.ly/1mrPD2p> (Braverabbit.de)

²<http://bit.ly/1eUWMZ7> (EIZO-Farbmanagement)

Sofern sich nicht alle Hersteller auf einen Standard einigen, muss stets sichergestellt werden, dass alle Schritte für den linearen Workflow linear sind und bei der Weitergabe bleiben. Ansonsten würden es immer zu Schwankungen durch Konvertierungen kommen.

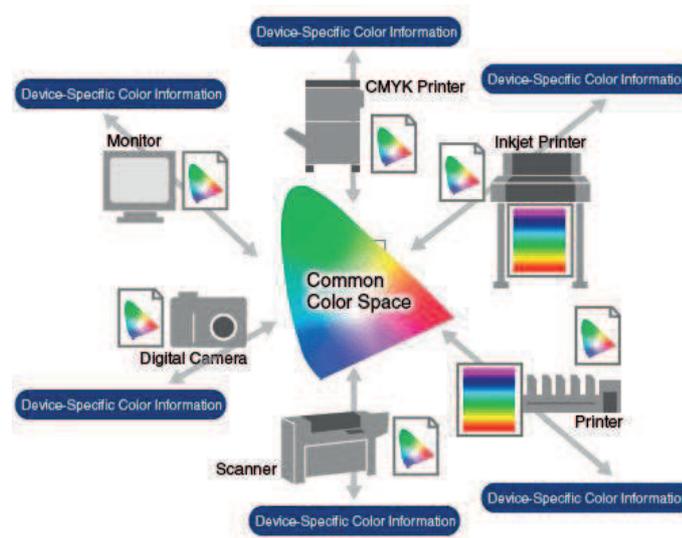


Abbildung 2.1: Beispiel eines Farbmanagements. Quelle: <http://bit.ly/1eUWMZ7>

Um dies zu Beweisen, möchte ich in diesem Kapitel einige Lösungsansätze analysieren und Defizite aufzeigen, um den tatsächlichen linearen Workflow und die damit besten Ergebnisse in der Darstellung eines „natürlichen“ und „realen“ Bild zu ermöglichen.

2.2 Gammakorrektur

Die Gammakorrektur findet ihren Ursprung schon sehr früh in den ersten Versuchen der Fotografie.

Ferdinand Hurter (geboren 16. März 1844 in der Schweiz; gestorben 5. März 1898 in England) war ein Chemiker, der 1867 nach England zog und den Ingenieur Vero Charles Driffield (1848-1915) kennenlernte.

Zusammen erarbeiteten sie 1890 die sogenannte „Schwärzungskurve“ (siehe Abb. 2.2) ;auch Dichtekurve oder Hurter-Driffield-Kurve genannt, die damals die Fotografie wesentlich vereinfachte.³

³<http://bit.ly/1mSJheX> (Stadtarchiv Schaffhausen (Schweiz))

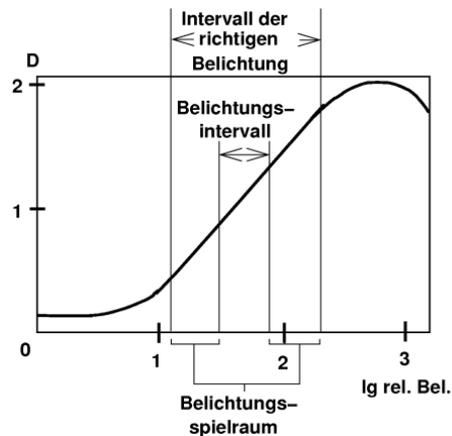


Abbildung 2.2: Beispiel der Dichtekurve. Quelle: <http://bit.ly/1flhBuM>

Diese Kurve beschrieb eine Veränderung der fotografischen Schicht, die umso schwärzer wurde, je mehr Licht auf sie einfiel und legte somit den Grundstein für die Negative in der Fotografie.

Zu dieser Zeit wurde früh erkannt, dass durch die Einstellungen von Kontrast und Gradient sich die Bildqualität verbesserte. Dies kann als die Geburtsstunde des Wortes „Gammakorrektur“ angesehen werden.

Jedoch muss ebenfalls erwähnt werden, dass die Definition der Gammakorrektur nicht eindeutig ist, weil Gammawerte in den unterschiedlichsten Bereichen Verwendung findet.

“In der Physik, der Mathematik und der Medizin wird der griechische Buchstabe Gamma als Variable verwendet, um Funktionen, Konstanten oder Exponenten zu beschreiben. Die Bezeichnung Gammakorrektur fand im Gegensatz dazu erstmals in der Fotografie um 1890 Gebrauch und im frühen 20. Jahrhundert für die Bildschirmwiedergabe. Die eigentliche Definition von Gammakorrektur ist jedoch nicht eindeutig, da sie bis dato kontextsensitiv ist und Gammawerte in den unterschiedlichsten Bereichen benötigt werden” [Har]

Für den linearen Workflow ist es jedoch enorm wichtig, den Gammawert von seinem Monitor und seiner Kamera zu kennen. Bei selbst erstellten Fotos die später als Textur benutzt werden sollen, können die Fotos über den herstellerspezifischen Konverter linear eingestellt werden, weil die Gammakorrekturen unterschiedlich sind. Denn nur so kann durch vorheriges umrechnen gewährleistet werden, dass der Betrachter einen Helligkeitsverlauf linear wahrnimmt. [Mar07]

Ein berühmter Satz von Ferdinand Hurter lautete: "Das Schaffen eines perfekten fotografischen Bildes ist Kunst, das Schaffen eines perfekten Negativs ist Wissenschaft."⁴

Wie auf der Abbildung 2.1 zu erkennen ist, besitzt diese Kurve, auch Gradationskurve genannt, nur in einem Teil eine Linearität, was einem Gammawert von 1.0 (logarithmische Betrachtung von gleichbleibende Steigung) entspricht, mit dem alle Renderer intern das Bild berechnen. In unserer Vorstellung gehen wir allerdings immer automatisch von einem linearen Verlauf aus, obwohl dies nicht unsere Wahrnehmung widerspiegelt.

Somit müssen bestimmte Schritte bereits im Vorfeld beachtet werden, um nicht durch Benutzung des linearen Workflows unbeabsichtigte Fehler einzubauen, die eine fehlerhafte interne Berechnung des Bildes zur Folge hätte.

Der lineare Workflow ist somit nur richtig umgesetzt, d. h. physikalisch korrekt und vollständig, wenn die kompletten einzelnen Arbeitsschritte von Anfang bis Ende linear eingehalten werden.

2.3 Monitore

Betrachten wir als erstes die Monitore, die für uns als Anzeigemedium dienen und somit extrem wichtig für die Beurteilung eines Bildes sind.

Als erstes wurde die Kathodenstrahlröhren (CRT) im Jahre 1897 von Ferdinand Braun unter dem Namen Braun'sche Röhre entwickelt. Braun legte damit den Grundstein für die damaligen Fernseher, auch wenn er sich dessen damals noch nicht bewusst war. Es dauerte allerdings bis in die 1930er Jahre, als die ersten Fernseher entwickelt und verkauft wurden. Diese hielten sich viele Jahrzehnte und wurden erst in den 2000er Jahren langsam durch Flüssigkristallbildschirme (LCD) abgelöst. Allerdings findet man auch in der heutigen Zeit noch reichlich Anwendungen der Braun'sche Röhre, wie bei Oszillografen und Radarsichtgeräten.⁵

Im Laufe dieser Zeit hat sich die Display-Technik zwar gewandelt, jedoch nicht visuell verbessert. Das Darstellungsverfahren von CRT-Monitoren ist mit den Vorteilen der LCD-Monitore vereint worden. Somit ist das nicht lineare Verhalten in die neue Technik mit übernommen worden und bestätigt weiterhin die hohe Relevanz des linearen Workflows. Dadurch ist eine gleichbleibende visuelle Darstellung eines Bildes auf verschiedenen Wiedergabegeräten immer noch aufgrund vieler einflussnehmender Kriterien sehr problematisch. [JK10]

⁴<http://bit.ly/1mlxlgp> (Chemie.de)

⁵<http://bit.ly/1hXP9li> (Medienzentrum Rotenburg)



Abbildung 2.3: Beispiel eines CRT- und LCD-Monitors. Quelle: <http://bit.ly/Pe8IJS>

Technisch betrachtet ist es nicht zu einhundert Prozent möglich, einen linearen Helligkeitsverlauf am Monitor, egal welcher Art, darzustellen. Dies muss allerdings auch nicht angestrebt werden, weil unsere menschliche Wahrnehmung ebenfalls nicht linear ist⁶.

Um nun dennoch einen linearen Helligkeitsverlauf zu gewährleisten, müssen sich somit beide Gammakurven zu einer linearen Geraden (auch „Normalen“ genannt) kompensieren (siehe Abb. 2.4).

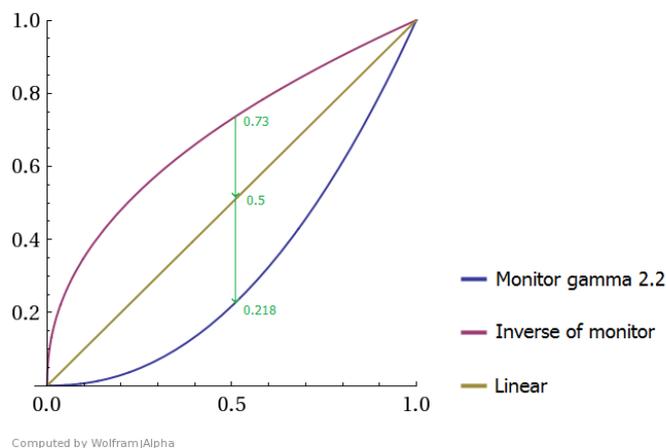


Abbildung 2.4: Beispiel zweier Gammakurven, die sich zu einer linearen Geraden (Normalen) aufheben. Quelle: <http://bit.ly/1pk4CjL>

“Im Grundzustand wird die Gradationskurve Normale genannt. Sie bildet eine Diagonale im 45°-Winkel und steht für eine unveränderte Tonwertverteilung⁷ im Bild.” [BB09]

⁶<http://bit.ly/1kC7MG> (Uni Stuttgart)

⁷Anteile von maximal hellen und dunklen Bereichen mit dazwischenliegenden Graustufen

Monitore werden heutzutage alle ab Werkszustand mit einem ungefähren Gamma-Wert von 2,2 ausgeliefert. Dies war allerdings nicht immer so und hat sich im Laufe der Zeit erst entwickelt.

Apple hatte u. a. bis zu seiner Mac OS X 10.6 Version „Snow Leopard“ (28. August 2009) stets einen Gamma-Wert von 1,8 und erst ab dieser Version einen Wert von 2,2 übernommen.⁸

Diese Umstellung entwickelte sich erst im Laufe der Zeit weiter, weil unsere Wahrnehmung einen Gamma-Wert von 0,2 bis 0,5 besitzt und das Bild dadurch für uns fast linear wahrgenommen werden kann.⁹

Somit ist zwar der Gammawert für alle ein Richtwert geworden, allerdings hat jeder einzelne Monitor Differenzen, was eine Kalibrierung des Monitors stets unumgänglich werden lässt. Hinzu kommt, dass viele handelsüblichen Monitore bereits ab Werkszustand teils mit internen Profilen geliefert werden, die eine zu kalte oder zu warme Farbgebung beinhalten können.

Ein Abschnitt im Buch „3D-Architektur-Visualisierung“ von Christian da Silva Caetano erfasst dieses mit zwei Sätzen:

“Das Gammawert war damals und ist auch heute noch dabei nicht für jeden Monitor exakt gleich, die Unterschiede sind aber, aufgrund der Vorjustierung durch Hersteller, so gering, dass sich der Wert bei den meisten Monitoren immer um den Faktor 2.2 bewegen sollte. Mit zunehmendem Alter oder durch unterschiedliche Fertigungsqualität variieren die eingestellten Gammawerte der diversen Monitore jedoch und bedürfen in den meisten Fällen einer Korrektur.” [SC08]

Die wirtschaftliche Sicht wird in einem weiterem Abschnitt ebenfalls gut erklärt:

“Die Aufnahmegерäte arbeiteten, im Gegensatz zu den Wiedergabemonitoren, linear. Die gemessene Lichtintensität wurde also linear in Spannung umgewandelt. Sie konnte jedoch nur nicht korrekt auf den Monitoren wiedergegeben werden. Vor diesem Hintergrund entschied man sich, die linear gemessenen Lichtintensitäten direkt bei der Aufnahme zentral mit dem Gamma-Wert zu korrigieren, da dies wirtschaftlicher erschien, als alle Ausgabegeräte mit einem entsprechenden Gammakorrektur-Schaltkreis auszustatten.” [SC08]

Somit spricht es für sich, dass Monitore zu aller erst kalibriert werden müssen, damit die jeweiligen Bilder immer gleich wahrgenommen werden können und an den sRGB-Farbraum angepasst werden. Das Problem dabei ist der Schwarz- und Weißpunkt und das Farbspektrum, dass immer nach einer bestimmten Zeit neu kalibriert werden muss.

⁸<http://bit.ly/1dNbJvS> (Apple Support)

⁹<http://bit.ly/1izmQZd> (Farbimpulse)

Monitore verlieren mit dem Alter und abhängig vom Gebrauch an Leuchtkraft, was sich auf die einzelnen Faktoren negativ auswirkt. [MM06]

Auch dieses Problem wird in einem Abschnitt erklärt:

“Seither wird jedes aufgenommene Kamera-Bild, sei es eine Foto- oder eine Videokamera, direkt nach der Aufnahme oder spätestens bei der ersten Überarbeitung und Speicherung, mit dem entsprechen Gammawert für das Ausgabegerät korrigiert (z.B. für Fernseher oder Monitore mit 2,2) und in einem Ausgabeformat gespeichert, der diese Korrektur fest enthält. Dieses Verfahren ist bis heute so geblieben! Lineare Werte werden in den sRGB-Farbwerteraum konvertiert und mithilfe des Gammawertes korrigiert, um sie auf Monitoren, seien es nun CRT-(Röhren) oder LCD-Monitore, bestmöglich wiederzugeben.” [SC08]

Es muss somit sichergestellt werden, dass unser Monitor mit dem sRGB-Farbraum arbeitet und dadurch ein Gammawert von 2,2 besitzt. Auch wenn sich die Hersteller in einem gewissen „Spielraum“ um den Gammawert von 2,2 bewegen, kann dies nicht garantiert werden und macht eine Kalibrierung stets notwendig.

2.4 Renderer

Der Renderer fügt das Bild durch eine Vielzahl von mathematischen Berechnungen Punkt für Punkt zusammen. Ohne ihn gäbe es kein fertiges Bild, und der Renderer muss eine Menge an Informationen der Materialien in Kombination mit dem simuliertem Licht durch Algorithmen zusammen berechnen.

Die Abbildung 2.5 zeigt eine Momentaufnahme innerhalb des Renderprozesses, um dies anschaulicher zu gestalten. Links im Bild (unterhalb der Fenster) kann eine feinere Struktur als rechts gut erkannt werden. Hier ist der Renderprozess um einen Prozess weiter fortgeschritten und somit schon detaillierter dargestellt.

Einen Renderer kann man sich vereinfacht als eine Lochkamera vorstellen. Allerdings ist die sogenannte virtuelle Kamera innerhalb unserer 3D-Szene vom Aufbau ein wenig anders. Das Loch der Lochkamera ist für die virtuelle Kamera nur ein einzelner Punkt, der als Ausgangspunkt dient und die Kamera innerhalb der 3D-Szene positioniert. Von diesem Punkt aus werden eine Vielzahl von erzeugten „Strahlen“ in die Szene geschossen. Die Projektionsebene auf der unser fertiges Bild entsteht, muss man sich zwischen dem Objekt und der Kamera als Plane vorstellen, auf der unsere 3D-Szene auf 2D abgebildet wird. Sie unterliegt keiner festen Größe, was sich eigentlich physikalisch von der Entfernung ergeben würde. Dies ist ein Vorteil der Computergrafik, was allerdings in unserem Fall nicht weiter erwähnenswert ist. [JK10]

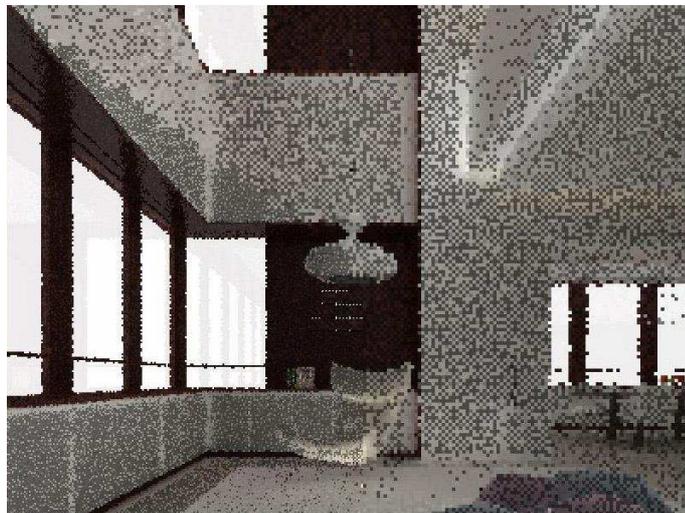


Abbildung 2.5: Beispiel eines Renderprozesses in 3ds Max mittels V-Ray.

Es spricht somit für sich selbst, dass alle Einstellungen innerhalb der ganzen Szene perfekt zusammen passen müssen, um ein realistisches Bild zu erhalten. Im Falle des linearen Workflows müssen alle Daten unbedingt linear vorliegen. Vertiefte Ausführungen dazu unter „Texturen und Materialien“ im nächsten Unterkapitel.

Um physikalisch korrekt zu arbeiten, ist es somit unumgänglich, den genauen Wert unserer Monitore zu kennen. Renderer berechnen ihre einzelnen Punkte stets linear. Für die Verwendung des linearen Workflows ist somit sicherzustellen, dass alle Daten an den Renderer linear übergeben werden. Ansonsten würde der Renderer die einzelnen Punkte falsch berechnen, wodurch eine verfälschte Belichtung die Folge wäre.

Nur wenn der Gamma-Wert des Ausgabemediums bekannt ist, kann im Vorfeld die entsprechende Option veranlasst werden, die Daten linear dem Renderer zu übergeben, damit dieser das Bild korrekt berechnen kann. Auf das fertig gerenderte Bild muss anschließend erneut eine Gammakorrektur angewendet werden, damit es zusammen mit dem Monitor-gamma für unser Auge linear wahrgenommen wird.

Innerhalb dieser Arbeitswege des linearen Workflows können somit an den verschiedensten Stellen unbeabsichtigte Fehler eingebaut werden. Eine entsprechende Handhabung der Einstellungen im 3D-Programm ist somit von entscheidender Bedeutung.

V-Ray hat sich als guter physikalischer Renderer durchgesetzt, was aber auch sehr stark an der guten globalen Einbindung vieler gängiger 3D-Programme liegt. Aktuell befindet sich

V-Ray in der Version 3.0 und zusammen mit einer ständigen Weiterentwicklung bleibt das Produkt für den Markt interessant.¹⁰

2.5 Grafikformate

Die Grafikformate unterscheiden sich zunächst in zwei Grafikarten. Den Raster- und Vektorgrafiken.

Die Rastergrafiken bestehen aus Bildpunkten die an einem Raster angeordnet sind. In dieser Grafikart wird Höhe und Breite der Pixel und die Farbtiefe definiert. Diese Grafikart, auch Pixel- oder Bitgrafik genannt, eignet sich besonders für die Darstellung mit Farbverläufen wie fotografische Bilder. Einige Rastergrafikformate unterstützen noch zusätzlich eine Bildkompression (siehe Grundlagenkapitel).

Die Vektorgrafiken hingegen werden in geometrisch definierten Grundelementen (Linien, Kreise, Kurven etc.) definiert und eignen sich u. a. für Schriftarten und sind daher für meine Arbeit nicht weiter relevant.¹¹

Das richtige Dateiformat ist für den Datenaustausch zwischen den Schnittstellen von großer Bedeutung, um den linearen Workflow zu gewährleisten. Ich möchte in meiner Arbeit auf die bekanntesten Formate kurz eingehen und erläutern, welche die geeignetsten Formate für einen Datenaustausch und Speicherung im linearen Workflow sind.

Die Hauptmerkmale der Grafikformate sind Farbtiefe, Farbraum und Kompression. Diese Begriffe werden im Grundlagenkapitel erläutert.

Es lässt sich vermuten, dass beim Renderer die interne Berechnung für die Beleuchtung, durch mehr mögliche Abstufungen aufgrund einer höheren Bitrate, deutlich bessere Ergebnisse liefert. Für die finale Bilddarstellung und unserer Wahrnehmung trifft dies allerdings nicht zu, weil die menschliche Wahrnehmung deutlich beschränkter ist und so hohe Unterschiede nicht wahrnehmen kann. Mehr dazu ebenfalls im Grundlagenkapitel unter „Menschliche Wahrnehmung“.

Ein Zitat verdeutlicht dies ein wenig:

“Bei einem Bild mit 8 Bit pro Farbkanal gibt es 256 Graustufen. Ein mittleres Grau liegt also bei dem Wert 128. Der Schritt von Graustufenwert 128 zu 129 entspricht somit einer Veränderung von 0,3%. Bei 16 Bit Auflösung stehen für jeden Kanal 65.536 Farbstufen zu Verfügung. Die Veränderung von einem

¹⁰<http://bit.ly/1eSV9vf> (VRay.com)

¹¹<http://bit.ly/1jqQ5u1> (Saxoprint.de)

2. STAND DER TECHNIK

Graustufenwert zum nächsten entspricht somit nur noch 0,0015%. Noch differenziertere Auflösungen sind mit dem 32-Bit-Format möglich.”¹²

Dazu ein kleiner Überblick von geeigneten Grafikformaten:

Format	Name	Farbtiefe	Farbraum	Kompression
.jpg	JPEG	8 Bit	RGB	Verlustbehaftet
.png	PNG	8,16 Bit	RGB	Verlustfrei
.exr	OpenEXR	16,32 Bit	beliebig	Verlustfrei
.tif	TIFF	8,16,32 Bit	RGB	beliebig
.dpx	DPX	8,10,12,16 bis 64 Bit	RGB, YCbCr	Verlustfrei
.psd	PSD	8,16,32 Bit	RGB,CMYK, Lab	Verlustfrei

Tabelle 2.1: Eigenschaften verschiedener Grafikformate

Die Auflistung der Grafikformate macht es dennoch nicht einfach, das passende Format ausfindig zu machen. Jedenfalls sind sie nicht unbedingt alle problemlos zu handhaben. Jedes einzelne besitzt seine Vor- und Nachteile.

Sofern keine Linearität vorhanden ist, wie es z. B. beim JPG-Format der Fall ist, muss bei der Verwendung des linearen Workflows berücksichtigt werden, dass sie für den Renderer erst umgewandelt werden müssen. Dabei muss selbstverständlich so gut wie nur möglich gewährleistet werden, dass dabei keine Verluste entstehen.

Somit empfiehlt sich ein Farbraum, der bereits linear ist. Dies macht das Format OpenEXR, DPX und PSD weiter interessant. Für das Verfahren IBL (Image-based lighting), was im „Grundlagenkapitel“ erklärt wird, ist es unumgänglich, ein lineares Format zu benutzen.

Bei diesen drei Formaten wäre DPX (Digital moving picture exchange) das einzige, das eine 64-Bit-Farbtiefe ermöglichen würde und dazu noch variabel in der Farbtiefe ist. 64 Bit ist allerdings eine sehr hohe Farbtiefe, die für die meisten Fälle sogar übertrieben ist. Dennoch gibt es in gewissen Bereichen der Nachbearbeitung dafür Verwendung wie es in der professionellen Filmindustrie der Fall ist.¹³

Allerdings fallen dadurch auch erheblich große Datenmengen an, weswegen stets abgewogen werden muss, für was diese Daten eingesetzt werden und wie viel Rechenleistung vorhanden ist. Dafür ist man bei dem Format OpenEXR im Farbraum ungebunden und eine Farbtiefe mit bis zu 32 Bit genügt für die meisten Anwendungen und stellt einen guten Kompromiss dar.¹⁴

¹²<http://bit.ly/1n2bRKS> (Blender Dokumentation)

¹³<http://bit.ly/1pmVg6L> (smppte.org)

¹⁴<http://bit.ly/1i2XVxs> (OpenEXR)

Ebenfalls spielt eine gute Anbindung an eine weitere Schnittstelle eine wichtige Rolle. Je nachdem, ob es überhaupt eine Weiterbearbeitung gibt und in welchen Bereich sie fällt, empfiehlt sich das eine oder andere Format. Im Bereich der Filmindustrie und der Verwendung von „After Effects“ von Adobe wird öfters mit dem Format DPX gearbeitet. Das liegt daran, dass es speziell dafür entwickelt wurde. Das Format besitzt einen zusätzlichen „Header“, der es ermöglicht, u. a. sogar einen „Timecode“ zu hinterlegen. Diese Möglichkeit bietet TIFF leider nicht und dadurch wird es speziell für bewegliche Bilder eingesetzt, was nicht heißen soll, dass TIFF keine Verwendung in der Filmindustrie besitzt! Es besitzt einfach nur keine Möglichkeit, videospezifische Metadaten zu speichern und ist somit für umfangreichen Filmproduktionen nur bedingt geeignet. [Sch10]

Es besteht somit stets die Qual der Wahl und muss immer hinterfragt werden, ob sich die höheren Datenmengen lohnen. Zutreffend ist, dass bei der Verwendung vom linearen Workflow eine Linearität gewährleistet werden muss und das Format entscheidend ist, weil je nachdem, welches Format eingebunden wird, eventuell eine Korrektur vorgenommen werden muss.

Die richtige Verwendung der verschiedenen Grafikformate ist somit von entscheidender Bedeutung.

2.6 Texturen und Materialien

An dieser Stelle soll der Unterschied zwischen Textur und Material erklärt werden, weil diese zwei Ausdrücke immer leicht verwechselt werden können oder auch umgangssprachlich vertauscht werden.

Die Textur ist ein Teil vom Material wie z. B. ein fotografierte Bild ohne besondere definierten Eigenschaften. Das könnte u. a. ein Foto mit der Maserung eines Holzes sein. Das Material wiederum beschreibt den finalen Stand mit all seinen Eigenschaften wie u. a. der Transparenz, der Farbe, dem Glanz etc.. Es ist somit fertig konstruiert und kann direkt auf das Objekt oder die Fläche eingesetzt werden, während die reine Textur noch zum Material hinzugefügt und bearbeitet werden muss.

Das vereinfachte Beispiel in der Abbildung 2.6 zeigt ein V-Ray-Material mit seiner Textur innerhalb von 3ds Max. Links oben ist die Textur von Holz hinterlegt, die eine Farbkorrektur erhält und erst anschließend auf das Material ihre Position an der Diffuse map einnimmt. Eine weitere Textur, links unten, liegt im Kanal der Bump map. Das fertige zu verwendete Material ist somit auf der rechten Seite in Blau dargestellt, das auf ein Objekt angewendet werden kann.

Wie im vorherigen Unterkapitel „Renderer“ erwähnt, müssen die Materialien für den linearen Workflow linear vorliegen, damit der Renderer seine Berechnungen korrekt durchführen

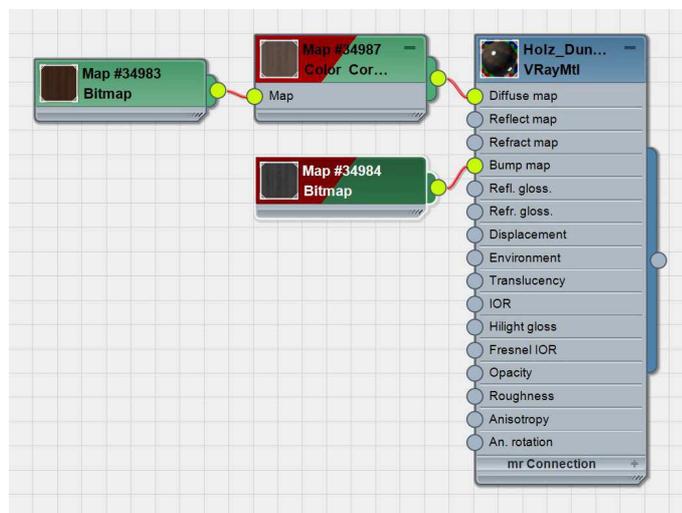


Abbildung 2.6: Beispiel eines V-Ray-Material in 3ds Max.

kann und keine verfälschten Ergebnisse liefert. Für eine lineare Speicherung der Daten ist das richtige Datenformat wichtig.

Einer der meist verwendeten Formate für fotografische Bilder ist das JPEG.¹⁵ Jedoch muss hier auch erwähnt werden, dass JPEG streng genommen kein Grafikformat ist. Es ist eine Bilddaten-Kompressionsform. [Mar07]

Zuständig dafür ist die Joint Photographic Experts Group als CCITT (Comite Consultatif International Telephonique et Telegraphique), die wiederum Mitglied der ISO (International Standards Organization) ist und den JPEG-Standard 1992 unter der Norm ISO/IEC 10918-1 festgelegt hat.¹⁶ [Mar07]

Dieses Format gewährleistet sehr kleine Dateigrößen als Pixelgrafik mit bis zu 16,7 Mio. Farben bei 8 Bit pro Kanal (24 Bit, True Color), die verlustbehaftet abgespeichert wird. Es besteht zwar die Möglichkeit, sie auch verlustfrei zu speichern, jedoch hat sich im Laufe der Zeit nur die komprimierte Variante durchgesetzt, die entweder sequentiell oder progressiv mit der Huffman-Kodierung erfolgt.

Es muss allerdings erwähnt werden, dass bei einer Speicherung ins JPEG-Format vom dem RGB- in das YCrCb-Farbmodell immer konvertiert wird und es somit zu einer ersten Abweichung kommt. D. h. dass es stets verlustbehaftet ist. [Wag11]

JPEG ist schlecht geeignet für Grafiken mit harten Übergängen wie u. a. bei einer Schrift oder Diagrammen und besitzt keinen Alpha-Kanal, der für die Transparenz zuständig ist.

¹⁵<http://bit.ly/1evMFV6> (Landesakademie)

¹⁶<http://bit.ly/P2WNhg> (JPEG Homepage)

Das stellt allerdings im Falle einer fotografischen Textur, wie es in den meisten Fällen in 3D-Programmen verwendet wird, kein Problem dar.

Die Flexibilität von JPEG durch Komprimierungs- und Kodierungsmethoden mit einer Farbtiefen von 24 Bit macht das Format stets interessant, und der gute Bekanntheitsgrad spiegelt dies wider. Allerdings bezieht sich JPEG immer auf den RGB-Farbraum, der nicht linear ist und bereits eine Gammakorrektur beinhaltet.¹⁷

Somit ist das Format zwar im persönlichen Umfeld, wie für die Speicherung von Fotos gut geeignet, aber für den linearen Workflow ungeeignet.

Es gibt jedoch noch viele andere interessante Formate wie z. B. PNG, DPX, EXR oder TIF. Sie alle unterscheiden sich von ihrer möglichen Farbtiefe, dem Farbraum und der Kompression. Im kommenden Grundlagenkapitel wird auf die Unterschiede noch einmal genauer eingegangen und diese gegenübergestellt.

Bei der Auswahl des Grafikformats für eine Textur liegt die Herausforderung darin, zu klären, ob die Daten bereits linear vorliegen oder ob sie konvertiert werden müssen, um linear an den Renderer übergeben werden zu können.

2.7 Zusammenfassung

Kurz zusammengefasst muss der komplette Arbeitsweg für den linearen Workflow durchgängig linear eingehalten werden. Die verschiedenen vorhandenen Lösungsansätze müssen verbunden und aufgearbeitet werden, wobei die Gammakorrektur eine wichtige Rolle spielt.

Genau hier war die Herausforderung dieser Arbeit, denn viele Autoren von Publikationen oder Tutorials betrachten den linearen Workflow nur zum Teil.¹⁸

Hersteller und ihre Publikationen betrachten meist nur programmspezifische Teile die zum linearen Workflow beitragen. [JE09]

In der Literatur finden sich allgemein unter dem Begriff „linearer Workflow“ nur eine kleine Auswahl, denn der Begriff „Gammakorrektur“ dominiert bei der Suche nach Linearität von Daten.¹⁹

Betrachtet man den kompletten linearen Workflow fängt dieser bereits bei der Kalibrierung des Monitors an, die nach einem bestimmten Zeitraum wiederholt werden muss, damit die korrekte Gammakorrektur ein lineares Bild zeigt. Fortgesetzt mit einer stets linearen

¹⁷<http://bit.ly/1mQFX1I> (Poynton.com)

¹⁸<http://bit.ly/1pBiEcF> (pixela-3d.com)

¹⁹<http://bit.ly/1hilxcW> (Blender Documentation)

Übergabe der Daten zum Beispiel an den Renderer, bei der man die linearen Formate der Texturen und Materialien beachten muss.

Hier spielen die Grafikformate eine zentrale Rolle, weil diese ebenfalls linear vorliegen müssen, um am Ende eine korrekte lineare Speicherung der Daten zu erhalten, z. B. im Format EXR.

Insgesamt betrachtet muss auf den Datenaustausch zwischen den Schnittstellen geachtet werden und in allen Arbeitsschritten auf die mathematisch und physikalisch korrekten linearen Daten sichergestellt werden. Diese Arbeit soll einen Lösungsweg für diese Problemstellungen aufzeigen.

Kapitel 3

Grundlagenkapitel

3.1 Menschliche Wahrnehmung

Die menschliche Wahrnehmung hat sich im Laufe der Evolution sehr gut an unsere Umwelt angepasst. Wir sind in der Lage, eine ungeheure Flut von Umwelteinflüssen und Informationen mit unseren Sinnen wahrzunehmen.

Von allen Umweltinformationen nehmen wir ca. 60 % über das Sehen wahr, und innerhalb dieser Arbeit ist erstmal nur dies wichtig. Aber auch, wenn dies so eine unglaubliche Leistung ist, ist unsere Wahrnehmung pragmatisch und versucht immer, die einfachste Lösung selbstständig zu finden. Mit anderen Worten: Sie ist faul! [Dit14]

“(...) Eigenschaft Ihrer Wahrnehmung erkennen: sie ist einfallsreich und sinnstiftend und nimmt Kompromisse in Kauf - und schummelt dazu auch manchmal ein wenig.” [Dit14]

Sehen können wir nur mit Hilfe von Licht, das mehr oder weniger vorhanden ist. Licht ist wiederum elektromagnetische Strahlung und somit Strahlungsenergie, die ca. 900000 mal schneller als der Schall und sich per Lichtgeschwindigkeit (300000 Km/s) bewegt. In einem leeren Raum breitet sich das Licht geradlinig aus, bis es auf ein Hindernis trifft. [Dit14]

Beim Auftreffen gibt es drei Möglichkeiten, was mit dieser Art von Energie passieren kann: Reflexion, Transmission und Absorption.

Bei der Reflexion, auch Spiegelung genannt, reflektiert die Strahlung in eine andere Richtung. Dieser Effekt ist z. B. bekannt durch Blendung des Lichts der Frontscheiben entgegenkommender Fahrzeuge im Verkehr. Die Transmission ist dafür zuständig, dass es im Auto hell ist, weil das Licht durchgelassen wird. Bei der Absorption, wird die Strahlung sozusagen verschluckt. Dieser Effekt ist z. B. bekannt, wenn sich schwarze Oberflächen erwärmen, weil sie kaum reflektieren und kein Licht durchlassen.¹

¹<http://bit.ly/1h3ILTt> (ScanDig GmbH)

3. GRUNDLAGENKAPITEL

Wir sind allerdings in der Empfindung der elektromagnetischen Strahlung eingeschränkt und haben nur einen gewissen Teil, den wir wahrnehmen können. Dieser Raum liegt ungefähr zwischen 400 bis 800 Nanometern (nm). Je nachdem, welche Wellenlänge von unserem Auge wahrgenommen wird, empfinden wir eine andere Farbe. Bei 400 nm wäre dies für uns Violett und bei 800 nm Rot (siehe Abbildung 3.1). [Dit14]

Unterhalb dieser Grenze existiert die UV-Strahlung, die Möglichkeiten bietet, um versteckte Sachen zum Vorschein zu bringen, wie es z. B. die Kriminaltechnik oder Künstler anwenden. Oberhalb dieser Grenze liegt die Infrarotstrahlung, die für Wärme benutzt werden kann wie es u. a. für Reptilien in Terrarien angewendet wird. In beiden Richtungen gibt es selbstverständlich noch mehr Strahlungen mit den unterschiedlichsten Anwendungen wie u. a. Funkwellen und Radioaktivität (siehe Abb. 3.1).

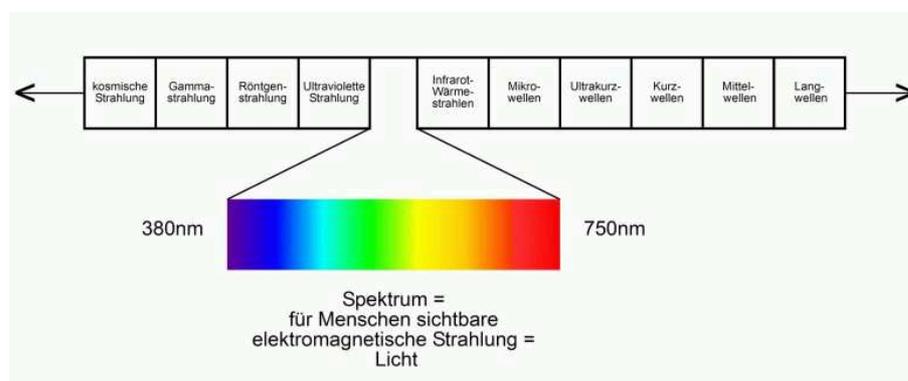


Abbildung 3.1: Wellenlänge des sichtbaren Lichts. Quelle: <http://bit.ly/Qk45P2>

Unsere Netzhaut, die hinten am Auge platziert ist, wandelt die verschiedenen Wellenlängen des Lichts in elektrische Signale für unser Gehirn um. Unsere Netzhaut besteht aus ca. 126 Millionen Sehzellen, die sich in Zapfen und Stäbchen aufteilen. Ca. 120 Millionen Stäbchen im äußeren Bereich und nur ca. 6 Millionen Zapfen im Mittelpunkt teilen sich die Netzhaut. [Dit14]

Tagsüber, bei ausreichend Licht, können wir sehr scharf und in Farbe sehen. Zuständig dafür sind die Zapfen in unserem Auge, die im Mittelpunkt der Netzhaut sitzen und dies ermöglichen. In der Nacht ist das anders. Wir benötigen wenigstens immer noch ein wenig Licht, ganz egal von welcher Quelle. Sei es durch direkte Strahlung einer kleinen, nicht starken LED oder durch Reflexion vom Teil des Mondes, um noch Umrisse wahrzunehmen zu können, damit wir uns immer noch orientieren können. Dies nehmen wir allerdings nicht in Farbe wahr sondern anhand von verschiedenen Graustufen. Dafür sind die Stäbchen verantwortlich und ermöglichen uns bei geringem Licht dennoch so feine Unterschiede wahrzunehmen. Jedoch nicht scharf, dafür sind sie sehr helligkeitsempfindlich. [Dit14]

Durch diese Kombination aus Stäbchen und Zapfen besitzen wir die Möglichkeiten uns den Lichtverhältnissen sehr gut anzupassen und auch bei kaum vorhandenem Licht, noch relativ gut sehen zu können.

Das Sprichwort: „In der Nacht sind alle Katzen grau“ trifft somit auf uns voll und ganz zu und beschreibt deutlich, dass wir nur Graustufen in der Nacht wahrnehmen können und uns dabei auch schnell täuschen können, weil wir dann nicht scharf sehen können.

Der Mensch kann im Durchschnitt ca. 500 verschiedene Graustufen voneinander unterscheiden, allerdings hängt dies von verschiedenen Parametern ab. Je nachdem wie die Hintergrundbeleuchtung und die Größe des Helligkeitsfeldes ist, kann sich dieser Wert sogar verdoppeln. Vom Durchschnitt ausgegangen haben wir somit mathematisch folgende Bitanzahl zur Verfügung:

$$\log_2(500) \approx 8,966$$

Bei den Monitoren wird dies, aufgrund von nicht-linearer Grauwertskalierung, auf 8 Bit pro Bildpunkt reduziert, was für die Präsentation am Bildschirm ausreicht. [Str09]

Die Wahrnehmung von vielen Graustufen ist für uns und der Empfindung eines harmonischen Bildes sehr wichtig. Könnte der Mensch nur wenig Unterschiede sehen, hätten wir nicht die Möglichkeit, solche hochwertigen Bilder zu produzieren bzw. zu beurteilen, weil dadurch die Farben zu schnell in die jeweilige nächste Abstufung übergehen würde.

Unser Auge ist in der Lage, in den dunklen Bereichen feinere Abstufungen zu sehen als in den hellen Bereichen. Somit steigt unsere Gammakurve am Anfang steiler an und schwächt im Laufe der Helligkeitsentwicklung weiter ab. Das menschliche Auge hat einen Gammawert von ca. 0,2 bis 0,5, die je nach Mensch selbstverständlich variiert.²

Wir erinnern uns, dass Monitore heute mit einem Gammawert von ca. 2,2 ausgeliefert werden und es eine Möglichkeit geben muss, einen linearen Helligkeitsverlauf wahrnehmen zu können. Dies ist schnell erklärt, weil sich beide Gammawerte sozusagen aufheben und zu einer linearen Gerade werden wie es im Kapitel „Stand der Technik“ im Unterkapitel „Monitore“ bereits erwähnt wurde.

Mathematisch kann dies schnell folgendermaßen berechnet werden:

$$\frac{1}{2,2} \approx 0,45$$

Damit liegt der Gammawert innerhalb der Grenze der menschlichen Wahrnehmung. Allerdings kann dieser nicht zu einhundert Prozent garantiert werden, weil jeder Mensch in

²<http://bit.ly/1izmQZd> (Farbimpulse.de)

seiner eigenen Wahrnehmung anders sieht. Da ein Monitor im sRGB-Modus arbeitet und auf diesen justiert wird, arbeitet dieser mit einem Gammawert von 2,2. Denn im sRGB-Farbraum ist dieser fest verankert.³

Somit kann sichergestellt werden, dass wir in der Lage sind, einen linearen Helligkeitsverlauf auf dem Monitor wahrnehmen zu können.

3.2 Kontrast und Schwarz-Weiß-Punkt

Im allgemeinen Sprachgebrauch entspricht der Kontrast dem Unterschied vom hellsten zum dunkelsten Punkt innerhalb eines Bildes bzw. zweier Bildpunkte.

Bei einem Bild mit wenig bzw. weichem Kontrast liegen die einzelnen Tonwerte eher beieinander. Der volle Kontrastumfang wird damit nicht ausgenutzt, was die Bilder zu flau wirken lässt. Dies kann in der Abbildung 3.2 im oberen Bild entnommen werden. Im unterem Bild ist der Kontrast sehr stark bzw. hart, weil der Schwarz- und Weiß-Punkt weiter auseinander liegen.⁴

Der Kontrast ist somit für die Helligkeitsverteilung innerhalb des Bildes mitverantwortlich.

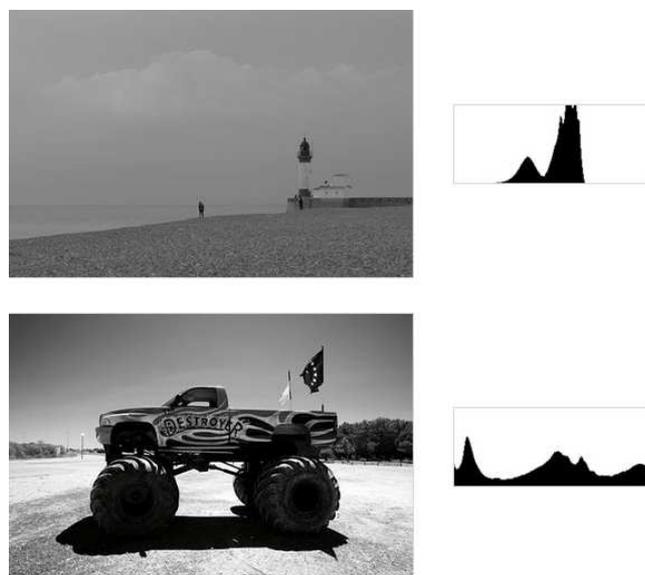


Abbildung 3.2: Beispiel von weichem und harten Kontrast. Quelle: <http://bit.ly/1g2KwRK>

³<http://bit.ly/1v8ytwW> (color.org)

⁴<http://bit.ly/1g2KwRK> (de.whitewall.com)

An dieser Stelle muss kurz erklärt werden, dass es im deutschen Wortschatz mehrere Bedeutungen für den Begriff „Helligkeit“ gibt. In der englischen Sprache gibt es für die jeweiligen Begriffe eindeutige Wörter.

“(…) zu unterscheiden ist hier vor allem auf der einen Seite die Helligkeit als wahrgenommene Quantität (engl. brightness), als eine nicht messbare Eigenschaft des visuellen Empfindens, und auf der anderen Seite die Luminanz (engl. luminance) als Maß für die Helligkeit von Bildpunkten. Sie wird bei Bild- und Videosystemen mit Y als speziell gewichtete Summe der roten, grünen und blauen Primärkomponenten notiert und ist verwandt mit dem Helligkeitsempfinden des menschlichen Sehens. Die wahrnehmende Antwort des Menschen auf die Luminanz ist ebenfalls eine Helligkeit (engl. lightness), diese ist jedoch messbar und wird unter anderem als Kubikwurzel der Luminanz berechnet.” [Har]

Die wahrgenommene Helligkeit ist allerdings stark vom Hintergrund abhängig. Bei der Abbildung 3.3 (links) sind die innen liegenden Flächen in der exakt gleichen Farbe. Weil die Hintergrundfarbe jedoch variiert, nehmen wir den Balken links heller wahr, als auf der rechten Seite. Noch deutlicher wird dies anhand der rechten Grafik. Der durchgezogene Querstreifen besitzt einen gleichbleibenden Grauwert. Dennoch sieht dieser für uns links dunkler aus, als auf der rechten Seite. [Dit14]



Abbildung 3.3: Helligkeitstäuschung in zwei Beispielen.

Wie im vorherigen Kapitel „Menschliche Wahrnehmung“ bereits erwähnt, schummelt unsere Wahrnehmung ein wenig, um uns die Welt sinnstiftend erkenntlicher zu gestalten.

Der messbare Vergleich vom hellsten zum dunkelsten Punkt ist wohl die bekannteste Art des Kontrastes und das, was man sich als erstes darunter vorstellt. Genau genommen wird diese Art als „Hell-Dunkel-Kontrast“ bezeichnet. Es gibt jedoch noch viele andere Arten von Kontrasten.

Dies wären u. a. der Formkontrast, Größenkontrast, Richtungskontrast, Mengekontrast, Schärfekontrast, motivischer Kontrast und Bunt-Unbunt-Kontrast. [BB09]

Die Verwendung der einzelnen Kontraste liegt ganz in der künstlerischen Gestaltung eines Bildes. Sie alle tragen allerdings zu einer Einordnung des Bildes bei. Somit ist der Begriff „Kontrast“ ein sehr eng formulierter Begriff mit vielen Möglichkeiten und Arten und muss genau genommen immer in Zusammenhang in einer Relation stehen.

Um sicherzustellen, dass ein Bild den vollen Kontrastumfang enthält, ist die Tonwertkorrektur in Bildbearbeitungsprogrammen wie u. a. Adobe Photoshop ein grundlegendes Element für jeden Grafiker (siehe Abb. 3.4).

Mit dieser Option kann gewährleistet werden, dass alle verfügbaren einzelnen Tonwerte (bei 8 Bit von 0 bis 255 je Farbe) benutzt werden.

Somit besitzt das Bild einen eindeutigen Schwarz- und Weißpunkt, sofern die Spitzen ausgereizt werden. Das soll nicht zwingend heißen, dass jedes Bild exakt so bearbeitet werden muss. Auch hier liegt es an der künstlerischen Gestaltung und muss individuell angepasst werden. Bei der Tonwertkorrektur hat der Grafiker somit die Möglichkeit, den Schwarz- und Weißpunkt festzulegen.

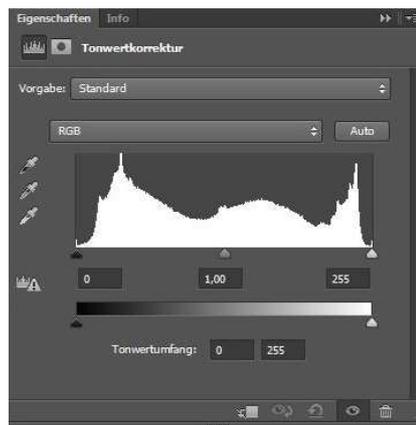


Abbildung 3.4: Tonwertkorrektur in Adobe Photoshop CS6.

Bei der Kalibrierung der Monitore wird dieser Schwarz- und Weißpunkt ebenfalls stets neu kalibriert. Wie im „Stand der Technik“ im Unterkapitel „Monitore“ beschrieben, verlieren Monitore mit zunehmendem Alter an Leuchtkraft. Von daher empfiehlt es sich, in regelmäßigen Abständen den Monitor neu zu kalibrieren. Damit ist der Grundstein gelegt, um sicherzustellen, dass unser Monitor diese Punkte überhaupt richtig darstellen kann und uns der volle Kontrastumfang erhalten bleibt.

Eine weitere, viel benutzte Bearbeitungsmöglichkeit ist die Gradationskurve. Im unbearbeiteten Zustand entspricht sie einer Geraden im 45°-Winkel (siehe Abb. 3.5).

Sie bestimmt wie stark die Helligkeit bei dem jeweiligen Tonwert ansteigt oder fällt und ist im 45°-Winkel ihrem jeweiligen Tonwerten gegenüber neutral.

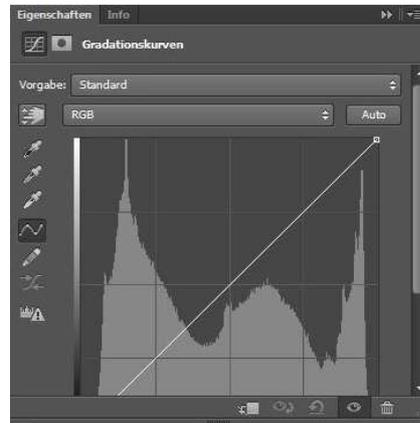


Abbildung 3.5: Gradationskurve bei Adobe Photoshop CS6.

Früher, bei der analogen Fotografie, wurde dies anhand von verschiedenen Filmpatronen gewährleistet, die jeweils eine mehr oder weniger lichtempfindlichere Oberfläche für das Negativ besitzt. Diese Filme sind heute noch erhältlich und unterscheiden sich anhand ihrer ISO⁵-Werte. Die ISO-Werte entsprechen verschiedenen Filmempfindlichkeiten, was bei der Entdeckung der „Schwärzungskurve“ oder „Dichtekurve“ von Ferdinand Hurter und Vero Charles Driffield im Jahre 1890 dem Gradienten entsprach. Weitere Ausführungen dazu im „Stand der Technik“ im Unterkapitel „Gammakorrektur“.

Dank der heutigen meist verwendeten digitalen Fotografie ist dies allerdings überflüssig geworden. Interne Berechnungen der Kamera simulieren diese Eigenschaften und steuern sich zum größten Teil sogar automatisch, sofern dies gewünscht ist.

“Ein Bild mit sehr deutlichen Kontrasten wirkt auf den Betrachter wesentlich spannungsvoller als ein Bild mit nur sehr geringen Kontrasten” [BB09]

Für den linearen Workflow ist der Kontrast und somit auch der Schwarz- und Weißpunkt eine Grundvoraussetzung. Durch die Tonwertkorrektur kann der volle Umfang genutzt werden und dank der Gradationskurve individuell und künstlerisch in der jeweiligen Abstufung gestaltet werden.

⁵International Organization for Standardization

3.3 Farbmanagement

Alle Ausgabegeräte können nur eine begrenzte Anzahl von Farben darstellen, die jeweils in einem Farbraum definiert sind. Dem so genannten „Gamut“, dessen Begriff in diesem Kapitel noch näher erklärt wird. Zuerst ein paar allgemeine Fakten zu den Farbräumen.

Farbräume unterscheiden sich anhand ihrer Größe, die ihre möglichen Farben beinhalten und ihrer jeweiligen Art der Darstellung. So gibt es für die jeweilige Art die additive oder subtraktive Farbmischung, die bereits einen Aufschluss darauf gibt, ob der Hintergrund schwarz oder weiß ist. Je nachdem, ob es am Monitor dargestellt wird oder gedruckt werden soll.

Der RGB-Farbraum, der für jene Geräte verwendet wird, die Licht aussenden, wie z. B. für Monitore oder Beamer, besitzt die additive Farbmischung. Der Hintergrund ist schwarz und erst, wenn dieser etwas darstellen soll, werden die jeweiligen Farben in einem Bildpunkt gemischt. Dies geschieht anhand der Grundfarben. Wie der Name „RGB“ vermuten lässt, sind dies die Farben Rot, Grün und Blau.

Je nachdem, welche Farbe dargestellt werden soll, wird ein bestimmter Wert je einzelner Farbe von 0 - 255 (8 Bit) genommen. So wird ein maximales Gelb durch die Mischung von Rot und Grün zu je 100% ohne Anteil von Blau erstellt. Das reine Weiß entsteht durch die Mischung aller Farben, weshalb man auch von einem additiven Farbraum spricht (siehe Abb. 3.6).

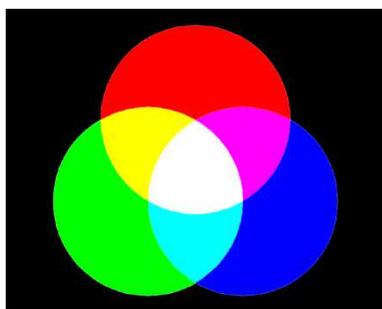


Abbildung 3.6: Die Additive Farbmischung. Quelle: <http://bit.ly/1iTDDdSe>

Der RGB-Farbraum hat allerdings seine Schwächen. Er kann nicht alle für das menschliche Auge sichtbaren Farben darstellen, weil die Grundfarben nicht rein genug sind und somit kräftige Farben nicht dargestellt werden können. Er wird jedoch sehr oft verwendet, weil alle gängigen Geräte wie Monitor, Scanner oder Fernseher mit diesem Arbeiten und die Bildbearbeitung ebenfalls damit arbeitet. [Wes14]

Beim CMYK-Farbraum handelt es sich um den komplementären Farbraum von RGB, dessen Hintergrund weiß ist. Deshalb wird dieser Farbraum für den Druck eingesetzt und als

subtraktiver Farbraum bezeichnet, weil sich durch die Mischung aller Farben Schwarz ergibt (siehe Abb. 3.7). [Str09]

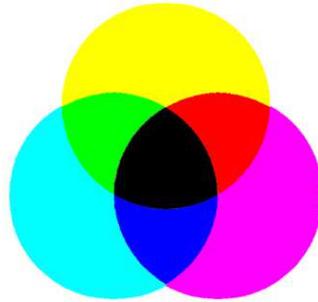


Abbildung 3.7: Die Subtraktive Farbmischung. Quelle: <http://bit.ly/1fPToj2>

Anhand der Absorption von Licht, bereits im Grundlagenkapitel unter „Menschliche Wahrnehmung“ erklärt, entsteht durch das Mischen von Körperfarben⁶ eine subtraktive Farbmischung. Subtraktiv deswegen, weil durch jede hinzukommende Wellenlänge von Licht die Farbe mehr absorbiert wird und dadurch dunkler wird.

“Anders als bei der additiven Farbmischung kommt bei nichtleuchtenden Farben der Farbeindruck auf eine andere Weise zustande. Dort ist die Farbe das, was die Objekte vom eintreffenden Licht übrig lassen. Ein rotes Feuerwehrauto im Tageslicht schluckt die blauen, grünen und gelben Anteile des Lichts und wandelt sie in Wärme um, nur das rote Licht wird wieder abgestrahlt. Hier werden also vom weißen Licht bestimmte Farben abgezogen, deswegen nennt man diese Methode subtraktive Farbmischung.” [Wes14]

Der Name CMYK entspricht auch hier den einzelnen Farben wie Cyan, Magenta und Yellow. Das „K“ steht für das Wort „Key“ und wird für ein reines Schwarz verwendet. Denn leider ist es nicht möglich, ein tiefes Schwarz mit den drei Farben zu gewährleisten, da für einen Betrachter das einfallende Licht auf das Papier die Farbe erhellen würde und somit kein reines Schwarz ergeben würde. Es wird sozusagen für eine bessere Grauwertdarstellung genutzt. [Str09]

Durch die Mischung folgender Farben lässt sich der RGB-Farbraum rekonstruieren, was beweist, dass der CMYK-Farbraum der komplementäre Farbraum von RGB ist: [Str09]

Cyan (Absorption von Rot) und Gelb (Absorption von Blau) ergibt Grün
Cyan (Absorption von Rot) und Magenta (Absorption von Grün) ergibt Blau
Gelb (Absorption von Blau) und Magenta (Absorption von Grün) ergibt Rot

⁶Reflektierendes Licht von Gegenständen

3. GRUNDLAGENKAPITEL

Die beiden Farbräume können anhand eines Würfels durch je drei Vektoren und ihrer jeweiligen komplementären Farbe folgendermaßen und vereinfacht dargestellt werden (siehe Abb. 3.8).

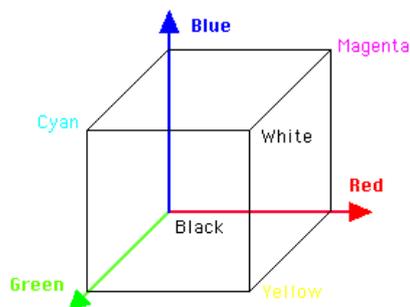


Abbildung 3.8: RGB und CMYK als Würfel. Quelle: <http://bit.ly/1mFzhae>

In der Zusammensetzung der jeweils einzelnen Kanäle von RGB und CMYK würden die Ergebnisse folgendermaßen aussehen (siehe Abb. 3.9).



Abbildung 3.9: Zusammensetzung einzelner Kanäle von RGB und CMYK. Quelle: <http://bit.ly/RuvFt7>

Ein weiterer Farbraum ist der Lab- bzw. $L^*a^*b^*$ -Farbraum. Dieser ist geräteunabhängig und entspricht der Wahrnehmung des menschlichen Auges (siehe Abb. 3.10).

Die drei Werte setzen sich dabei wie folgt zusammen:
„L“ bezieht sich auf die Helligkeit, der so genannten „luminance“ (Luminanz) und entspricht damit dem Grauwert; „a“ präsentiert den Anteil von rot und grün, während „b“ die Anteile von blau und gelb angibt. Für „a“ und „b“ können die Werte zwischen -120 und +120 liegen. Für die Luminanz gibt es Werte zwischen 0 und 100.⁷

⁷<http://bit.ly/1uZDFSD> (wisotop.de)

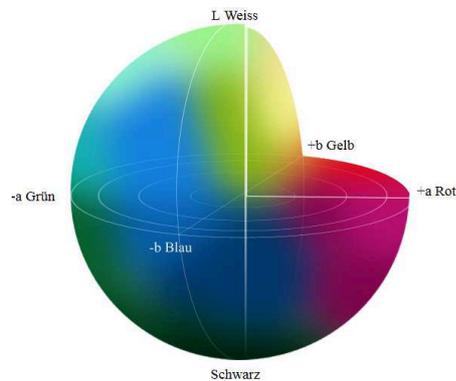


Abbildung 3.10: Grafische Darstellung des Lab-Farbraums. Quelle: <http://bit.ly/1uZDFSD>

Der Farbraum wurde 1976 in einer Normfarbtafel von der CIE (Commission Internationale d'Eclairage) festgelegt und ist deutlich größer als der Farbraum von RGB und CMYK (siehe Abb. 3.11).

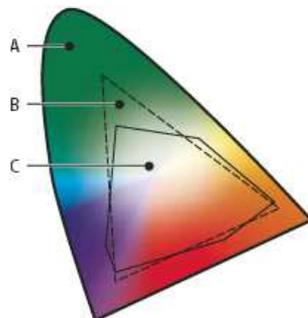


Abbildung 3.11: Beispiel von RGB-, CMYK- und Lab-Farbraum. A: Lab-Farbraum B: RGB-Farbraum C: CMYK-Farbraum. Quelle: <http://bit.ly/RuvFt7>

Obwohl der Lab-Farbraum für uns alle Farben darstellt, wäre er für alle Geräte als Profil viel zu groß und leider nicht umsetzbar. Die Ausgabegeräte könnten die Farben nicht wiedergeben.

Die jeweils innen liegende Fläche der Abbildung 3.11 eines jeden gerätespezifischen Farbumfangs wird als „Gamut“ bezeichnet. Er definiert die reproduzierbaren Farben, die ein Ausgabegerät besitzt.

Sofern verschiedene Geräte zusammen arbeiten müssen, wie es u. a. beim Zeitungsdruck der Fall ist, muss ein „Gamut Mapping“ vorgenommen werden. Dabei wird sich auf die kleinste überlappende Menge, dem sogenannten „Ziel Gamut“ beschränkt. [Sim08]

Wie zu erkennen, besitzt unsere Wahrnehmung (Lab Farbraum) einen deutlich größeren Farbumfang als die zwei anderen Farbräume. Der CMYK-Farbraum hat allerdings einen noch kleineren Gamut als der RGB-Farbraum und kann somit noch weniger Farben darstellen. Bei einer Konvertierung vom RGB- zum CMYK-Farbraum können somit nicht alle Farben exakt übernommen werden.

Somit sollten Bilder stets im RGB-Farbraum bearbeitet werden und erst zum Schluss in CMYK für den Druck umgewandelt werden. [BB09]

Um nun zu gewährleisten, dass alle Geräte auch genau die Farben anzeigen oder drucken, wie es die anderen Geräte beinhalten, wird ein Farbmanagement benötigt.

Was kompliziert klingt, ist in der Regel ganz einfach, da es bereits kostengünstige Hardware gibt, die in einem relativ kleinen Zeitumfang alle Daten messen und automatisch ein solches Profil für jedes Gerät anlegt. Mehr dazu im folgenden Kapitel „Anwendung des linearen Workflows“ unter „Kalibrierung des Monitors“.

Für jedes Gerät wird ein sogenanntes Farbprofil (auch ICC genannt) angelegt, indem genau beschrieben ist, welcher Wert für die jeweilige Farbe angenommen werden muss. An dieser Stelle wird der Lab Farbraum benötigt, der eine Umrechnung der Farben ermöglicht.

“ICC-Profile 'übersetzen' den gerätespezifischen Farbraum mit Hilfe von Referenztabellen in den gemeinsamen CIE-Lab-Austauschfarbraum”

“Ein Profil definiert den Farbraum eines Gerätes. Jedem gerätespezifischen RGB- bzw. CMYK-Wert kann ein geräteneutraler Lab-Farbwert zugeordnet werden und umgekehrt” [BB09]

Die Kalibrierung sollte in regelmäßigen Abständen für jedes Gerät wiederholt werden. Denn im Laufe der Zeit können sich die gemessenen Daten altersbedingt verändern und machen eine Rekalibrierung unumgänglich. Dies tritt ebenfalls auf, wenn sich die Hardware ändert. [BB09]

Bei einem Monitor wird u.a. jedes mal der Schwarz-Weiß-Punkt neu gesetzt und gewährleistet uns den vollen Umfang an Helligkeit und Kontrast, was entscheidend für die Beurteilung eines Bildes und die Verwendung des linearen Workflows ist.

3.4 Farbtiefe

Die Farbtiefe, die ausschlaggebend dafür ist, wie viele unterschiedlichen Abstufungen (Farben) sie in ihrem Farbraum darstellen kann, ist für Belichtungen sehr wichtig. Gerade im Bereich des linearen Workflows, dessen Ziel eine realitätsnahe Darstellung eines Bildes gewährleisten soll, fordert viele einzelne Abstufungen und somit höhere Bitraten. Dies kann man sich anhand eines Farbverlaufes, bei dem einzelne Abstufungen zu erkennen sind und einem

Verlauf, der fließend von einer Farbe in die nächste übergeht, sinnbildlich darstellen werden (siehe Abb. 3.12).

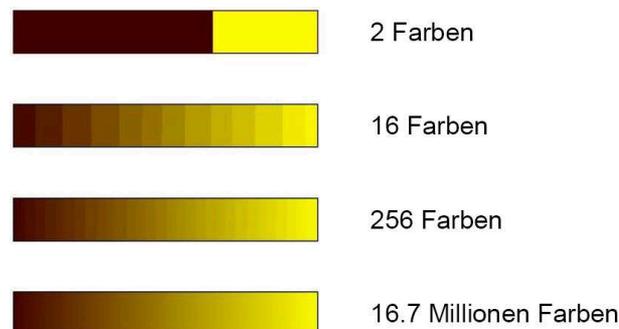


Abbildung 3.12: Farbverlauf verschiedener Bitraten. Quelle: <http://bit.ly/SHVml7>

Mit Mathematik ist dies anhand der Auflistung unten ebenfalls schnell erklärt. Die Bitrate entspricht dem Exponenten der Basis 2. Die Basis 2 ist ein fester Wert, da es nur zwei logische Zustände gibt, indem Computer stets rechnen, und die 0 oder 1 bzw. „An“ oder „Aus“ bezeichnet sind.

Bei 8 Bit (2^8) gibt es 256 unterschiedliche Abstufungen.

Bei 16 Bit (2^{16}) wären dies schon 65536 einzelne Abstufungen.

Bei 24 Bit (2^{24}) enthält man 16,7 Millionen Abstufungen.

Bei 32 Bit (2^{32}) sogar über 4,2 Milliarden.

An dieser Stelle sei kurz erwähnt, dass sich 8 Bit nur auf einen Kanal (z. B. Rot) bezieht und nicht das gesamte Spektrum von RGB erfasst. Bei allen drei Farben besitzt die Farbtiefe somit insgesamt 256^3 Farben und ergibt zusammen 24 Bit, was ca. 16,7 Millionen verschiedene Farben darstellen würde. Erweitert mit einem Alpha-Kanal⁸, um weitere 8 Bit zusätzlich, würden damit 32 Bit erreicht werden.

Es existieren leider keine einheitlichen Formulierungen für die Angabe der Farbtiefe in Bit. Innerhalb dieser Arbeit sind die Angaben immer auf den einzelnen Kanal bezogen.

Bei einer Farbtiefe von 8 Bit wird von „Pseudocolor“ gesprochen.

Ab einer Farbtiefe von 16 Bit und somit 65536 verschiedenen Farben wird der Begriff „High-Color“ verwendet. Dieser Begriff ist aus der Zeit, zu der frühe Windows-Betriebssysteme dominierten, bekannt.

Und ab einer Farbtiefe von 24 Bit, mit oder ohne Alphakanal und damit auch 32 Bit, wird der Begriff „TrueColor“ verwendet.⁹

⁸Kanal für die Transparenz

⁹<http://bit.ly/1hNAeW7> (roguewave.com)

Gerade im Bereich für das „Image-based lighting“ (IBL), dessen Funktion und Verwendung im nächsten Unterkapitel beschrieben wird, ist die Farbtiefe von entscheidender Bedeutung, weil die verwendete Textur für die globale Beleuchtung benutzt wird. Nicht umsonst werden hier fast immer HDR-Fotos¹⁰ verwendet, dessen Speicherung üblicherweise bei 32 Bit in speziellen Formaten liegt. Dies wurde bereits im Unterkapitel „Grafikformate“ im Kapitel „Stand der Technik“ erklärt.

Zu den Kompressionsmethoden der verschiedenen Formate werden zwei Fälle unterschieden: verlustfrei und verlustbehaftet.

Am Beispiel einer EXR-Datei könnten dies u. a. PIZ, ZIP oder RLE als verlustfrei oder PXR24, B44 oder B44A als verlustbehaftete Methode sein. [JK10]

Wie genau diese Komprimierungsarten funktionieren würde ein eigenes Thema für eine Bachelorarbeit darstellen und soll hier nicht weiter behandelt werden. Wichtig in dieser Arbeit ist es zu wissen, dass es beide Möglichkeiten gibt und, sofern Daten benutzt werden, die vorher verlustbehaftet gespeichert wurden wie es u. a. bei JPG immer der Fall ist, sind diese Daten nicht vollständig und für den linearen Workflow ungeeignet.

Im Falle des IBL-Verfahrens und somit für die globale Beleuchtung sind verlustfreie Daten sehr wichtig. Nicht umsonst haben die HDR-Fotos große Datenmengen, das Ergebnis überzeugt durch die physikalisch korrekte Beleuchtung, was mit den vielen einzelnen Abstufungen aufgrund der hohen Bitrate zu tun hat. Ein Beispiel wird im nächsten Unterkapitel dargestellt.

Aber nicht nur die hohe Bitrate ist dafür alleine zuständig. Ein weiterer Unterschied liegt ebenfalls in den verwendeten Werten der einzelnen Farben. So hat das EXR-Format die Möglichkeit, seine Werte als Float¹¹ zu speichern. Die meisten Grafikformate besitzen nur die Möglichkeit, ihre Werte als Integer¹² zu hinterlegen.

Mit den Möglichkeiten einer höheren Bitrate, Speicherung als Float, flexibel in der Kompressionsmethode und im Farbraum stellt das EXR-Format die besten Voraussetzungen für das IBL-Verfahren.

3.5 Image-based lighting (IBL)

Die Verwendung physikalisch korrekter Lichtquellen ist von hoher Bedeutung für eine natürliche Lichtverteilung.

¹⁰HDR: High Dynamik Range = Bilder mit sehr hohem Kontrastinhalt

¹¹Ausdruck der Informatik für Fließkommazahl

¹²Ausdruck der Informatik für Ganze Zahl

In der Regel werden allerdings Lichtprofile, die in der 3D-Software implementiert sind, verwendet. Diese werfen jedoch nur physikalisch plausible Schatten, die mathematisch berechnet werden. [JK10]

In 3ds Max wird dieses Material „Sun and Sky“ genannt, wodurch ein Himmel und eine Sonne simuliert wird.

Eine physikalisch korrekte Beleuchtung erreicht man mit Image-based lighting, was bildbasierte Beleuchtung heißt. Die Grundlage dafür sind Bilder aus der realen Umgebung, die zur Berechnung einer virtuellen Umgebung, bzw. Beleuchtung virtueller Objekte dient.

“Der IBL-Ansatz nach Debevec sieht vor, HDR-Bilder zur Beleuchtung zu verwenden.” [JG09]

1. Omnidirektionale Aufnahme eines Bildes der Umgebung
2. Abbildung des Bildes in einem Modell zur Repräsentation der Umgebung
3. Einfügen eines virtuellen Modells in die virtuelle Umgebung
4. Berechnung der Beleuchtung für das virtuelle Modell

Im ersten Schritt wird eine 360°-Aufnahme der Umgebung angefertigt. Entweder wird eine spiegelnde Kugel von oben gefilmt oder das 360°-Bild wird durch einzelne zusammengesetzte Bilder erzeugt.

Dies kann man am besten durch High-Dynamic-Range (HDR) Bilder erreichen, da ein proportionales Verhältnis der Zahlenwerte der Farben zur Leuchtdichte der Umgebung im Bild integriert ist, was für die korrekte Berechnung dringend benötigt wird. Das HDR-Bild wird somit zur Lichtquelle.

Im zweiten Schritt wird das HDR-Bild auf eine Kugel, die um das Objekt positioniert wird, für die Umgebung abgebildet und gespeichert. Ziel dessen ist es, die Farbwerte, für die auf dem 3D-Objekt liegende Textur, anhand der Koordinaten der Kugel eindeutig festzulegen.

In Schritt drei wird das virtuelle 3D-Modell im Zentrum der Kugel eingesetzt, um im vierten Schritt die Umgebung auf das zu rendernde 3D-Modell abgebildet. Dabei wird das HDR-Bild der Kugel, was als Lichtquelle dient, sozusagen auf das Objekt projiziert und ändert dadurch die Farbwerte des Objektes, indem die Farbwerte von der Umgebung mit den Farbwerten des 3D-Objektes verrechnet werden.

“Durch die vier Schritte werden die Bilder der Umgebung photometrisch und geometrisch korrekt auf ein virtuelles Modell projiziert. Richtig eingesetzt nimmt dieses dadurch die Farbe, Lichter und Reflektionen aus der Umgebung an. Dadurch ermöglicht IBL ein realistisch wirkendes 3D-Modell, das sich nahtlos in die Umgebung integriert.” [JG09]

3. GRUNDLAGENKAPITEL

Das IBL-Verfahren hat somit den Vorteil, dass sich die Lichtstimmung anhand von Reflexionen auf dem Objekt ergeben. Nachteilig ist allerdings eine zu langsame Berechnungsgeschwindigkeit und ist somit nur für kleine Szenen zu empfehlen. [SC08]

Anhand der folgenden Bilder kann sich jeder in kürzester Zeit sehr gut vorstellen, wie das IBL-Verfahren funktioniert (siehe Abb. 3.13 und 3.14).

Weiterführende Literatur zu diesem Aspekt:

Reinhard, Erik / Greg Ward / Sumanta Pattanaik / Paul Debevec / Wolfgang Heidrich / Karol Myszkowski: High Dynamic Range Imaging Acquisition, Display and Image-Based Lighting. Burlington, MA (Morgan Kaufmann): 2010 [ISBN 978-0-12-374914-7].

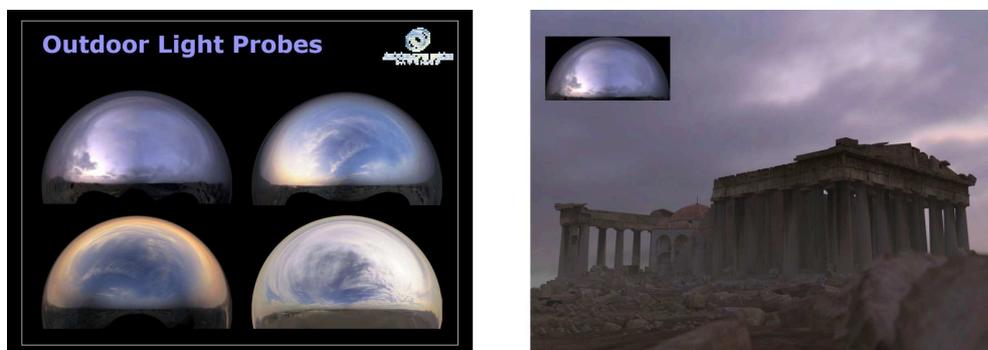


Abbildung 3.13: Beispiel 1 des IBL-Verfahrens anhand verschiedener Himmel. Links: Übersicht der verschiedenen Texturen für die Kugel. Rechts: 1. Beispiel eines IBLs (stark bewölkt, wenig beleuchtet). Quelle: <http://bit.ly/1nweeGA>

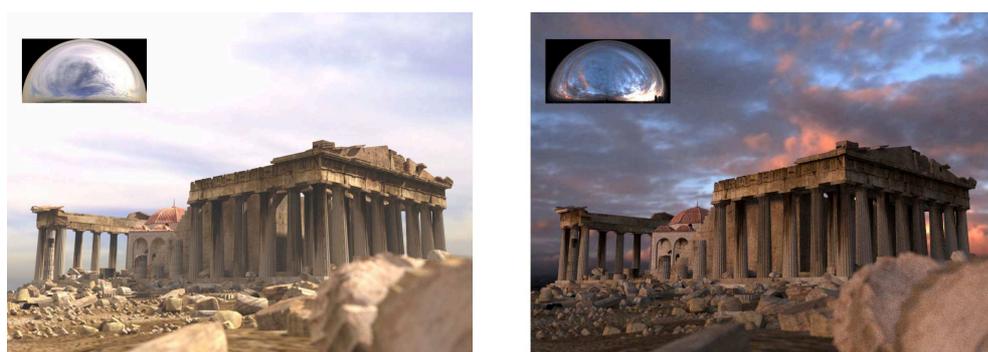


Abbildung 3.14: Beispiel 2 des IBL-Verfahrens anhand verschiedener Himmel. Links: 2. Beispiel eines IBLs (sonnig, stark beleuchtet). Rechts: 3. Beispiel eines IBLs (Abenddämmerung, bewölkt). Quelle: <http://bit.ly/1nweeGA>

Kapitel 4

Anwendung des linearen Workflows

4.1 Einleitung

In diesem Kapitel wird der Arbeitsablauf in einzelnen Schritten von der Kalibrierung bis zum gerenderten Bild unter Berücksichtigung der Einhaltung des linearen Workflows dargestellt.

Die einzelnen Unterkapitel definieren in ihrer Reihenfolge eine klare Linie, die unbedingt eingehalten werden sollte.

Bei einigen Anwendungen besteht zwar die Möglichkeit, diese nicht unbedingt an dieser Stelle zu unternehmen, aber es versteht sich von selbst, dass eine Kalibrierung des Monitors zum Schluss nicht berücksichtigt werden kann, wenn zuvor mit falschen Werten gerechnet wurde.

4.2 Kalibrierung

Die Kalibrierung des Monitors ist der erste wichtige Grundschrift für den linearen Workflow. Jeder Hersteller hat seinen eigenen Spielraum im Farbraum und nur so kann sichergestellt werden, dass das Bild auf dem Monitor genauso dargestellt wird wie auf jedem anderen kalibriertem Gerät. Dies kann sich jeder, der schon mal in einem Verkaufsraum für Fernseher war, gut vorstellen. Kein Fernsehbild wirkt gleich dem anderen, obwohl der selbe Film angezeigt wird.

Beim Fernseher ist dies nicht allzu wichtig. Hat man allerdings ein fertiges Bild, das dem Kunden übergeben wird, muss sich darauf verlassen werden, nach einem gewissen Standard zu arbeiten. Für jeden Grafiker ist es somit unumgänglich, seinen Monitor immer kalibriert zu halten.

Der Hersteller von Kolorimeter¹ „datacolor“ empfiehlt standardmäßig eine Rekalibrierung in einem Abstand von je vier Wochen vorzunehmen, da die Leuchtintensität mit zunehmendem Alter abnimmt und somit der Schwarz- und Weißpunkt neu definiert werden muss.² Eine Grundvoraussetzung um einen linearen Helligkeitsverlauf zu gewährleisten. Denn bei 8 Bit und somit 256 Stufen pro Farbkanal muss der absolute Schwarz- und Weißpunkt genau auf den Endwerten liegen.

Es gibt zwei Möglichkeiten, seinen Monitor zu kalibrieren: Entweder per Software oder mithilfe von Hardware.

4.2.1 Softwarelösung

Die Softwarevariante ist eine kostenlose Lösung.

Anhand von Testbildern wird der Benutzer aufgefordert, seinen Monitor so einzustellen, dass die Bereiche zwischen dem Schwarz- und Weißpunkt (Graustufen) und ihre absoluten Endwerte voneinander zu unterscheiden sind und sich gleichmäßig verteilen.

Die Kalibrierung ist teilweise in den Betriebssystemen in sehr einfacher Form bereits integriert. So bietet das Betriebssystem „Windows 7“ von „Microsoft“ unter dem Befehl „Bildschirmfarbe kalibrieren“ eine Möglichkeit an, seinen Monitor einzustellen. Bestehende Profile werden abgeschaltet und der Anwender wird durch die einzelnen Schritte geführt. Am Ende wird das neu erstellte Profil gespeichert und findet so lange Verwendung, bis es selbstständig neu angelegt wird.

Im Internet bieten sich ebenfalls Testseiten an, um eine Kalibrierung durchzuführen. U. a. befinden sich auf der Seite „www.monitorsetup.com“ einige Testbilder, um die Kalibrierung noch besser einzustellen bzw. zu kontrollieren. Ein vorhandenes PDF-Dokument erklärt jedes einzelne Bild und worauf zu achten ist.

Diese Seite kann ebenfalls gut dazu verwendet werden, um eine schnelle Prüfung durchzuführen. Die Grafik des linearen Helligkeitsverlauf bietet sich dafür sehr gut an. Ist der absolute Weiß- und Schwarzwert noch erkennbar und besitzt einen linearen Verlauf, ist der Monitor noch gut justiert.

Allerdings hat jede Software-Lösung das gleiche Problem. Sie spiegelt den visuellen subjektiven Eindruck des Anwenders wider, der die Einstellungen vornimmt.

Wie im Grundlagenkapitel unter „Menschliche Wahrnehmung“ beschrieben, variieren wir in unserer Wahrnehmung und des Gammawertes unserer Augen. Die Monitorkalibrierung

¹lat. für Farbmesser

²<http://bit.ly/1hcpl09> (datacolor.com)

bezieht sich somit nicht auf feste Standards bzw. Werte. Damit kann nicht gewährleistet werden, dass das Bild auf einem Monitor exakt so wahrgenommen wird, wie es bei einem anderen der Fall wäre. Allerdings stellt sie einen Kompromiss dar und ist besser, als einen unkalibrierten Monitor in Betrieb zu haben.

Der Gammawert kann vom Monitor allerdings nur geschätzt werden. Für den linearen Workflow ist diese Möglichkeit somit absolut ungeeignet.

4.2.2 Hardwarelösung

Bei der Hardwarevariante wird mit Hilfe eines Kolorimeters jede einzelne Farbe ausgemessen und anhand eines festen Wertes verglichen.

Die subjektive Fehlerquelle wird damit ausgeschlossen und der Monitor auf das sRGB-Farbschema angepasst. Außerdem kann der Gammawert des Monitors festgelegt werden, was für den linearen Workflow wichtig ist.

Auf dem Markt für Kolorimeter haben sich die Hersteller „x-rite“ und „datacolor“ durchgesetzt. Beide Hersteller bieten Komplettlösungen ausgerichtet für Fotografen, Designer und Bildbearbeiter zum Kalibrieren von Monitoren und Ausgabegeräten.

Ausgegangen von den Mindestvoraussetzungen für die Kalibrierung, dass der Gamma-wert manuell und das Umgebungslicht an einem Monitor eingestellt werden kann, kommen zwei Produkte in Frage: der „i1 Display Pro“ von „x-rite“ und der „Spyder4Pro“ von „datacolor“ (siehe Abb. 4.1). Beide Produkte liegen in derselben Preisklasse, wobei der x-rite davon der teurere ist.



Abbildung 4.1: Zwei unterschiedliche Kolorimeter. Links: Spyder4Pro von datacolor. Quelle: <http://bit.ly/1hcpl09> Rechts: i1Display Pro von x-rite. Quelle: <http://bit.ly/1nhjMp7>

Jeweils kleinere Ausführungen der Produkte bieten keine Einstellungsmöglichkeiten und sind stark eingeschränkt. Die jeweils größeren Ausführungen besitzen u. a. zusätzlich die Möglichkeit eine Kalibrierung von Projektoren durchzuführen, was für diese Arbeit nicht benötigt wird.

Der Lieferumfang der beiden Geräte besteht aus dem Kolorimeter und der Software. Beide Hersteller empfehlen die selben Kalibrierungsparameter:

1. Farbtemperatur: 6.500 Kelvin (LCD)
2. Tonwerte: sRGB-Gradation mit Gamma 2.2
3. Luminanz: 120 cd/m²

Der signifikante Unterschied stellt sich bei Anwendung und Vergleich der Software heraus.

Die Software von „x-rite“ führt die Anwender durch ein langes, zeitaufwendiges und kompliziertes Menü. „Datacolor“ hingegen bietet mit einer bedienerfreundlichen Software und einer leichten Handhabung des Gerätes für mehr Komfort.

Im Lizenzmanagement gibt es allerdings erhebliche Unterschiede. „Datacolor“ bietet eine kundenfreundliche Lizenzpolitik in dem Mehrinstallationen im Preis enthalten sind, die einem echten Mehrwert entspricht.

Zusammenfassend betrachtet sind die technischen Anforderungen für meine Arbeit mit dem Produkt „Spyder4Pro“ abgedeckt und passen durch die kundenfreundliche Lizenzpolitik auch gut in ein kleines Budget.

4.3 Kalibrierung des Monitors

Bei der Kalibrierung des Monitors wird dessen Farbraum dem sRGB angeglichen und der Gammawert für die spätere Verwendung des linearen Workflows festgelegt. Wie dies mit Hilfe der Hardware „Spider4Pro“ von „datacolor“ funktioniert und auf was zu achten ist, wird in diesem Unterkapitel erklärt.

Um eine korrekte Kalibrierung zu gewährleisten, muss der Monitor bereits min. 30 Minuten in Betrieb sein und somit aufgewärmt sein. Das liegt an den gerätespezifischen Lichtquellen, die in der Rückseite des Monitors für die nötige Beleuchtung sorgt und sicher stellen soll, dass diese ihre maximale Leuchtkraft erreicht haben.

Die Kalibrierungssoftware führt durch ein benutzerfreundliches Menü. Es sollten jedoch vorher unbedingt die Monitoreinstellungen auf Werkseinstellung zurückgestellt werden. Wei-



Abbildung 4.2: Einsatz des Kolorimeters Spyder4Pro von datacolor. Quelle: <http://bit.ly/1qMwTfR>

terhin sind folgende Punkte in den erweiterten Einstellungen zu beachten, sofern sie nicht schon eingestellt sind (siehe Abb. 4.3):

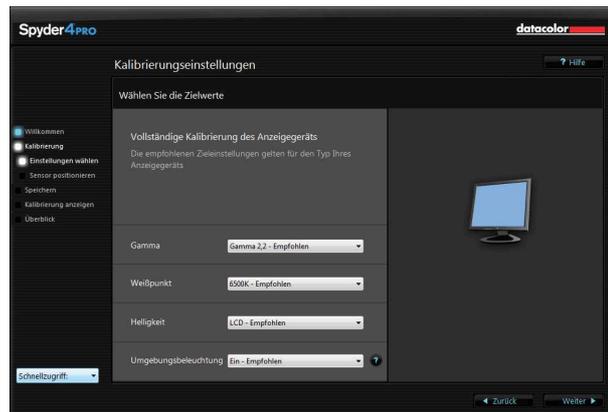


Abbildung 4.3: Erweiterte Einstellungen für den Spyder4Pro.

Ein festgelegter Gammawert von 2,2 ermöglicht es, wie im „Grundlagenkapitel“ unter „Menschliche Wahrnehmung“ erklärt, dass wir in der Lage sind, am Monitor einen linearen Helligkeitsverlauf wahrnehmen zu können und passt außerdem zum sRGB-Farbraum.

Der angegebene Kelvin-Wert beziehen sich auf die Bauarten eines LCD Monitors und ermöglicht, ein reines Weiß darstellen zu können. Sofern ein CRT benutzt wird, kann dieser sogar einen Wert von bis zu 9300 Kelvin annehmen, was aufgrund eines unterschiedlichen Beschusses der roten, grünen und blauen Phosphore liegt.³

³<http://bit.ly/1lGaGvp> (wisotop.de)

Die restlichen zwei Werte müssen je nach den folgenden Situationen anpassen werden.

Der „Spider4Pro“ besitzt die Möglichkeit ständig die Umgebungsbeleuchtung zu messen und dementsprechend das Profil an die Lichtsituation anzupassen.

Diese Option ist gerade in Räumen, in denen sich die Lichtsituation im Laufe des Tages durch Sonneneinwirkung ändert, sehr von Nutzen. Wenn dies angewendet werden soll, wird in den Kalibrierungseinstellungen bei der Umgebungsbeleuchtung der Wert auf „Ein“ gestellt. Der „Spider4Pro“ muss dafür immer am USB-Port des Computers angeschlossen sein.

Wird der Monitor an einem Platz betrieben, der stets eine gleichbleibende Umgebungsbeleuchtung besitzt, kann der Wert auf „Aus“ gesetzt werden und die Hardware braucht nur zu den gewünschten Kalibrierungszeiten angeschlossen werden.

Während der Kalibrierung muss evtl. per Hand die Luminanz am Monitor justiert werden, sofern der Monitor nicht den empfohlenen Wert von 120 cd/m^2 besitzt. Dabei kann es vorkommen, dass nach der Kalibrierung die Bilder zu dunkel aussehen. Um dieses Problem zu lösen, wird in den erweiterten Einstellungen unter „Helligkeit“ der Wert auf „Fabrikneu“ gesetzt. Dies verhindert während der Kalibrierung eine Anpassung der Helligkeit und wird nur für Räume empfohlen, die eine gleichbleibende Umgebungsbeleuchtung besitzen.

Nachdem die Kalibrierung abgeschlossen und ein Name für das Profil vergeben wurde, wird das Profil für den Monitor gespeichert und findet nach jedem Neustart des Rechner automatisch seine Anwendung. Sofern mehrere Monitore am gleichen Computer in Betrieb sind, werden diese selbstverständlich für jeden einzelnen gespeichert.

Eine wiederholte Kalibrierung wird alle vier Wochen empfohlen und wird als Erinnerung eingestellt. Anschließend veranschaulicht die Software anhand von Fotos, wie diese vor und nach der Kalibrierung aussehen und der Vorgang ist abgeschlossen (siehe Abb. 4.4).

Nachdem die Kalibrierung abgeschlossen ist, dürfen keine Änderungen mehr am Monitor vorgenommen werden, ohne eine erneute Kalibrierung durchzuführen. Dies gilt ebenfalls, wenn sich die Hardware ändert.

4.4 Globale Einstellungen in 3ds Max

Alle Einstellungen für 3ds Max beziehen sich auf die Version 2013. Sofern mit anderen Versionen gearbeitet wird, kann es vorkommen, dass einige Menüpunkte anders definiert bzw. aufzufinden sind.



Abbildung 4.4: Ergebnis vor und nach der Kalibrierung. Quelle: <http://bit.ly/1qMwTfR>

Für den linearen Workflow ist es wichtig, bestimmte grundlegende Einstellungen in 3ds Max vorzunehmen, damit das Programm darauf eingestellt ist. Somit wird der Gammawert für das 3D-Programm und sämtliche Texturen, die eingeladen und gespeichert werden, festgelegt.

An dieser Stelle sei kurz erwähnt, dass immer optional die Möglichkeit besteht, einen anderen Gammawert pro Textur einzustellen. Es vereinfacht allerdings die Handhabung enorm, da standardmäßig nun alle Texturen mit einem bestimmten Gammawert angenommen werden, wie es bis auf wenige Ausnahmefälle fast immer der Fall sein wird.

In der Taskleiste unter „Customize“ befindet sich das Menü „Preferences“, und innerhalb dessen der Reiter „Gamma and LUT“. Folgende Werte sind hier einzustellen (siehe Abb. 4.5).

Die einzelnen Punkte bewirken folgendes:

Enable Gamma/LUT Correction: Die Viewport-Anzeige wird mit dem Gammawert korrigiert. Es wird so dargestellt, wie es mit dem Gammawert von 2,2 ist.

Gamma 2,2: Hier wird der Gammawert eingetragen, der bei der Kalibrierung festgelegt wurde. Dieser Wert muss 2,2 sein.

Affect Color Selectors: Der Farbverlauf (0-255) wird auf den linearen Workflow umgestellt (siehe Abb. 4.6).

Affect Material Editor: Alle Materialien werden im Editor so dargestellt wie sie mit dem Gammawert aussehen.

Input Gamma: Alle Texturen, die geladen werden, werden mit einem Gammawert von 2,2 geladen.

Output Gamma: Alle Texturen, die gespeichert werden, werden mit einem Gammawert von 2,2 gespeichert.

4. ANWENDUNG DES LINEAREN WORKFLOWS

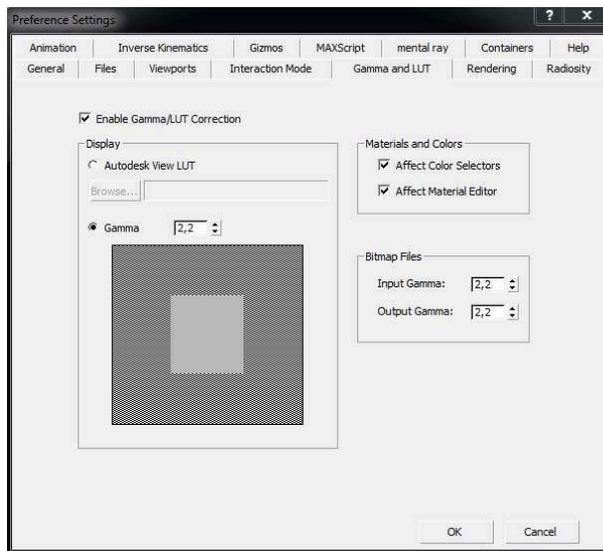


Abbildung 4.5: Globale Einstellung in 3ds Max

Anhand der Abbildung 4.6 ist zu erkennen, dass sich die einzelnen Abstufungen deutlich verändern. Die Farben werden blasser und der schwarze Bereich hat weniger Abstufungen, während die weißen mehr erhalten.

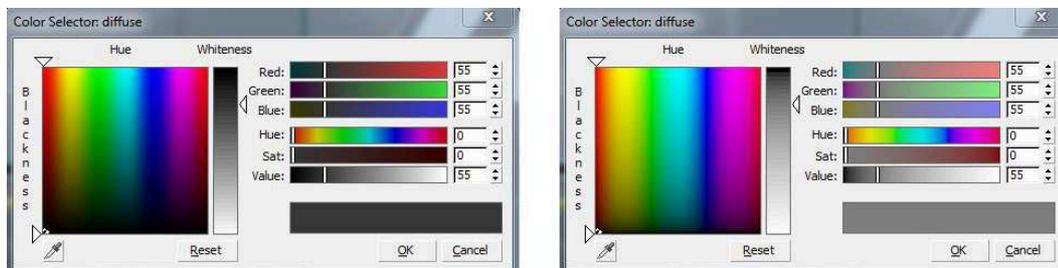


Abbildung 4.6: Beispiel des Farbverlaufs. Links ohne linearen Workflow. Rechts mit linearen Workflow.

Der Vorteil darin besteht in einer feineren Abstufung der Lichtsteuerung, weil der Bereich von Weiß genauer gesteuert werden kann. Da allerdings auch Spiegelungen mit diesem Wert eingestellt werden, entsteht dadurch der Nachteil, dass diese schwieriger zu handhaben sind.

Als Beispiel kann von einer Spiegelung der Scheiben ausgegangen werden. Vorher musste ein Wert von über 100 angenommen werden, damit eine Scheibe noch genügend Reflexion besitzt. Durch die Benutzung des linearen Workflow, wird nun noch ein Wert von ca. 10 benötigt. Dadurch wird die Steuerung der Reflexion empfindlicher.

Allerdings muss dazu gesagt werden, dass in helleren Farben mehr Informationen enthalten sind, wie in dunkleren. In der Nachbearbeitung eines Bildes, erhält der Grafiker dadurch mehr Möglichkeiten sein Bild aufzuwerten.

Durch diese globalen Einstellungen im 3D-Programm ist nun gewährleistet, dass alle Texturen mit einem Gammawert von 2,2 geladen werden und sie somit für den Renderer linear verarbeitet werden können. Für Texturen, die bereits linear sind, muss beim Laden darauf geachtet werden, dass diese mit dem korrekten Gammawert von 1,0 behandelt werden. Dies wird im folgendem Unterkapitel „Doppelte Gammakorrekturanwendung“ erklärt.

4.5 V-Ray Einstellungen

Alle Einstellungen für V-Ray beziehen sich auf die Version 2.40.01. Sofern mit anderen Versionen gearbeitet wird, kann es vorkommen, dass einige Menüpunkte anders definiert bzw. aufzufinden sind.

Das Render-Plug-in „V-Ray“ hat sich, im Gegensatz zu dem standardmäßig enthaltenen Renderer „Mental Ray“, im Bereich der Architekturvisualisierung durchgesetzt. Nicht nur, weil es einen globalen Bezug zu fast jedem 3D-Programmen anbietet, sondern auch weitere Vorteile besitzt [JE09]:

1. Die Parameter sind in den verschiedenen Anwendungen identisch
2. Die Anschaffung ist verhältnismäßig preiswert
3. Die Renderzeit steht in einem guten Verhältnis zur Qualität der Bilder
4. Es wird ständig weiterentwickelt und besitzt eine große Community
5. Das Plug-in ist auch in der Werbe- und Filmbranche weit verbreitet
6. IES-Daten (Physikalische Daten für spezielle Lichtquellen wie z. B. Halogenleuchten) können verarbeitet werden (sehr wichtig in der Architektur-Visualisierung)

In 3ds Max ist standardmäßig das Render Plug-in „Mental Ray“ aktiviert. Bevor mit V-Ray gearbeitet werden kann, muss somit der Renderer erst umgestellt werden. Dies wird folgendermaßen erledigt:

Im Render-Setup von 3ds Max unter dem Reiter „Common“ wird im Untermenü „Assign Renderer“ der „V-Ray Adv“ aktiviert. Dadurch ändern sich die obigen Reiter in die entsprechenden von V-Ray.

Anschließend werden für den linearen Workflow folgende Einstellungen im Reiter „V-Ray“ im Untermenü „V-Ray: Color Mapping“ eingestellt (siehe Abb. 4.7).

4. ANWENDUNG DES LINEAREN WORKFLOWS

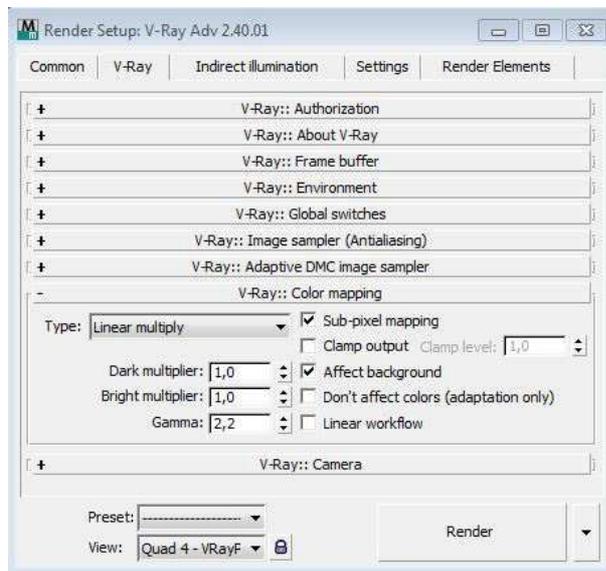


Abbildung 4.7: Grundeinstellungen in V-Ray.

Type: Linear multiply Innerhalb dieses Menüs können verschiedene Methoden für die Berechnung des Bildes ausgewählt werden. Im Falle des linearen Workflows wird „Linear multiply“ ausgewählt.

Dark multiplier Mit diesem Wert können die Schwarztöne beeinflusst werden. 1,0 entspricht keiner Veränderung und gewährleistet somit eine unverfälschte Berechnung der Daten. Ein größerer Wert würde die dunklen Töne aufhellen und bei einem kleinerem verdunkeln.

Bright multiplier Mit diesem Wert können die Weißtöne beeinflusst werden. 1,0 entspricht keiner Veränderung und gewährleistet somit eine unverfälschte Berechnung der Daten. Ein größerer Wert würde die hellen Töne aufhellen und bei einem kleinerem verdunkeln.

Gamma Dieser Gammawert beeinflusst das gerenderte Bild anhand seines Gammawertes, unabhängig von den globalen Einstellungen in 3ds Max. Um die Linearität sicherzustellen muss ohne linearen Workflow der Wert auf 1,0 und mit auf 2,2 eingestellt werden.

Linear Workflow Diese Option findet Verwendung, wenn eine alte Szene ohne linearen Workflow in ein bestehendes System mit linearen Workflow geladen werden muss. Eine Fehlanwendung kommt einer doppelte Gammakorrekturanwendung gleich. Siehe auch im kommenden Unterkapitel „Doppelte Gammakorrekturanwendung“.

Bei der Methode „Linear multiply“ wird jedes Pixel in Abhängigkeit zu seiner Luminanz multipliziert und sichert so eine lineare Berechnung des Bildes. Hierbei kann es jedoch zum

„Ausbrennen“ von Schwarz- und Weißwerten kommen, sofern diese stark über die Randbereiche von 0 und 255 liegen. Dies kann per Tonwertkorrektur in der Nachbearbeitung schnell und leicht überprüft werden.

Anhand der Werte für Dark- und Bright-multiplier können Schwarz- und Weißwerte des Bildes beeinflusst werden, um sie zu verdunkeln bzw. aufzuhellen, was einen manipulierbaren Spielraum schafft. Für eine reine lineare Bearbeitung bleiben diese Werte unbedingt bei 1,0 und somit unverändert.

Der eingestellte Gammawert von 2,2 muss ebenfalls ausgewählt sein. Denn so, wie das Bild innerhalb der Szene betrachtet wird, soll es auch berechnet werden. Durch die globalen Einstellungen und somit der Verwendung des linearen Workflows wurde festgelegt, dass von einem Gammawert von 2,2 ausgegangen wird, weil es unserem Monitor und der menschlichen Wahrnehmung entspricht. Wenn ohne lineare Workflow gearbeitet wird, muss der Wert auf 1,0 eingestellt werden.

Dieser Wert ist nur für die Berechnung und nicht für die Speicherung des Bildes verantwortlich. Im kommenden Unterkapitel „Lineare Daten“ wird auf diese Art von Speicherung nochmal genauer eingegangen.

Der Haken für die Option „Linear workflow“ kann leicht missverstanden werden und führt dadurch wohl zur höchsten Fehlerquelle. Er wurde ursprünglich implementiert, um alte Szenen, die noch ohne die Umstellungen des linearen Workflow erstellt wurden, auch danach richtig anzuzeigen und gerendert werden. Er darf nicht als Aktivierung des linearen Workflows verstanden werden.

Die Grundeinstellungen sind bereits mit den vorherigen Unterkapiteln abgeschlossen und würden bei einer Aktivierung zu einer doppelten Gammakorrekturanwendung führen, welche im kommenden Unterkapitel erklärt wird.

4.6 Doppelte Gammakorrekturanwendung

Eine doppelte Gammakorrekturanwendung kann durch mehrere Faktoren schnell und unbeabsichtigt entstehen. Dadurch entstehen fehlerhafte Ergebnisse, die im Nachhinein u. a. nur schwer lokalisiert werden können. Aus diesem Grund soll in diesem Unterkapitel zwei der häufigsten Fehlerquellen angesprochen werden.

Im vorherigen Unterkapitel „V-Ray Einstellungen“ wurde bereits die Möglichkeit erwähnt, den Haken bei „Linear workflow“ in den V-Ray Einstellungen unter „V-Ray: Color mapping“ zu aktivieren, obwohl dies nur für alte Szenen gedacht ist, die nach einer Umstellungen zum linearen Workflow noch einmal Verwendung finden.

4. ANWENDUNG DES LINEAREN WORKFLOWS

Um dies besser zu erklären und grafischer darzustellen, wurden mit Hilfe einer „Cornell-Box“ zwei Würfel mit derselben Textur versehen und jeweils ohne (links) und mit (rechts) der Aktivierung der V-Ray-Option „Lineare workflow“ gerendert (siehe Abb. 4.8).

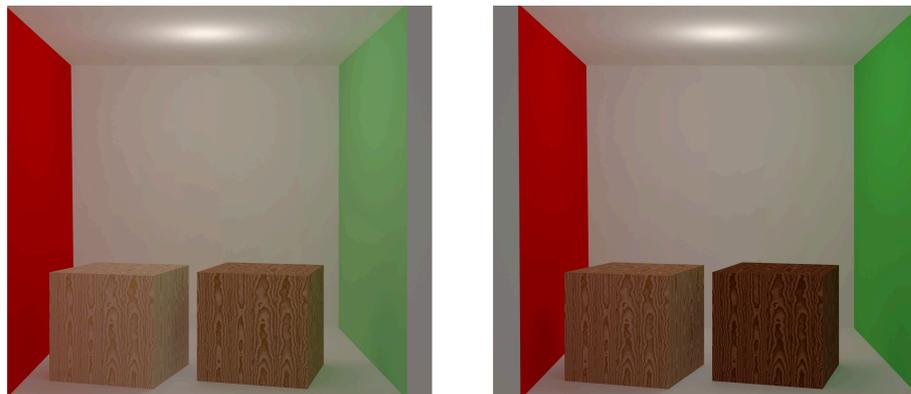


Abbildung 4.8: Doppelte Gammakorrekturanwendung anhand einer Cornell-Box. Links ohne und rechts mit der V-Ray-Option „Lineare workflow“

Innerhalb der linken „Cornell-Box“ der Abbildung 4.8 ist der rechte Würfel mit der korrekten Textur als JPG und somit einem Gamma von 2,2 geladen. Dies geschieht aufgrund der im System hinterlegten globalen Einstellungen von 3ds Max. Diese Einstellung interpretiert jede JPG Textur mit dem Gammawert von 2,2, was bis auf lineare Texturen, wie u. a. das EXR-Format, für alle Formate richtig ist und auf den Monitor abgestimmt ist.

Bei der linken Box wurde absichtlich die Textur mit dem Wert 1,0 geladen und somit eine doppelte Gammakorrektur angewendet.

Dies kann schnell passieren, weil davon ausgegangen wird, mit linearen Daten zu arbeiten und somit beim Einladen der Wert absichtlich auf 1,0 gestellt wird (siehe Abb. 4.9).

Dadurch interpretiert 3ds Max, dass diese Textur bereits linear ist, was jedoch nicht der Fall ist. Je nach Textur, die dadurch heller wird, kann es passieren, dass dieser Fehler im ersten Moment noch nicht einmal auffällt. Denn wie im Beispiel zu erkennen ist, handelt es sich in diesem Fall um eine Holztextur, die selbstverständlich in verschiedenen Farben existiert.

Bei der rechten „Cornell-Box“, die mit der V-Ray-Option „Linear workflow“ gerendert wurde, wird angenommen, dass dies eine alte erstellte Szene ohne die globale Umstellung auf den linearen Workflow ist und führt dadurch automatisch zu einer Gammakorrekturanwendung.



Abbildung 4.9: Texturen mit unterschiedlichem Gammawert laden. Links: Verwendet einen Wert von 2,2. Rechts: Verwendet einen Wert von 1,0

Wie anhand der Abbildung 4.8 (rechts) zu erkennen ist, ist die korrekt dargestellte Textur nun auf dem linken Würfel zu sehen. Dies beweist eine doppelte Gammakorrekturanwendung, die schnell passieren kann und fehlerhafte Ergebnisse liefert.

Aus diesem Grund wurden die globalen Einstellungen in 3ds Max so eingestellt, dass jede Textur mit einem Gammawert von 2,2 angenommen wird. Man kann sich somit voll und ganz nur auf die Texturen konzentriert werden, die bereits linear sind.

Die linearen Texturen müssen beim Einladen mit der Funktion „Override“ und dem Wert 1,0 geladen werden (siehe Abb. 4.9 rechts).

Innerhalb einer kompletten 3D-Szene sind die linearen Texturen wie u. a. das EXR-Format in der Anzahl deutlich geringer als JPG-Texturen. Dadurch wird mit den globalen Einstellungen eine Menge Zeit eingespart und die Fehleranfälligkeit sinkt enorm.

Die V-Ray-Option „Linear workflow“ bleibt somit bei der Verwendung des linearen Workflows deaktiviert!

4.7 Lineare Daten

Die richtige Verwendung von Texturen und ihren Gammawerten ist entscheidend, um den linearen Workflow korrekt anzuwenden.

Durch die globalen Einstellungen in 3ds Max werden alle Texturen mit einem Gammawert von 2,2 angenommen. Diese Einstellung schafft Zeit, weil sie für fast alle Texturen, die nicht linear vorliegen, zutrifft. Die dargestellten Farben der Materialien werden dadurch erheblich blasser, was allerdings völlig korrekt ist (siehe Abb. 4.10).

In helleren Farben sind mehr Informationen enthalten als in dunklen und diese Informationen werden durch eine spätere Nachbearbeitung wie u. a. in Adobe Photoshop ausgereizt und ermöglicht dadurch ein reelleres Bild.

4. ANWENDUNG DES LINEAREN WORKFLOWS

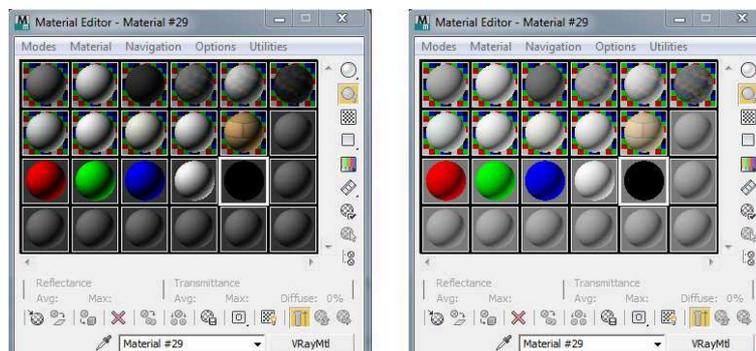


Abbildung 4.10: Der Materialeditor vor (links) und nach (rechts) der Umstellung zum linearen Workflow

Sobald lineare Texturen wie sie u. a. beim Format EXR verwendet werden, muss dies aufgrund der globalen Einstellungen dem 3D-Programm mitgeteilt werden. Wie bereits im vorherigen Unterkapitel erklärt und anhand der Abbildung 4.9 dargestellt, hat der Anwender bei jeder einzelnen Textur die Möglichkeit, den Gammawert beliebig anzupassen. Im Falle einer linearen Textur muss der Wert unbedingt auf 1,0 gestellt werden, weil durch die globalen Einstellungen alle Materialien mit einem Gammawert von 2,2 geladen werden.

Diese zwei Möglichkeiten bieten in Kombination einen sehr guten Komfort der Behandlung aller Materialien. In Form eines kostenlosen Plug-in mit dem Namen „ColorCorrect“ existiert noch eine dritte Möglichkeit, Texturen einzeln zu handhaben. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Plug-in jedoch nicht verwendet.

Zusammenfassend ist an dieser Stelle zu sagen, dass nun alle Daten linear vorliegen und somit auch linear an den Renderer übergeben werden können.

Die Monitore wurden kalibriert und damit auf einen linearen Helligkeitsverlauf justiert. Globale Einstellung im 3D-Programm und am Renderer (V-Ray) wurden festgelegt. Je nach Import der Texturen muss eine gewisse Einstellung vorgenommen werden, damit keine doppelte Gammakorrekturanwendung angewendet wird.

Bei der Speicherung des gerenderten Bildes kommt es auf die weitere Verwendung (Postproduction) an, die den Gammawert bestimmt. Dies kann direkt bei der Speicherung beeinflusst werden (siehe Abb. 4.11).

Wenn das Bild z. B. im EXR-Format als 16 oder 32 Bit linear weiterverarbeitet werden soll, muss der Gammawert mit 1,0 überschrieben werden. Erst nach erfolgter Bearbeitung u. a. mit Adobe Photoshop, muss das Bild am Ende für die Darstellung am Monitor im 8-Bit-Format gespeichert werden. Soll es gleich als finales Bild z. B. im JPG-Format gespeichert werden, muss das Systemgamma verwendet werden.



Abbildung 4.11: „Speichern unter“ Fenster mit optionaler Bestimmung des Gammawertes

Damit sind alle Vor- und Nachbereitungen für die lineare Anwendung erfolgt und die Szene kann gerendert werden. Im folgenden Unterkapitel „Szenenaufbau“ wird der Aufbau der 3D-Szene beschrieben und dargestellt.

4.8 Szenenaufbau

Die Innenraumarchitekturszene, die ich mit freundlicher Genehmigung der Firma „Dreide-sign“ in Hamburg für meine Bachelorarbeit benutzen darf, stellt das Hauptaugenmerk dar. Anhand von vielen Fenstern, die an zwei nebeneinanderliegenden Seiten im Raum verteilt sind, kann die Lichtstimmung gut beurteilt werden (siehe Abb. 4.12).

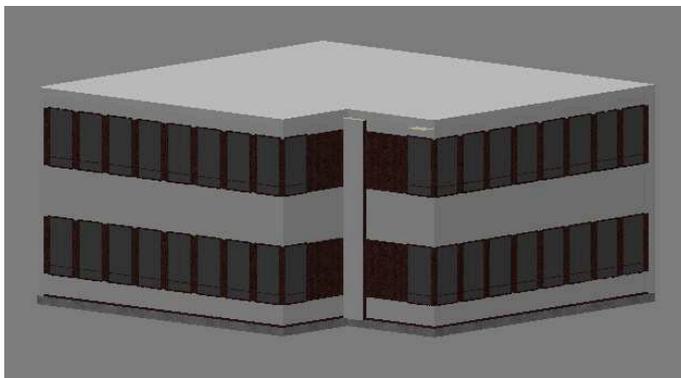


Abbildung 4.12: Ansicht des 3D-Modells von außen und vorn

Das sphärische HDR-Foto im EXR-Format, das einerseits für das Licht und zugleich für den Hintergrund verwendet wurde, stammt von der DVD „Extreme Hires“ der Firma „Dosch Design“ und wird mit freundlicher Genehmigung der Technischen Hochschule Mittelhessen verwendet (siehe Abb. 4.13).



Abbildung 4.13: Das sphärische Foto für die Belichtung und den Hintergrund

Damit das Foto als Lichtquelle verwendet werden kann, muss dies in den V-Ray-Einstellungen vermerkt werden. Dazu wird ein neues Material vom Typ „V-Ray HDRI“ angelegt und als Textur (Bitmap) das Foto im EXR-Format ausgewählt.

Es ist darauf zu achten, dass in den Einstellungen unbedingt im Punkt „Mapping“ der Typ „Spherical“ und unter „Coordinates“ ebenfalls das Mapping auf „Environ“ mit „Spherical“ ausgewählt werden muss. Außerdem muss unter dem Punkt „Processing“ der Gammawert mit 1,0 eingetragen werden, sofern er nicht schon automatisch erkannt wurde. Nur dadurch ist gewährleistet, dass das Foto linear verarbeitet wird und geometrisch korrekt angelegt ist.

Anschließend muss das Material für den Hintergrund nur noch in V-Ray vermerkt werden, damit es als Lichtquelle benutzt wird. Dies wird im Render-Setup unter dem Reiter „V-Ray“ und dem Punkt „V-Ray: Environment“ in den „GI Environment (skylight) override“ erledigt. Anhand des Wertes bei „Multiplier“ kann die Luminanz des Fotos nachträglich gesteuert werden. Der standardmäßige Wert ist 1,0.

Das Foto dient nun ausschließlich als Lichtquelle und nicht für den Hintergrund wie angenommen werden könnte.

Um das Foto ebenfalls als Hintergrund verwenden zu können, damit es durch die Scheiben sichtbar ist, muss ein weiteres Material mit den selben Werten angelegt werden. Lediglich unter dem Punkt „Coordinates“ wird bei dem Material auf „Texture“ umgestellt.

Dieses Material wird in den „Background“ unter „Environment and Effects“, zu finden unter „Rendering“, eingesetzt. Jedoch trifft dies nur für den Renderer zu, wenn er das Bild berechnet, und wird nicht im Hintergrund innerhalb der 3D-Szene angezeigt.

Wenn das Hintergrundbild auch innerhalb der 3D-Szene angezeigt werden soll, kann das Material auch in den Viewport geladen werden. Dies kann unter „Views“ im Unter-

menü „Viewport Configuration“ im Reiter „Background“ eingestellt werden. Mit der Option „Use Environment Background“ wird dem 3D-Programm mitgeteilt, dass das Material für den Hintergrund bereitgestellt werden soll.

Als letzter Schritt fehlt nur noch die Ausrichtung des 3D-Objektes mit dem Hintergrund. Dafür bietet V-Ray in den Einstellungen eine passende Option an, um die horizontale oder vertikale Ausrichtung zu steuern, die in den Materialeigenschaften des „V-Ray HDRI“ enthalten ist. Mit den Werten „Horiz. rotation“ und „Vert. rotation“ unter „Mapping“, kann das Hintergrundbild angepasst werden.

Kapitel 5

Ergebnisse

In diesem Kapitel folgt eine Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse.

Wie im Grundlagenkapitel erwähnt, müssen die hier vorgestellten Bilder für die Darstellung von 32 auf 8 Bit reduziert werden, weil eine Ansicht am Monitor oder beim Druck keine 32 Bit verarbeiten kann. Diese hohe Bitrate sichert allerdings bessere Nachbearbeitungsmöglichkeiten wie u. a. mit Adobe Photoshop.

Für ein Endprodukt wird dementsprechend mit der 32-Bit-Version gearbeitet, bis alles Nachbearbeitet ist, und erst zum Schluss auf die 8-Bit-Farbtiefe konvertiert. Dabei ist darauf zu achten, dass Adobe Photoshop auf den sRGB-Modus und auf „in RGB-Arbeitsfarbraum konvertieren“ in seinen Voreinstellungen umgestellt ist.

Das erste Bild ist unter Berücksichtigung des linearen Workflows und somit mit linearen Daten gerendert worden (siehe Abb. 5.1).

Dies wurde umgesetzt, indem die globalen Einstellungen in 3ds Max aktiviert und in den V-Ray Einstellungen mit einem Gammawert von 2,2 gerendert wurde. Eine lineare Verarbeitung ist somit garantiert. Bei der Speicherung des Bildes muss der Gammawert mit 1,0 überschrieben werden, um keine doppelte Gammakorrektur anzuwenden.

Gespeichert wurde das Bild im EXR-Format als Full Float (32 Bit) mit der verlustfreien Methode „ZIP“. Somit liegen für die Nachbearbeitung per Adobe Photoshop die Daten linear und vollständig parat und gewähren eine optimale Weiterverarbeitung.

Beim zweiten Bild wurde ohne die Berücksichtigung des linearen Workflows gerendert (siehe Abb. 5.2).



Abbildung 5.1: Gerendertes Bild mit Anwendung des linearen Workflows



Abbildung 5.2: Gerendertes Bild ohne Anwendung des linearen Workflows

In diesem Fall wurden die globalen Einstellungen in 3ds Max deaktiviert und das Bild innerhalb der V-Ray Einstellung mit einem Gammawert von 1,0 gerendert. Bei diesen Einstellungen ist es bei der Speicherung nicht möglich den Gammawert zu verändern. Wird jedoch auch nicht benötigt, weil das Bild bereits einen Gammawert von 1,0 besitzt.

Auch bei diesem Bild wurde im EXR-Format als Full Float (32 Bit) und mit verlustfreier Methode „ZIP“ gespeichert. Bei diesem Beispiel liegen die Daten zwar linear vor, sind allerdings nicht linear gerendert worden. Die Nachbearbeitungsmöglichkeiten sind in dem Fall damit eingeschränkter, als unter der Verwendung des linearen Workflows.

5.1 Objektive Bewertung

Eine objektive Bewertung wird anhand von Fakten sachlich und neutral begründet. Deshalb bietet es sich an, einzelne Zonen innerhalb des Bildes näher und somit detaillierter darzustellen.

Anhand der Abbildung 5.2 kann erkannt werden, dass die Vorteile des linearen Workflows anhand von drei Punkten gut verglichen werden können:

1. Das Licht mit seinen Schattenverläufen, das oben rechts an der Wand und bei den Kissen gut zu beurteilen ist
2. Der Teppich, der unterschiedlich hoch ist und das Gestänge vom Stuhl verdeckt
3. Ein roter Fleck an der Wand, der durch Reflexionen der Holztextur entsteht

5.1.1 Licht und Schatten

Die Nutzung des linearen Workflows führt zu gleichmäßigen Verläufen bei den Schatten, weil das Licht physikalisch korrekt berechnet wird und somit exponentiell durch jede Reflexion abnimmt. Dies wird in der Abbildung 5.3 entsprechend dargestellt.

Der lineare Workflow bewirkt, dass die 3D-Szene natürlicher beleuchtet wird und sich die Lichtstrahlen innerhalb des Raumes korrekt verhalten. Die Benutzung eines IBLs, dessen Daten durch ein HDR-Foto und dem EXR-Format linear sind, ermöglicht eine perfekte Ausleuchtung der 3D-Szene zu jeder einzelnen Tageszeit, die vom HDR-Foto beeinflusst wird.

Dies kann ebenfalls anhand der Gesamtbilder (Abb. 5.1 und 5.2) erkannt werden. Die Lichtstimmung ist ohne den linearen Workflow nicht real. Der Stuhl und die Wand rechts besitzen eine starke helle Fläche, wovon Betrachter davon ausgehen, dass der Raum an sich heller sein müsste. Außerdem kann hinten rechts bei den Fenstern jeweils am Balken eine ebenfalls zu hohe Sonneneinstrahlung erkannt werden, die durch den linearen Workflow deutlich besser verrechnet wird.

5. ERGEBNISSE

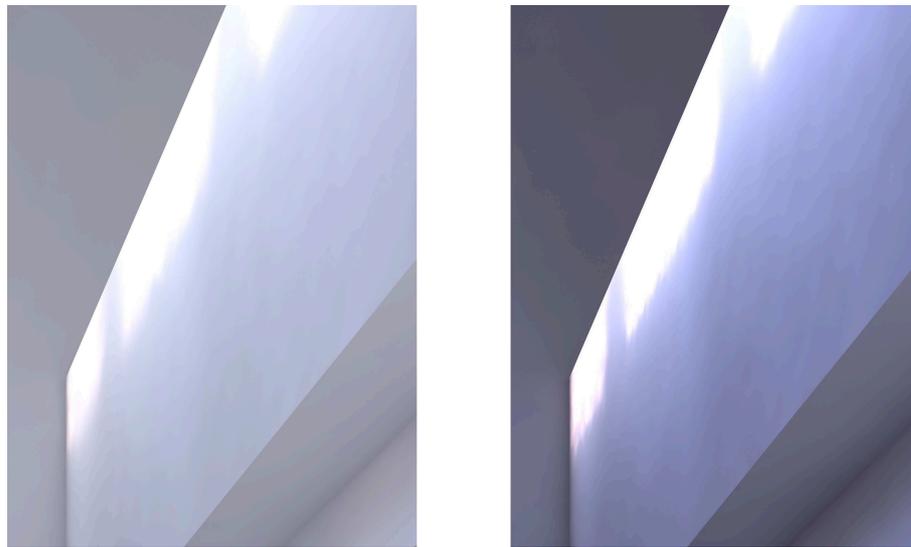


Abbildung 5.3: Beurteilung der Schatten mit (links) und ohne (rechts) linearen Workflow

Um dies objektiv zu beweisen, wurden identische Auswahlbereiche innerhalb des Bildes ausgewählt. Anhand des Wertes „Abweichung“ im Histogramm von Adobe Photoshop, kann für den ausgewählten Bereich der enthaltene Bitumfang ermittelt werden (siehe Abb. 5.4 und 5.5).

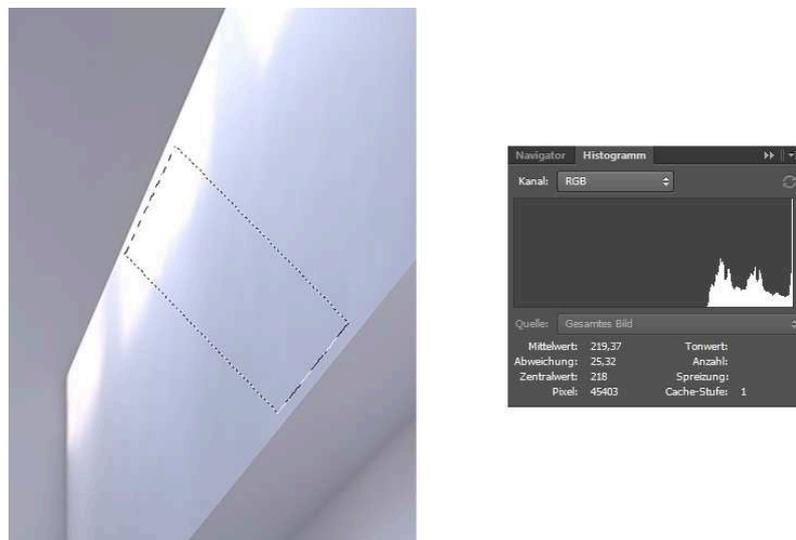


Abbildung 5.4: Auswertung des Schattenverlaufs mit linearen Workflow

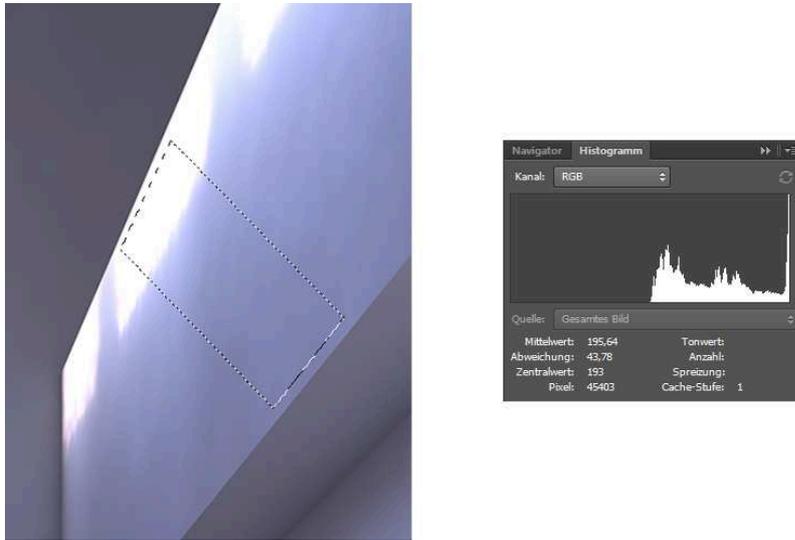


Abbildung 5.5: Auswertung des Schattenverlaufs ohne linearen Workflow

In den Abbildungen 5.4 und 5.5 ist zu erkennen, dass der Wert für die „Abweichung“ im Bild mit dem linearen Workflow 25,32 und ohne den linearen Workflow 43,78 beträgt.

Der Abweichungswert zeigt für die in der Auswahl vorhanden Pixel den verwendeten Bitumfang. Somit besitzt das Bild ohne linearen Workflow beim Schattenübergang einen deutlich härteren Schatten, der auch optisch zu erkennen ist.

Die Mittelwerte von 219,37 und 195,64 belegen, dass das Bild ohne den linearen Workflow dunkler ist.

Die selbe Pixelanzahl von 45403 weist nach, dass der gleiche Ausschnitt verwendet wurde.

Dadurch ist bewiesen, dass die Anwendung des linearen Workflows einen natürlicheren Schattenverlauf liefert.

5.1.2 Displacement-Kanal

Anhand der beiden Bilder kann ein Unterschied beim Teppich nachgewiesen werden. Bei dem Bild ohne den linearen Workflow wird das Gestänge des Stuhls durch die Fasern des Teppichs überdeckt und ist somit im Bild nicht zu erkennen (siehe Abb. 5.6).



Abbildung 5.6: Beurteilung des Displacements mit (links) und ohne (rechts) linearen Workflow

Dieser Fehler wird durch den „Displacement-Kanal“ verursacht. Der Kanal ist innerhalb des Materials für den Teppich vorhanden und sorgt dafür, dass der Teppich eine Höhe durch seine Fasern bekommt.

Ohne die Textur in diesem Kanal wäre der Teppich flach. Somit wird die gleiche Textur ebenfalls in den „Displacement-Kanal“ angelegt, der dafür sorgt, dass jeweils die Grauwerte bestimmen bzw. simulieren, wie hoch einzelne Fasern stehen. Je weißer der Grauwert, desto höher wird die Faser simuliert und umgekehrt.

Durch den linearen Workflow sind die Texturen linear und die Fasern erhalten damit ihre korrekte Höhe, die das Gestell nicht abdecken. Dies beweist eine korrekte Anwendung der Linearität.

5.1.3 Reflexion

Bei der Betrachtung des Bildes ohne den linearen Workflow können rötliche Bereiche erkannt werden, wie z. B. an der Unterseite des 2. Stockwerks auf der rechten Seite. Diese entstehen durch eine Reflexion der braunen Holztextur (siehe Abb. 5.7).

Die Entstehung dieser Flecken wird durch das „Color bleeding“ verursacht. „Color bleeding“ ist dafür zuständig die Farbe eines Objektes, das angestrahlt wird, auf naheliegende Objekte in einem gewissen Anteil zu transferieren, was auch völlig korrekt ist. Bei der Verwendung des linearen Workflows wird dies physikalisch korrekt durchgeführt und erhält



Abbildung 5.7: Beurteilung der Reflexion mit (links) und ohne (rechts) linearen Workflow

damit deutlich weniger Anteil. Ohne den linearen Workflow kann dies zu einer Übersteuerung führen, die kaum beeinflusst werden kann.

5.2 Subjektive Bewertung

Es ist korrekt, dass die gerenderten Bilder in ihrer Helligkeit unterschiedlich sind und somit eine komplett andere „Lichtstimmung“ besitzen. Beide Testbilder sind mit einem Gamma-wert von 1,0 gespeichert und können damit miteinander verglichen werden.

Für eine exakte Beurteilung ist es erforderlich, das Bild nicht als Ganzes zu bewerten, sondern den Fokus auf das Licht mit seinen Schattenverläufen zu legen.

Durch die Anwendung des linearen Workflows ändert sich, wie bereits im Kapitel „Anwendung des linearen Workflows“ erwähnt und in Abbildung 4.6 dargestellt, die Abstufungen der Materialien.

Dadurch entsteht eine Spiegelung wie z. B. in den Scheiben oder am Boden, die in dem Bild ohne linearen Workflow natürlicher aussieht, weil diese im Bild mit der Anwendung des linearen Workflows durch die veränderten Abstufungen nicht so stark reflektieren.

Für das Endprodukt wäre eine Anpassung der Reflexion erforderlich gewesen. Für den Vergleich innerhalb dieser Bachelorarbeit ist es allerdings nicht von Bedeutung.

Im Rahmen einer Umfrage sollen mehrere Personen aus unterschiedlichen Gruppen zu den Bildern (Abb. 5.1 und 5.2) befragt werden. Die 12 Testpersonen setzen sich zusammen aus jeweils 4 Befragten aus den Gruppen: Laie, Hobbyfotograf und Grafiker.

Um die Ergebnisse besser auswerten zu können, haben die Testpersonen nacheinander folgende Fragen gestellt bekommen:

1. Welches Bild hat eine natürlichere Lichtstimmung? Bitte begründe Deine Meinung.
2. In welchem Bild wirkt der Himmel natürlicher? Bitte begründe Deine Meinung.
3. In welchem Bild ist das Verhältnis der Außen- und Innenbeleuchtung realistischer? Bitte begründe Deine Meinung.

5.2.1 Ergebnis zum Thema „Lichtstimmung“

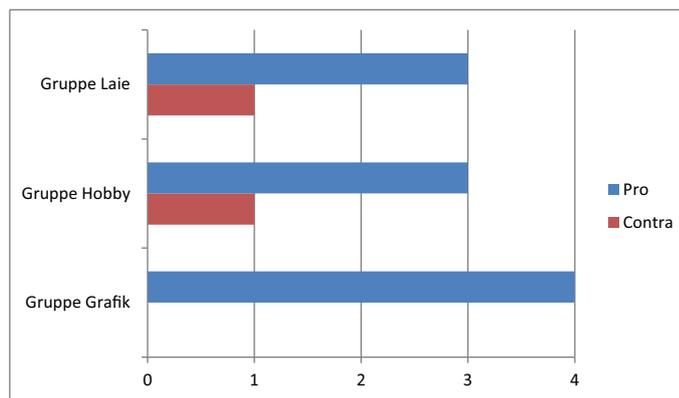


Abbildung 5.8: Befragung zur Lichtstimmung

Zu der Frage welches Bild eine natürlichere Lichtstimmung besitzt, hat sich die Mehrheit in allen Gruppen für das Bild mit dem linearen Workflow entschieden.

Die Lichtstimmung im nicht linearen Bild wurde bei den Laien als zu dunkel wahrgenommen, auch wenn die kräftigeren Farben als „schöner“ empfunden wurden, dafür aber unnatürlich. Einer ist allerdings der Meinung, dass der Raum dunkler sein muss, weil keine aktive Lichtquelle im Raum vorhanden ist und entscheidet sich für das Bild ohne den linearen Workflow.

Drei von vier Hobbyfotografen beschrieben das nicht lineare Bild als zu kontrastreich und ebenfalls unnatürlich. Der letzte von der Gruppe entschied sich dafür, weil es draußen nach einer Abendsonne aussehen würde und es somit nicht so hell im Raum sein könnte.

Die Grafiker sind sich alle einig. Das Bild mit dem linearen Workflow überzeugt diese Gruppe durch die natürlich wirkende Helligkeit im Raum.

Einer der Grafiker ergänzte noch, dass die Abstufungen von hell zu dunkel bei dem linearen Bild harmonischer seien und entscheidet sich insgesamt für den linearen Workflow, auch wenn seiner Meinung nach die Reflexionen bei dem anderen Bild besser sind.

5.2.2 Ergebnis zum Thema „Himmel“

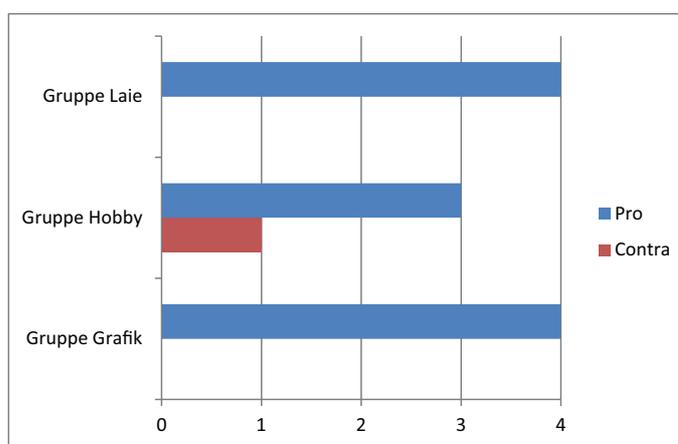


Abbildung 5.9: Befragung zur Natürlichkeit des Himmels

Der Himmel bei dem nicht linearen Bild wird von allen Laien als zu dunkel empfunden. Eine Testperson fragte sogar vorsichtshalber nach, ob die Scheiben getönt sind, weil der Himmel so dunkel ist.

Die Hobbyfotografen bestätigen diese Aussagen, dass der Himmel mit dem linearen Workflow natürlicher aussieht. Die Farbabstände wären zwischen dem oberen und unteren Himmelbereich zu groß und das wirke unreal. Ein Hobbyfotograf sagte aus, dass der Himmel allerdings gut zu einer Abend- oder Morgenstimmung im nicht linearen Bild passen würde.

Die Grafiker bestätigten die Natürlichkeit des Himmels beim linearen Workflow dadurch, dass es nicht so kontrastreich und der Farbabstand harmonischer sei. Alle drei Gruppen bestätigen mehrheitlich den realistischer wirkenden Himmel bei dem Bild mit den linearen Workflow.

5.2.3 Ergebnis zum Thema „Beleuchtung“

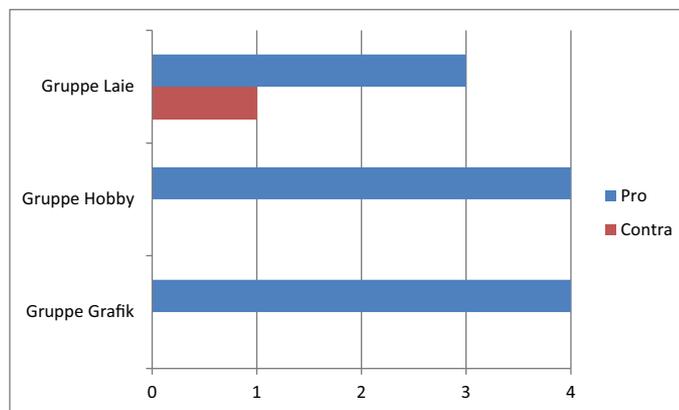


Abbildung 5.10: Befragung zum Verhältnis der Außen- und Innenbeleuchtung

Auch bei der letzten Frage nach der Beurteilung des realistischer wirkenden Bildes, anhand des Verhältnisses zwischen der Außen- und Innenbeleuchtung, sind sich alle Gruppen einig.

Das Bild mit dem linearen Workflow überzeugt durch seine Helligkeit von außen. Drei von vier Laien sind von den Sonnenreflexionen innerhalb des linearen Bild überzeugt, es wirkt realistischer.

Das bestätigen die Grafiker, die eine geringe Sonneneinstrahlung beim nicht linearen Bild bemängeln. Auch sei es im Allgemeinen außen viel zu dunkel für eine im Innenbereich so helle Ausleuchtung.

Einer der Laien sieht das genau anders, weil innen keine zusätzliche Beleuchtung vorhanden ist, müsste es so dunkel sein und somit ist in diesem Punkt das nicht lineare Bild realistischer.

Die Hobbyfotografen dagegen sind alle vom linearen Bild überzeugt. Die Sonneneinstrahlung sei beim nicht linearen Bild an einigen Flächen viel zu hell, sodass unnatürliche weiße Flächen vorhanden sind.

5.2.4 Bewertung der Umfrage

Mehrheitlich entschieden sich alle Gruppen für das gerenderte Bild mit dem linearen Workflow.

Subjektiv betrachtet ist das Bild mit dem linearen Workflow natürlicher und wirkt realistischer. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Bild ohne den linearen Workflow zu dunkel und zu kontrastreich wahrgenommen wurde.

Ein Grafiker erkannte folgerichtig, dass die Reflexionen beim nicht linearen Bild besser zur Geltung kommen. Wie bereits oben erwähnt müsste hier für ein finales Bild eine Nachbearbeitung erfolgen.

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Der lineare Workflow

Der lineare Workflow ist durch die besseren Ergebnisse anhand einer natürlichen Lichtstimmung mit linearen Daten nachgewiesen worden. Eine Empfehlung für die Anwendung des linearen Workflows kann damit klar ausgesprochen werden.

Zwar ist eine Umstellung am Anfang mit einem kleinen Aufwand verbunden und es können eine Menge Fehler auftreten, weil mit Materialien und Texturen anders gehandhabt werden muss. Dies führt allerdings zu deutlich reelleren Ergebnissen, die gerade in der Architekturbranche ein wichtiger Bestandteil ist.

Die Verwendung des IBL-Verfahrens rundet das Ergebnis weiterhin ab und garantiert, sofern das richtige HDR-Foto mit seiner Lichtstimmung vorhanden ist, sehr genaue Ergebnisse.

Wichtig bei der Verwendung des linearen Workflows ist allerdings, dass alle Daten linear vorliegen müssen. Dies stellt bei einer Umstellung zum linearen Workflow am Anfang einen Aufwand dar, dessen Ergebnis sich allerdings sehen lassen kann.

6.2 Lineares Compositing

Der lineare Workflow hat ebenfalls enorme Vorteile in der Weiterbearbeitung.

Die Daten liegen im gespeichertem Endprodukt linear zur Verfügung, sofern in das richtige Format gespeichert wurde. Anhand dieser Daten kann sehr exakt in der Nachbearbeitung gearbeitet werden, egal ob dies in der Architekturbranche oder in der Filmindustrie ist. Lineare Daten sind immer von Vorteil! Beide Branchen benötigen unbedingt eine perfekte Lichtstimmung, die mit dem linearen Workflow sichergestellt werden kann.

Sofern lineare Daten an andere Programme übergeben werden müssen, bietet sich das EXR-Format mit seinen vielen Möglichkeiten nahezu perfekt an. Allerdings muss die Verwendung von Dateitypen programmspezifisch überprüft werden und je nachdem mit kompatiblen Formaten gearbeitet werden. Dabei ist zu beachten, dass nur Formate gewählt werden, die eine Linearität zur Verfügung stellen können.

Für eine weitere Bearbeitung des finalen Bildes, wird am häufigsten die Tonwertkorrektur verwendet, um das Bild auf alle verfügbaren Bits linear zu verteilen.

Eine weitere leichte Gammakorrekturanwendung und die Verwendung der Gradationskurve am Endprodukt liegt ganz im künstlerischem Spielraum eines Grafikers. Selbstverständlich hat jeder seine eigenen Methoden entwickelt.

Als weitere Empfehlung möchte ich an dieser Stelle das Plug-in „PSD-Manager“ erwähnen. Das Plug-in erleichtert die weitere Nachbearbeitung enorm, weil es mit dem gerenderten Bild auch automatisch die Masken der jeweiligen vorher definierten Materialien anlegt. Sie sind in der Weiterverarbeitung von unschätzbarem Wert, weil diese nicht manuell nachgezeichnet werden müssen.

Dass bedeutet, dass z. B. anhand meiner gerenderten Bilder alle Bereiche der Holztextur in einer Maske wären und diese nicht manuell angefertigt werden müssten.

Das Plug-in ist mit einem verhältnismäßig günstigen Preis empfehlenswert, wenn Bilder sowieso in der Nachbearbeitung verbessert werden.

6.3 Zukünftige Verbesserungen

Als eine Verbesserungsmöglichkeit sehe ich die Option „Linear workflow“ innerhalb der V-Ray Einstellungen zu verändern. Entweder wird diese umbenannt, ein Popup als Hinweis eingeblendet oder diese Option muss entfernt werden. Eine Fehlinterpretation liegt nahe und stellt für einen Laien evtl. ein großes Problem dar. Diese Option kann schnell als Aktivierung bzw. Deaktivierung missverstanden werden.

Außerdem bewegt sich jeder Hersteller nur innerhalb seines Produktes mit seinen Einstellungsmöglichkeiten. Schnittstellen zwischen den einzelnen Programmen und somit auch Arbeitsschritte für den linearen Workflow sind kaum vorhanden. Viele vorhandene Formate und programmspezifische Einstellungen erschweren die Arbeit mit dem linearen Workflow. Es wäre wünschenswert, in diesem Bereich eine Standardisierung anzustreben.

Dadurch wird die Anwendung des kompletten linearen Workflows enorm erschwert. Im Internet lassen sich unzählige Beispiele für projektspezifische Einstellungen finden, dessen vielfältigen Lösungsansätze das Thema undurchsichtig wirken lässt.

6.4 Internet-Referenzen

An dieser Stelle möchte ich darauf hinweisen, dass ich den Zugriff aller Internet-Referenzen innerhalb dieser Bachelorarbeit am 25.06.2014 verifiziert habe und alle Informationen online waren.

Literaturverzeichnis

- [BB09] BIRGIT BISPRING, Gerd Heinen Werner K. Monika Böhm B. Monika Böhm: *Professionelle Bildbearbeitung*. Verlag Europa-Lehrmittel, 2009. – ISBN 978–3–8085–3771–8
- [Dit14] DITZINGER, Thomas: *Illusionen des Sehens*. Springer Spektrum, 2014. – ISBN 978–3–642–37711–2
- [Har] HARAKÉ, Laura: *Computergrafik: Farbmanagement*. Proseminar, . – <http://bit.ly/1lEDiaj> (Uni Koblenz) - Zugriff am 14.03.2014.
- [JE09] JUHLO, Markus ; EGGERT, Enrico: *Architektur-Renderings mit 3ds Max und V-Ray*. München, Deutschland : Addison-Wesley Verlag, 2009. – ISBN 978–3–8273–2787–1
- [JG09] JÜRGEN GAUSEMEIER, Michael G.: Image-based Lighting für realitätsnahe Beleuchtung in Augmented Reality-Anwendungen. In: *HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 252 Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung* (2009), Nr. 8, S. 49–63
- [JK10] JANOSCH KÖHLER, Jakob S.: *Der lineare Workflow*. VDM - Verlag Dr. Müller, 2010. – ISBN 978–3–639–26854–6
- [Mar07] MARCHESI, Jost J.: *digital PHOTOKOLLEGIUM*. Verlag Photographie, 2007. – ISBN 978–3–933131–96–6
- [MM06] MICHAEL MÜLLER, Jörg S.: *Digitalfotos*. Smart Books, 2006. – ISBN 978–3–908497–31–8
- [SC08] SILVA CAETANO, Christian da: *3D-Architektur-Visualisierung*. mitp, 2008. – ISBN 978–3–8266–5923–2
- [Sch10] SCHÖNHERR, Hagen: *Digitale hoch auflösende Zeitlupenkameras*. Diplomica Verlag GmbH, 2010. – ISBN 978–3–8366–3894–4
- [Sim08] SIMON, Klaus: *Farben im Digitalen Publizieren*. Springer, 2008. – ISBN 978–3–540–37327–8

- [Str09] STRUTZ, Tilo: *Bilddatenkompression*. Vieweg+Teubner, 2009. – ISBN 978-3-8348-0472-3
- [Wag11] WAGNER, Reinhard: *Profibuch HDR-Fotografie*. Franzis Verlag GmbH, 2011. – ISBN 978-3-645-60099-6
- [Wes14] WESTPHALEN, Christian: *Die große Fotoschule*. Galileo Design, 2014. – ISBN 978-3-8362-2384-3