

Untersuchung der physikalischen Korrektheit unterschiedlicher Rendersysteme durch Vergleich mit Referenzfotografien

Studiengang Medieninformatik

Bachelorarbeit

vorgelegt von

Julia Immel

geb. in Marburg

31. Januar 2013

durchgeführt bei

edergmbh
Medien Management

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk
Korreferent der Arbeit: M. H. Edu. Sabine Langkamm
Betreuer bei eder: B. Eng. Kerstin Mitschke

Friedberg, 2013

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen und mich bei den Menschen bedanken, die in den letzten Monaten wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ohne deren Unterstützung wäre die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Zunächst möchte ich mich bei Prof. Dr. Cornelius Malerczyk für die hervorragende Betreuung während meines Praktikums bei der eder GmbH und der Erstellung dieser Bachelorarbeit bedanken. Danke für die Geduld und die Zeit, die nötig war, um mir meine Fragen zu beantworten und mir bei Problemen zu helfen. In diesem Zusammenhang möchte ich mich auch bei M. H. Edu. Sabine Langkamm bedanken, die, gemeinsam mit Prof. Dr. Cornelius Malerczyk, mir die Möglichkeiten der grafischen Datenverarbeitung gezeigt und damit mein Interesse geweckt haben.

Ich danke der eder GmbH für ihre Hilfe bei der Themenfindung und der Möglichkeit den praktischen Teil dieser Bachelorarbeit in der Firma zu erarbeiten. Danke an B. Eng. Kerstin Mitschke und Wirtsch.-Ing. Dominik Kühner, die mich während meiner Zeit in Stuttgart und darüber hinaus betreut und unterstützt haben. Auch den anderen Kollegen, die immer ein offenes Ohr für meine Fragen hatten und mir stets einen guten Rat geben konnten - vielen Dank.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, ohne die mein Studium überhaupt nicht möglich gewesen wäre. Meine Eltern, Bärbel und Wilfried Immel; danke für die Unterstützung, die Ruhe und den Rückhalt in den letzten Jahren und besonders in den letzten Monaten. Mein Bruder, Dipl.-Ing. (FH) Daniel Immel, der mir immer gern geholfen hat, selbst wenn ich Fragen hatte, auf die er selber keine Antwort kannte - er hat immer nach einer gesucht. Danke.

Außerdem bedanke ich mich bei meinem Freund B.Sc. Oliver Kulas für die vielen Stunden des Korrekturlesens, die Geduld und die Unterstützung zu jeder Zeit. Danke auch an meine engsten Freunde, die immer wieder bedingungslos für mich einstehen, mich unterstützen und mir den Rückhalt geben, den ich brauche.

Vielen, vielen Dank.

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.

Friedberg, Januar 2013

Julia Immel

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Selbstständigkeitserklärung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	x
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung	5
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Organisation der Arbeit	7
1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	8
2 Stand der Technik	11
2.1 Einleitung	11
2.2 Rendering - Fotorealismus und physikalische Korrektheit	12
2.2.1 Material und Texturen	14
2.2.2 Licht	15
2.2.3 physikalische Korrektheit	16
2.3 Renderer	17
2.3.1 Maya Software	17
2.3.2 Mental Ray	17
2.3.3 V-Ray	18
Preis	18
2.3.4 Maxwell Render	18
Preis	19
2.4 Zusammenfassung	19
3 Grundlagen	21
3.1 Einleitung	21

3.2	Fotografie	23
3.3	Rendering	25
3.3.1	Linear Workflow	25
3.3.2	Global Illumination	26
	Photon-Mapping	26
	Ray Tracing	27
3.3.3	biased/unbiased Renderer	28
3.4	Zusammenfassung	29
4	Konzeptionierung	31
4.1	Einleitung	31
4.1.1	Auswahl des Rendersystems	32
4.2	Vergleichbarkeit zweier Rendersysteme	33
	Renderergebnisse	34
4.3	Anforderung	36
4.4	Zusammenfassung	38
5	Szenario	39
5.1	Einleitung	39
	Vorbereitung	40
5.2	Erstellung der Referenzfotografie	42
	Auswahl der Referenzfotografie	45
5.3	digitale Nachstellung der Fotografie	47
	Modelle	47
	Szenenaufbau	51
	Perspektivfindung	52
	Kameraeinstellung V-Ray	52
	Kameraeinstellung Maxwell Render	54
5.3.1	Erstellung des Renderings mit Maxwell Render	56
	Maxwell Render: Shading	56
	Maxwell Render: Ausleuchtung	58
	Maxwell Render: Rendering	59
	Maxwell Render: Probleme	63
5.3.2	Erstellung des Renderings mit V-Ray	64
	V-Ray: Shading	64
	V-Ray: Ausleuchtung	64
	V-Ray: Rendering	67
	V-Ray: Probleme	67
5.4	Zusammenfassung	70
6	Ergebnisse	73
6.1	Analyse und Vergleich	73
6.1.1	physikalische Korrektheit	74
6.1.2	Anwendbarkeit	82

6.2	Ergebnisse	85
7	Maxwell Render	89
7.1	Einleitung	89
7.2	Maxwell Render Allgemein	90
7.3	Key Features	92
7.3.1	Multilight™ und Color Multilight	92
7.3.2	Maxwell Fire	93
7.3.3	Rendering mit Maxwell	94
7.3.4	SimuLens™	95
7.3.5	Maxwell Grass	96
7.4	Zusammenfassung	96
8	Zusammenfassung und Ausblick	97
	Glossar	101
	Literaturverzeichnis	105

Abbildungsverzeichnis

1.1	Unterschiede der Filmproduktion 1983/2005	1
1.2	Disneys Alice in Wonderland - vom Green-Screen zum final Shot	4
1.3	Making of Fotografie/CGI VW Polo	5
2.1	(un)perfektes Rendering eines Salons	13
2.2	verschiedene Materialbeispiele auf Kugeln	14
2.3	Logo des Renderers V-Ray	18
2.4	Logo des Renderers Maxwell Render	19
3.1	Fotografie und CGI im direkten Zusammenspiel	22
3.2	Fotografie früher und heute	23
3.3	Der Weg des Lichts in einer Kamera	24
3.4	Fotografie und Post-Production	24
3.5	Linear Workflow in V-Ray	26
3.6	Darstellung Diffusem Raytracing und Path Tracing	28
4.1	Perfektion Rendering in der Automobilbranche	32
4.2	Renderings von Autointerieur mit Maxwell Render und V-Ray	35
5.1	Post-Production als mächtiges Werkzeug	40
5.2	Inspiration durch Bildrecherche	41
5.3	Produktfoto der Canon EOS 60D	42
5.4	Lichtsituationen Fotografie: künstliches Licht	43
5.5	Lichtsituation Fotografie: Tageslicht und punktueller, künstliches Licht	44
5.6	Referenzfotografie	46
5.7	Qualitätsunterschied 3D-Modell: Tischlampe	47
5.8	Qualitätsunterschied 3D-Modell: Mannequin	48
5.9	Qualitätsunterschied 3D-Modell: Schere	48
5.10	Grundriss des Raums	50
5.11	Scene Scale der Modelle	51
5.12	Screenshot der V-Ray Physical Camera	53
5.13	Screenshot der Eigenschaften eines Maxwell Kamera	55
5.14	Screenshot der Eigenschaften eines Maxwell Materials	57
5.15	Screenshot der Maxwell Render Emittiereinstellungen	59

5.16	Screenshot Maxwell Rendersettings	61
5.17	Screenshot des Maxwell Renderview	62
5.18	Screenshot V-Ray Material	65
5.19	V-Ray Testrenderings zur Anpassung des Physical Sun and Sky	66
5.20	Screenshot Rendersettings V-Ray	68
5.21	Screenshot V-Ray: Spotlights zur Generierung von Caustics	69
5.22	Unterschied Fotografie - Rendering: Color Bleeding	70
6.1	vgl. Maxwell Render: Foto und Rendering nach Eingabe der Realparameter	75
6.2	vgl. V-Ray: Fotografie und Rendering nach Eingabe der Realparameter . .	76
6.3	vgl. Maxwell Render: finales Rendering und Fotografie	77
6.4	vgl. Maxwell Render: Detailansicht Helligkeit	78
6.5	vgl. Maxwell Render: Detailansicht Material	78
6.6	vgl. V-Ray: finales Rendering und Fotografie	79
6.7	vgl. V-Ray: Detailansicht Schatten	80
6.8	vgl. V-Ray: Detailansicht Material und Schatten	80
6.9	Maxwell Render, Fotografie und V-Ray im Vergleich	87
7.1	Maxwell Render Logo	89
7.2	Rendering mit Maxwell Render Multilight™	92
7.3	Maxwell Renderview Panel mit Console, Preview und Multilight	93
7.4	Anwendung des Key Feature Maxwell Fire	94
7.5	Sampling Level von Maxwell Render	95

Tabellenverzeichnis

5.1	Aufzählung der Objekte und deren Abmessungen	41
5.2	Kameraparameter der verschiedenen Fotografien	44

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Foto- und Filmaufnahmen sind „echt“. Sie sind ein direktes Abbild der Realität. Zumindest war das vor einigen Jahrzehnten noch der Fall. In dieser Industrie ist es heutzutage nicht mehr üblich nur Realbilder und -aufnahmen zu nutzen. Die Zahl der Computergenerierte Grafiken, die diese Aufnahmen ersetzen oder ergänzen, steigt täglich.



Abbildung 1.1: Links: George Lucas umringt mit den Requisiten für seine Erfolgsfilme Star Wars Episode IV-VI | Rechts: 2005 wurden das Set und die Requisiten für Star Wars Episoden I-III am Computer erstellt und nachträglich in die Filmaufnahmen integriert¹

Noch vor einigen Jahrzehnten wurden Filme in real aufgebauten Filmsets mit entsprechenden Requisiten gedreht. Diese Filmsets und Requisiten wurden in mühsamer Arbeit nach der Vorstellung des Regisseurs - je nach Größenvorstellung in Realgröße oder Miniaturformat - erstellt [Sta10]. Der Amerikanische Filmmacher George Lucas hat diese Methode 1977 bis 1983 in seiner Star Wars Triologie (Episode IV-VI) genutzt (siehe Abb. 1.1, links). Es entstanden zahlreiche Miniaturmodelle der technischen Feinheiten, die George Lucas sich vorgestellt und in seine Filme eingebaut hat. Die Arbeit der Schauspieler war dadurch erheblich leichter. Die Requisiten und Umgebung war existent, sodass Schauspieler mit ihnen interagieren konnten. Sie konnten sich einfacher in die Situation und die Gefühle des darzustellenden Charakters einfühlen. In der ersten Star Wars Triologie wurden sogar die beiden Filmcharakter R2D2 und C-3PO, beide Roboter, durch einen in dem Modell steckenden Schauspieler dargestellt.

In der heutigen Film- und Fotoproduktion sind diese detailgetreue nachgebaute Requisiten und Sets nur noch selten vorzufinden. Regisseure verzichten fast vollständig auf Realmodelle. Diese werden nachträglich in Form von computergenerierten Bildern eingefügt. Dazu werden bei den Aufnahmen sogenannte Green- oder Bluecreens genutzt (siehe Abb. 1.1, rechts). Diese grellen, in der Natur selten vorkommenden Farben ermöglichen das einfache Freistellen der Aufnahmen am Computer. Dieses Verfahren wird Chroma Key Verfahren genannt. Die Schauspieler solcher Produktionen agieren mit gleichfarbigen Dummies, die ihnen das Schauspielern ohne reale Umgebung vereinfachen sollen. Diese Methode wurde beispielsweise in Disneys „Alice in Wonderland“ angewendet. Nach Fertigstellung der Dreharbeiten werden diese Screens durch passende digitale Sets ersetzt (siehe Abb. 1.2). Diese Entwicklung ist nicht nur im Bereich der bewegten Bilder, sondern auch im Bereich von *Stills* zu beobachten. Dieser Art der Visualisierung sind keine Grenzen gesetzt. Ob Form, Farbe, Detailgrad oder Visualisierung von (noch) nicht existenten Objekten - durch diese künstlich generierten Bilder sind Produzenten nicht mehr auf die Realität angewiesen. Für Hersteller und Produzenten ist es zusätzlich von Vorteil, dass diese Bilder genau nach ihren Vorstellungen erstellt und angepasst werden können, auch wenn das nicht immer der Realität entspricht. Teilweise im Rahmen des *full CGI* als Stilmittel genutzt, müssen *part CGI* Bilder oft so Fotorealistisch erstellt werden, dass sie im direkten Zusammenspiel mit einer Realfotografie nicht künstlich wirken.

In den letzten Jahren haben die Entwickler die Qualität und Leistung der Hard- und Software, die in der 3D-Visualisierung eingesetzt werden, erheblich gesteigert und ermöglichen dem Anwender computergenerierte Bilder höchster Qualität zu erstellen. Neben der passenden Hardware benötigt der Anwender eine 3D-Visualisierungssoftware wie Autodesk Maya und ein passendes Rendsystem zum Berechnen der Bilder. Besonders der Markt der Rendsysteme ist inzwischen undurchsichtig. Es gibt eine Vielzahl verschiedenster Systeme, aus denen der Anwender ein für seine Bedürfnisse passendes System auswählen muss. Alle haben ihre Vor- und Nachteile. Die

¹Bildquelle: <http://www.fuenf-filmfreunde.de/2009/10/31/wort-zum-samstag/> | 23.08.2012

zum Teil kostenlosen Renderer können laut den Angaben ihrer Entwickler die besten Ergebnisse liefern. Doch Dokumentationen oder Vergleiche gibt es kaum. Der Kunde muss sich also selbst ein Bild von der Qualität und der Vor- und Nachteile machen, was aber, durch einfaches anschauen der vom Hersteller zur Verfügung gestellten Bilder, schwierig ist. Aus diesem Grund soll im Laufe dieser Arbeit ein objektiver Vergleich zweier Rendersysteme, Maxwell Render der Firma Next Limit Technologies und V-Ray der Firma Chaos Group, durchgeführt und dokumentiert werden.

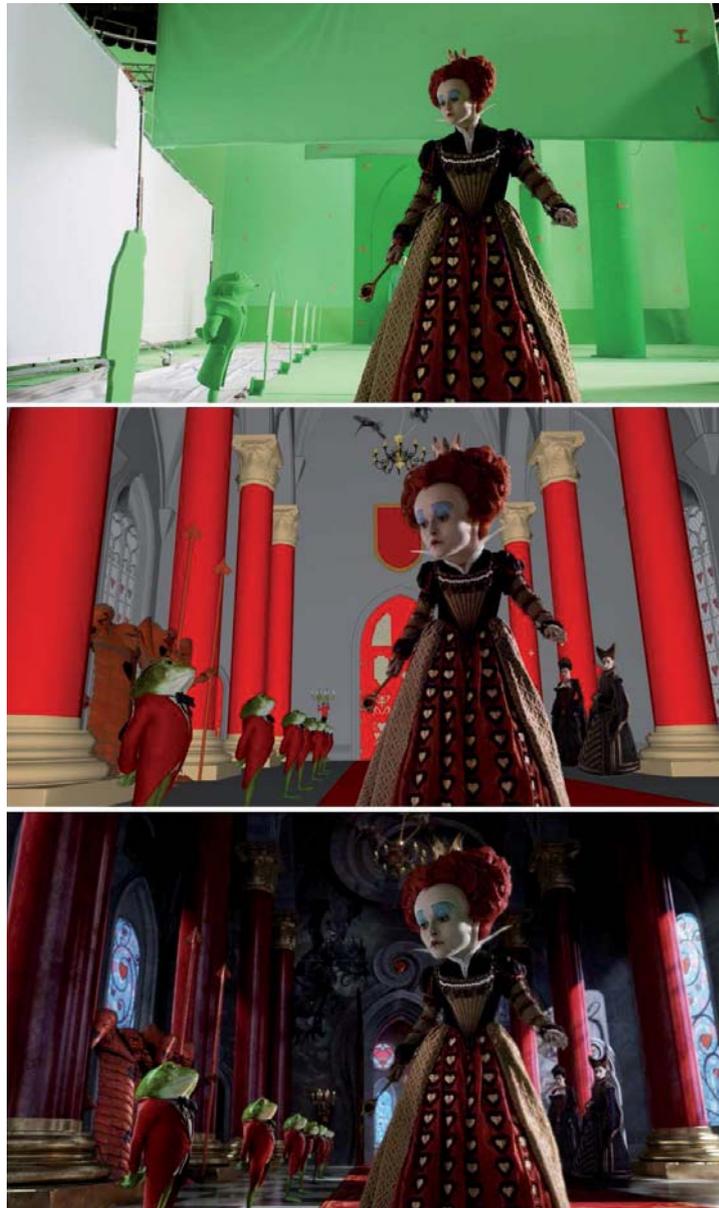


Abbildung 1.2: Gedreht wurde Disneys „Alice in Wonderland“größtenteils vor Greenscreens. Die Froschdummys dienen als Hilfestellung für die Schauspielerin | ©Disney Enterprises, Inc. All Rights Reserved²

²Bildquelle:<http://blog.o.scarebook.net/2010/01/31/alice-in-wonderland-from-page-to-screen/>
| 23.08.2012

1.2 Problemstellung

Täglich steigt die Selbstverständlichkeit künstlich generierte Bilder in Film-, Fernseh- oder Printproduktionen anzuwenden. Bereits in den 80er Jahren wurde begonnen CGI in bekannten Filmen oder Werbung anzuwenden. Seither steigt die Qualität dieser künstlichen Bilder stetig [Sch10].

Die Anwendung von Computergenerierten Bildern im direkten Zusammenspiel mit Realbildern wie Filmaufnahmen oder Fotografien müssen einer gewissen Qualität entsprechen, vor allem dann, wenn sie mit Realaufnahmen integriert werden sollen (siehe Abb. 5.1). Sie dürfen im direkten Zusammenspiel mit der Realität nicht auffallen. Bei gerenderten Bildern ist es oft der Fall, dass sie zu sauber und perfekt wirken. Auch falsch fallende Schatten, fehlende Schärfentiefe oder Caustics sind visuelle Eindrücke, die Menschen direkt auffallen, obwohl sie oft nicht benennen können, was das Problem im Bild ist. Folglich ist es schon vor der Erstellung eines solchen Bildes wichtig den Anwendungsbereich zu kennen. Bei der Visualisierung von Produkten, beispielsweise der Automobilindustrie, soll das Auto besonders „lackig“, hochwertig und neu aussehen, bei Innenarchitektur soll Licht eine wohnliche, warme Atmosphäre vermitteln.

Jede Art der Visualisierung hat ihre individuellen Bedingungen, die erfüllt werden müssen. Heutzutage gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten ein gutes Rendering



Abbildung 1.3: Der VW Polo GTI wird als CGI Model in eine Realfotografie integriert
| Fotografie ©Thomas Motta, CGI ©Pixology³

zu erstellen. Neben der benötigten 3D-Visualisierungssoftware wird zum Berechnen des Bildes ein Rendersystem benötigt. Entwickler von Rendersystemen bieten unterschiedliche, zum Teil auch kostenlose, Produkte an. Zusätzlich zu einem qualitativen Endergebnis, ist der Aufwand und Komplexität zum Erstellen einer solchen Szene nicht unerheblich. Jeder Hersteller hat laut eigenen Angaben das beste und neuste Produkt mit den besten Features, der besten Art und Weise effektiv und korrekt Licht

³Bildquelle: <http://www.pixology.de/motta-vw-polo-gti-making-of.html> | 31.07.2012

ter oder Materialien zu simulieren.

Je nach Anwendungsgebiet müssen Firmen entscheiden, welches dieser Rendersysteme ihren Anforderungen genügt und, wenn sie Geld für ein System ausgeben, welche finanziellen Möglichkeiten sie haben. Zwar gibt es auf den Herstellerseiten gerenderte Bilder, die die Qualität des Renderers abbilden, doch Informationen über den nötigen Aufwand für das aufsetzen der Szene, die finale Renderzeit oder wie viel Nachbearbeitung erfolgt ist, bleiben sie dem Kunden oft schuldig. Recherche über Benutzerfreundlichkeit, Komplexität der Licht-, Kamera- oder Materialeigenschaften, Materialverfügbarkeit durch online verfügbare, auch kostenlose, Bibliotheken oder Tutorials sind im Internet sehr aufwendig. Es gibt neben den eigentlichen Herstellerseiten zahlreiche Foren, Webseiten oder Dokumente, die alle gesichtet und anschließend sortiert werden müssen. Auch die Literatur befasst sich meist nur mit jeweils einem dieser Systeme, dokumentiert aber keine Vergleiche oder Aufstellung, welches System sich für welche Visualisierung eignet.

Benutzerfreundlichkeit und Kosten sind aber nur zwei der zu bewertenden Faktoren, mit denen Hersteller werben. Besonders in den Produktbeschreibungen der neueren Rendsystemen ist immer öfter das Wort „physikalische Korrektheit“ zu finden. Diese Physikalisch Korrektheit wird mit Aussagen begründet, dass Licht, Schatten, Kamera- und Materialeigenschaften mit physikalischen Formeln berechnet werden. Einfach formuliert heißt das, dass bei selben Kameraeinstellungen, richtige Größe der Modelle, ähnlichen Lichtsituationen und Materialien ein Rendering annähernd einer echten Fotografie entspricht und damit ein fotorealistisches Rendering produziert wird. Leider fehlen auch hier der Nachweis und die Vergleichsmöglichkeit, welches dieser Systeme die Anforderung wirklich erfüllt.

Eine einfache Methode all diese Kriterien, hauptsächlich aber die Qualität eines Rendsystems zu überprüfen, ist der Vergleich untereinander - und vor allem, besonders im Bezug auf die physikalische Korrektheit, mit einer Realfotografie. Werden die Bilder unabhängig voneinander betrachtet, fallen Unterschiede oft nicht direkt auf. Liegen die Bilder direkt nebeneinander, sei es gedruckt oder am Bildschirm, sind die Unterschiede wesentlich deutlicher zu erkennen.

Solche Vergleiche existieren kaum, obwohl sie besonders für Firmen die Entscheidungsgrundlage für eine Investition in ein Rendsystem bilden können. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll eine solche Methodik mit zwei verschiedenen Rendsystemen und einer Fotografie durchgeführt und dokumentiert werden.

1.3 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll die Benutzerfreundlichkeit und Qualität, vor allem aber die physikalische Korrektheit zweier Rendsysteme geprüft und verglichen werden.

Die Wahl der beiden zu untersuchenden Rendsysteme fiel auf V-Ray der Chaos Group und Maxwell Render der Firma Next Limit Technologies. Diese beiden Systeme

sollen laut Hersteller physikalisch korrekt arbeiten und durch hohe Benutzerfreundlichkeit und Berechnungsgeschwindigkeit schnell fotorealistic Bilder liefern. V-Ray gilt bereits als etabliertes Rendersystem, das nicht nur in Bereich des Einzelrendering, sondern auch in Animationen angewendet wird. Das von der Chaos Group entwickelte System ist durch seine schnellen Berechnungszeiten sehr anerkannt. Maxwell Render ist bekannt für seine realistische Lichtberechnung und den daraus resultierenden fotorealistischen Ergebnissen. Dieses System wird besonders in der Architektur und der Produktvisualisierung angewendet.

Der Hauptaugenmerk des Vergleichs ist die viel beworbene physikalische Korrektheit. Um nicht nur zwischen den beiden Rendersystemen vergleichen zu können, wird eine Fotografie erstellt, wodurch Materialeigenschaften, genaue Licht- und Raumsituation bekannt sind. Diese Referenzfotografie ist zu hundert Prozent physikalisch korrekt und dient im Bezug auf den Fotorealismus als Referenz.

Es wird ein Konzept erarbeitet, das die Grundlage für einen objektiven Vergleich bietet. Hierfür wird der Aufbau für das Szenario, die Lichtverhältnisse und Materialien geplant und festgelegt. Nach einem Realaufbau und dem Erstellen des Referenzfotos erfolgt dann das Umsetzen des Aufbaus in 3D. Nach Erstellung der beiden Renderings erfolgt der Vergleich.

Im Vordergrund steht hierbei der visuelle Unterschied der beiden Renderings und der Referenzfotografie. Im Idealfall sollten diese, aufgrund der ähnlichen Ausgangssituationen, nicht sehr gravierend sein.

Ziel ist es daher, die entstandenen Bilder zu analysieren und die Unterschiede aufzuzeigen. Während der Erstellung der Renderings wird die Arbeitsweise und Arbeitsaufwand dokumentiert. Dabei geht es in erster Linie um die Unterscheidung der beiden Rendersysteme in ihrer Benutzerfreundlichkeit. Eine einfache und intuitive Gestaltung von Software erspart den Anwendern Zeit in der Einarbeitung und steigert die Benutzerfreundlichkeit. Für aufgetretene Probleme wird ebenfalls eine Beschreibung erfolgen und, sofern möglich, ein Lösungsansatz gefunden. Als Abschluss des Vergleichs werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Fazit formuliert.

Abschließend erfolgt eine ausführliche Beschreibung des Rendersystems Maxwell Render und dessen Anwendung zur Erstellung eines qualitativ hochwertigen, fotorealistischen Renderings.

1.4 Organisation der Arbeit

Nach der, auf den letzten Seiten erfolgten, Einführung in das Thema, beschreibt das nächste Kapitel den heutigen Stand der Technik. Hier wird die Literatur zum Thema untersucht und bekannte Problematiken bezüglich der physikalischen Korrektheit in der Computergrafik beschrieben. Im Kapitel 3 werden die Grundlagen der Fotografie und der Rendertechnik geschaffen und ermöglichen unerfahrenen Lesern diese Arbeit zu verstehen.

Im Kapitel 4 erfolgt die Konzeptionierung des Rendervergleichs. Neben der Idee

und der möglichen Umsetzung, werden insbesondere die Anforderungen an die Vorgehensweise und die Vergleichskriterien beschrieben. Im Kapitel 5 erfolgt die Umsetzung des Konzepts. Eine Beschreibung der praktischen Umsetzung der Fotografie und der 3D-Szenen zeigt die wichtigsten Aspekte auf. Eine genaue Beschreibung der Anwendung und der aufgetretenen Probleme vervollständigt dieses Kapitel. Abschließend werden im 8 die Ergebnisse im direkten Vergleich dargestellt. Unterschiede zwischen den beiden Renderings und der Realfotografie werden erörtert. Ein Fazit schließt dieses Kapitel ab.

Das 7. Kapitel fasst die wichtigsten Aspekte des Rendersystems Maxwell Render der Firma Next Limit Technologies zusammen. Allgemeine Funktionen und die wichtigsten Features werden beschrieben.

Als Abschluss der Arbeit werden die Ergebnisse noch einmal aufgegriffen und zusammengefasst. Es erfolgt ein Ausblick auf die möglichen, zukünftigen Schritte.

Kursiv geschriebene (Fach)wörter werden im Glossar, sofern nicht bereits im Fließtext erfolgt, näher erklärt.

1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die physikalische Korrektheit und der damit verbundene Fotorealismus gewinnen in der 3D-Visualisierung immer weiter an Bedeutung. Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung der physikalischen Korrektheit zweier Rendersysteme, Maxwell Render und V-Ray, im direkten Vergleich mit einer Referenzfotografie.

Im folgenden Kapitel wird auf den Fotorealismus und die physikalische Korrektheit im Bereich der computergenerierten Bilder eingegangen. Es werden die Anwendungsgebiete und die Möglichkeiten, die diese Art der Visualisierung ermöglicht, aufgezeigt. Dabei wird insbesondere auf die Material- und Lichteigenschaften eingegangen, die ausschlaggebend für die Qualität eines Renderings sind.

Die auf dem Markt bekannten Rendersysteme Maya Software, Mental Ray, V-Ray und Maxwell Render werden zur Übersicht kurz beschrieben. Dabei werden die wesentlichen Unterschiede, wie die Berechnung von indirektem Licht, aufgezeigt.

Im dritten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen für das Verständnis dieser Arbeit geschaffen. Die Fotografie ist ein kreatives Medium, das durch die physikalischen Grenzen eingeschränkt wird. Doch mit der Entwicklung der digitalen Technik werden selbst diese Realabbilder immer häufiger manipuliert. Ein computergeneriertes Bild dagegen muss explizit so beeinflusst werden, damit es annähernd fotorealistisch ist. Wichtig dabei sind die Verfahren, die zur Berechnung der finalen Bilder genutzt werden. Es werden in diesem Bezug der Linear Workflow und der Unterschied zwischen biased/unbiased Rendersystemen beschrieben.

Das im vierten Kapitel formulierte Konzept ist die Basis für die spätere Umsetzung der Fotografie und der Renderings. Zunächst wird auf Maxwell Render und V-Ray eingegangen. Besonderer Augenmerk liegt dabei auf den Renderergebnissen, die auf den Internetauftritten der Hersteller öffentlich präsentiert werden und einen

Rückschluss auf die häufigsten Anwendungsgebiete der Systeme ermöglichen. Die formulierten Anforderungen über Modelle, Materialien, der Erstellung der Fotografie und den abschließenden Vergleich bilden die Basis für die Methodik dieser Arbeit.

Im Kapitel Szenario erfolgt die Umsetzung des Konzepts. Es sind verschiedene Lichtsituationen für die Referenzfotografie aufgenommen worden. Aus diesen wird anhand der Anforderungen eine passende Referenzfotografie ausgewählt. Anschließend wird auf das Aufarbeiten der 3D-Modelle eingegangen. Nach Aufbau des Szenarios werden die Kameras der beiden Rendersysteme angepasst, Materialien erstellt und zugewiesen sowie die Szene entsprechend ausgeleuchtet. Als letzten Arbeitsschritt werden im Szenario die Rendersettings der beiden Rendersysteme optimiert.

Der eigentliche Vergleich zwischen Fotografie und Rendering findet im sechsten Kapitel statt. Hier wird explizit auf die visuellen Unterschiede zwischen Fotografie und Rendering eingegangen und aufgezeigt, wie physikalisch korrekt die Systeme lediglich durch die Eingabe der Realparameter arbeiten. Es wird festgestellt, dass ohne weitere Beeinflussung das Renderergebnis von Maxwell Render physikalisch korrekter ist. Mit einer konkreteren Weiterverarbeitung bietet aber auch V-Ray die Möglichkeit ein solches Ergebnis zu generieren. Im Bezug auf die Anwendbarkeit der beiden Systeme ist Maxwell Render durch seine Realitätsnähe einfach zu verstehen. V-Ray ist dagegen ein äußerst komplexes System.

Das siebte Kapitel befasst sich mit dem Rendersystem Maxwell Render. Es werden ausführlich die Besonderheiten des Kamerasystems, der Licht- und Materialeigenschaften beschrieben. Diese bestehen alle aus realen Parametern, die entsprechend physikalischer Formeln simuliert werden. Die Key-Features des Rendersystems ermöglichen das erstellen von Grasflächen, die vollständige Veränderung der Lichtsituation, selbst nach Abschluss des Rendervorgangs und das Simulieren von Blendefekten.

Abschließend erfolgt eine ausführliche Zusammenfassung der Arbeit und ein Ausblick auf mögliche, zukünftige Entwicklungen.

Kapitel 2

Stand der Technik

Im vorherigen Kapitel erfolgte eine Einführung in das Thema dieser Arbeit. Sie beinhaltet eine Motivation, eine Beschreibung der Problemstellung und die Ausformulierung der Ziele die im Verlauf dieser Arbeit erreicht werden sollen. Abschließend erfolgte noch eine kurze Zusammenfassung über den Aufbau dieser Arbeit.

In diesem Kapitel wird die Bedeutung Fotorealismus und physikalische Korrektheit im Bezug auf computergenerierte Bilder erläutert. Es werden die heutigen Anforderungen und Umsetzung an fotorealistische computergenerierter Bilder beschrieben und ein Bezug zur damit verbunden physikalischen Korrektheit eines Rendersystems hergestellt. Im darauf folgenden Abschnitt werden einige Renderer vorgestellt. Die Vorstellung beinhaltet eine kurze Beschreibung des Rendersystems und die vorrangigen Anwendungsbereiche.

Das Kapitel Grundlagen erörtert die wichtigsten Grundlagen die für das Verständnis dieser Arbeit notwendig sind.

2.1 Einleitung

Fotorealismus wird im Bezug auf computergenerierte Bilder immer wichtiger, da in immer mehr Realfotos durch 3D-Visualisierungen ersetzt oder ergänzt werden. Ob im Bereich der Produkt- und Architekturvisualisierungen oder Film- und Werbeproduktionen; computergenerierte Bilder machen aufwendige Foto- und Videoaufnahmen mit all den Faktoren, die dafür nötig sind, nahezu überflüssig. Der Betrachter kann hierbei immer häufiger keinen qualitativen Unterschied zwischen Realaufnahme und Rendering erkennen.

Unterschiedlichste Faktoren beeinflussen die Fotorealität eines Renderings. Modelle mit bestimmten Materialien und Beleuchtung sind Faktoren die in einer 3D-Szene miteinander interagieren. Sie sind der Grundstein für ein qualitativ hochwertiges Ergebnis. Um allerdings aus einer computergenerierten Szene ein Bild berechnen zu können, wird ein Rendersystem benötigt. Auch hier sind die Verfahren, die das System zur Bildsynthese nutzt, wichtig. Nicht jedes Rendersystem arbeitet physikalisch korrekt, sondern vermittelt nur den visuellen Eindruck von Fotorealismus.

2.2 Rendering - Fotorealismus und physikalische Korrektheit

Physikalische Korrektheit und Fotorealismus sind zwei Faktoren, die sich in der Computergrafik häufig gegenseitig bedingen. Damit ein Rendering fotorealistisch wird, setzt der Betrachter eine physikalische Korrektheit voraus - ist ein Bild physikalisch korrekt, erfüllt es in den meisten Fällen den Anspruch des Fotorealismus.

Fotorealistische Renderings werden heute in den verschiedensten Arten verwendet. Gründe für diese Entwicklung gibt es viele. Computergenerierte Bilder und Animationen ermöglichen den Machern Dinge zu visualisieren, die so in der Natur überhaupt nicht existent sind. Bewegungsabläufe können beliebig erstellt und manipuliert, Vegetationen in den fantasievollsten Ausführungen und Katastrophen höchsten Ausmaßes erstellt werden, ohne dabei durch die physikalischen Grenzen der realen Film- und Fotoproduktion behindert zu werden. Im besten Fall wird das Ziel der Filmproduzenten erreicht und der Betrachter bemerkt den Unterschied zwischen computergenerierter Welt und der Realität nicht [Weio7], obwohl sich der größte Teil der Betrachter darüber im klaren ist, dass die Darstellungen in dieser Form nicht der Wirklichkeit entsprechen.

Neben der Möglichkeit illusionistische Dinge zu visualisieren, ist die Computergrafik ein Werkzeug, das beispielsweise Produktfotografie inzwischen größtenteils ersetzt. Auch in diesem Anwendungsgebiet zahlt es sich aus, dass die Objekte nicht real existent sein müssen. Autos, Küchen und zahlreiche andere Produkte werden heute mithilfe von 3D-Software konstruiert und sind daher oft als 3D-Modell zur Weiterverarbeitung verfügbar. Szenen können jederzeit bearbeitet und gegebenenfalls verändert werden; zur gewünschten Visualisierung sind Firmen nicht auf die Existenz oder die Eigenschaften eines realen Objekts angewiesen und können jederzeit etwas an ihrer Visualisierung ändern, ohne aufwendige Fotoshootings oder Filmaufnahmen zu wiederholen.

So greift beispielsweise auch der schwedische Möbelhersteller IKEA auf computergenerierte Szenen zurück. Die Möglichkeiten, die sich hier bieten, sind mit denen einer real abfotografierten Küchen- oder Wohnzimmersituation nicht zu vergleichen. Die Szenen können zu beliebigen Zeitpunkten, auch Monate nach erster Visualisierung, geöffnet und manipuliert werden [RS07]. Der Fotografie sind an diesem Punkt ganz deutlich Grenzen gesetzt.

Eine solche Visualisierung muss einer Fotografie möglichst ähnlich sein, obwohl häufig keine Vergleichbare Referenz vorhanden ist. Computergenerierte Bilder neigen dazu äußerst perfekt und sehr sauber zu sein, was in finalen Bildern als unnatürlich empfunden wird. Wichtig, wie auch in den Renderings für die IKEA Produkte, sind Details, die einem Bild etwas Leben verleihen [RS07][Weio7], denn selbst in aufgeräumten Räumen liegen Bücher nicht exakt übereinander, es stehen Gläser, Obstschalen oder Bilderrahmen herum.

Neben solchen Details sind für den Fotorealismus eines computergenerierten Bildes besonders die Material- und Lichtsimulation bedeutend.

2.2. Rendering - Fotorealismus und physikalische Korrektheit



Abbildung 2.1: Ein (un)perfektes Rendering eines Salons, das durch Details mit Leben gefüllt wird | ©Benjamin Brosdau, www.purerender.com¹

¹Bildquelle: <http://www.maxwellrender.com/index.php/gallery/images/interior-design/> | 03.01.2013

2.2.1 Material und Texturen

Material und Texturen sind maßgeblich für die Qualität eines künstlichen Bildes. Sie sind der Wiedererkennungswert eines Objekts und haben zahlreiche Eigenschaften. Ob Farbe, Struktur oder Glanz - das Material hat in jeglicher Hinsicht Einfluss auf seine Umgebung.

Oberflächeneigenschaften, oder auch Shader, können mit den verschiedensten Eigenschaften erstellt werden. Während einfarbige Materialien einfach durch das Wählen der entsprechenden Farbe schon fast fertig erstellt sind, werden Oberflächen mit Strukturen über Texturen definiert. Texturen sind 2D-Bilder und dienen besonders bei einfachen Objekten der Imitation eines bestimmten Erscheinungsbildes, beispielsweise einer Holzmaserung.

Neben der Materialgrundfarbe muss auch die Glanzeigenschaften des Materials beeinflusst werden. Auch diese Eigenschaft kann über eine 2D-Bilddatei, eine sogenannte Specular-Map, beeinflusst werden. Eine Specular-Map ist im einfachsten Fall ein Schwarz-Weiß Abbild der glänzenden und nicht glänzenden Flächen auf Objekten, wobei die Weiß als glänzender Teil und Schwarz als matter Teil dargestellt wird. Wie schon bei der Farbe kann auch einfach die Glanzeigenschaft des kompletten Materials, anstelle einer solchen Map, eingestellt werden.

Je glänzender ein Material ist, desto deutlicher spiegelt es seine Umgebung. Fehlen solche Einspiegelungen der Umgebung, fällt das einem Betrachter in den meisten Fällen auf. Spiegelungen erwecken, wenn sie vorhanden sind, den Eindruck von Fotorealismus, da sie in der Natur vorkommen [Weio7].



Abbildung 2.2: Ein Rendering von verschiedenen Materialien auf einem gleichen Objekt | ©Ludvík Koutný ²

Ein hoher Detailgrad eines Modells geht immer zu Kosten der Berechnungsdauer. Direkt sichtbare Details müssen ausmodelliert werden. Um die restlichen Unebenheiten auf ein Objekt zu projizieren, ohne diese ausmodellieren zu müssen, kommen sogenannte Bump- oder Displacement-Maps zum Einsatz. Diese Maps funktionieren ähnlich wie die zuvor beschriebenen Specular-Maps. Doch bei Displacement- und

²Bildquelle: <http://www.ronenbekerman.com/making-of-esherick-house-part-2/> | 04.01.2013

Bump-Maps wird nicht die Glanzeigenschaft, sondern der Struktureindruck eines Materials bestimmt. Um einen höheren Detailgrad zu simulieren nutzt man Displacement-Maps. Dieses Mapping verschiebt während des Rendervorgangs tatsächlich die Oberflächenpunkte nach oben oder unten. Das Bump-Mapping simuliert ebenfalls einen höheren Detailgrad, verschiebt dabei aber nicht die Oberflächenpunkte [Weio7]. Als weitere Möglichkeit die Tiefenwirkung eines Materials zu simulieren ist eine sogenannte Normal-Map. Diese Art des Mappings simuliert durch verstärkte Schattierungen der Beleuchtung einen höheren Detailreichtum eines Modells [Kul12].

Die beschriebenen Funktionen sind nur ein Teil der zahlreichen Materialeigenschaften. Auch Transparenz oder Leuchtstärke eines Materials kann über dessen Eigenschaften manipuliert werden.

Auch hier gilt, dass Material nicht sauber und perfekt sein sollte. Kratzer, Staub, Dreck oder Unregelmäßigkeiten in Strukturen sind Faktoren die nahezu auf jedem real Material vorhanden sind.

2.2.2 Licht

Bei einer Fotografie interagieren Objekte und Materialien mit den realen Lichtquellen. Die Fotografen können je nach Belieben die Lichtsituation verändern und sehen direkt die Veränderung der Bildwirkung. Doch in der Computergrafik ist das, trotz aller Möglichkeiten, in dieser Form nicht möglich. Wird die Lichtsituation in einer 3D-Szene verändert, müssen diese Veränderungen zunächst gerendert werden. Dieses Testrendering kann, je nach Szenenkomplexität, auch einiges an Zeit kosten [RS07]. Zwar verfügen einige Rendersysteme über die Funktion, Bilder in Echtzeit darstellen zu können, doch dies erfolgt in vielen Fällen nicht in der Qualität die ein Testrendering haben würde.

Die Beleuchtung einer Szene nimmt erheblichen Einfluss auf deren Fotorealismus. Um echte Beleuchtungsmodelle simulieren zu können, liefern Visualisierungssoftware und Rendersysteme verschiedenste Arten von Beleuchtungsmodellen und Lichtquellen. Der Anwender kann zum Beispiel zwischen Beleuchtungsmodellen wie der Nachbildung von Sonne und Himmel oder einer Beleuchtung anhand eines *HDRIs*, das sogenannte Image Based Lighting, wählen. Alternativ können auch Lichtsets durch verschiedenste, einzelne Lichtquellen, generiert und so optional die Realität nachgebildet oder eine völlig neue Lichtsituation geschaffen werden. Diese einzelnen Lichtquellen ermöglichen unter anderem direkte oder indirekte Beleuchtung, harte oder weiche Lichtkanten, sowie verschiedene Lichtstärken und Lichtfarben [Sch10]. Auch die Kombination der verschiedenen Lichtarten ist möglich.

In Szenen, in denen Objekte beleuchtet werden, entstehen in der Realität immer Schatten. Abhängig von der Lichtrichtung, Lichtstärke und Position der Lichtquelle haben diese bestimmte Parameter. Ähnlich wie bei Spiegelungen sind Schatten ein wesentlicher Bestandteil des Fotorealismus.

Die Lichtsimulation seitens der Software erfolgt nicht immer auf physikalischen Grundlagen. Einige Systeme vermitteln dem Betrachter lediglich den Eindruck von korrekten Beleuchtungsmodellen, ohne dabei auf physikalische Gesetze Wert zu legen [Weio7].

Einige Rendersysteme dagegen haben sich der physikalisch korrekten Simulation von Licht, zum Teil auch der korrekten Simulation von Materialeigenschaften, verschrieben. Und obwohl die Simulation dieser Faktoren bei jedem Rendersystem anders funktionieren und nicht unbedingt auf physikalischen Grundlagen basieren, liefern angeblich die Meisten die gleiche, fotorealistische Qualität. Hochwertige Renderings, die auf den Internetseiten der Hersteller präsentiert werden, sollen dieses Versprechen beweisen [Wito9]. Zwar gibt es zahlreiche literarische Texte über den Fotorealismus, doch die damit verbundene physikalische Korrektheit wird häufig nicht erwähnt.

Ein Rendering kann, obwohl Fotorealismus und physikalische Korrektheit eng miteinander verbunden sind, realistisch wirken, ohne dabei wirklich physikalisch korrekt zu sein. Die Unterschiede zwischen einem Rendering und der Realität sind sehr subtil. Einem Betrachter, der nicht gezielt nach physikalischen Fehlern sucht, werden solche auch nicht auffallen, sofern sie nicht gravierend sind. Zudem ist die Wahrnehmung dieses „falschen Fotorealismus“ sehr subjektiv. Für den Betrachter fehlt häufig die Vergleichsmöglichkeit um die Unterschiede zwischen physikalisch korrektem Fotorealismus und dem abgebildeten „Fotorealismus“ zu erkennen.

2.2.3 physikalische Korrektheit

Bei der Aufnahme einer Fotografie sind die Parameter der Kamera, Lichtsituation und Umgebungseinflüsse bekannt. Die physikalische Korrektheit eines Rendersystems zeigt sich vor allem dann, wenn durch die einfache Übertragung dieser Parameter ein annähernd ähnliches Abbild der Fotografie entsteht.

Einige Rendersysteme ermöglichen beispielsweise die Eingabe von Brennweite, Blende, Belichtungszeit, ISO-Empfindlichkeit, aber auch die Angabe der Intensität einer Lichtquelle in physikalischen Größen wie Watt oder Lumen. Diese und weitere Parameter machen die physikalische Korrektheit eines Rendersystems aus. Doch die Möglichkeit einer solchen Eingabe ist keine Garantie, dass die Parameter auch wirklich korrekt simuliert werden. Je nach Rendersystem unterscheiden sich die Verfahren zur Bildsynthese (siehe Kapitel 3, Grundlagen), die damit resultierenden Renderergebnisse und der Grad der physikalischen Korrektheit.

2.3 Renderer

Eine 3D-Szene wird meist in einer speziellen 3D-Visualisierungssoftware erstellt. Hier werden die Modelle erstellt und zur Weiterverarbeitung mit entsprechenden Materialien versehen und abschließend ausgeleuchtet, um ein möglichst hochwertiges Bild generieren zu können. Die Bildberechnung einer solchen 3D-Szene erfolgt durch Renderer. Diese Art von Software berechnet anhand von zuvor getätigten Einstellungen für Oberflächen-, Licht- und Rendereigenschaften das finale Bild [Sch10].

Nachfolgend werden vier der verschiedensten Rendersysteme kurz beschrieben.

2.3.1 Maya Software

Maya Software ist ein in Autodesk Maya integrierter Renderer. Die Funktionen von Autodesk Maya und der Maya Software Renderer wurden aufeinander abgestimmt. Das System kann entsprechend in Maya generierte Geometrien, Partikel- und Flüssigkeitssimulationen sowie Paint Effects berechnen³. Indirekte Beleuchtungssituationen dagegen können von dem Rendersystem nicht berechnet werden. In folge dessen wird in der Branche das bereits integrierte Rendersystem äußerst selten verwendet [Sch10].

2.3.2 Mental Ray

Mental Ray ist eine von Mental Images entwickelte Rendersoftware. Die Software ist bereits in den führenden 3D-Visualisierungssoftware integriert und muss daher nicht gesondert gekauft werden. Die Mental Ray Standalone Software ist ein Konsolen basierter Renderer, der lediglich dafür exportierte Mental Ray Dateien (*.mi)⁴ verarbeiten kann.

Das Rendersystem ermöglicht die Erstellung komplexer, fotorealistischer Bildern. Auch das generieren stilistischer Renderings, beispielsweise comicartige Szenen, werden durch die Verwendung dieses Systems ermöglicht. Die Lichtsimulationsarten von Mental Ray ermöglichen indirekte Beleuchtung und verschiedenste andere Anwendungsgebiete. Jedes dieser Lichtsimulationsverfahren kann je nach Bedarf ausgewählt und entsprechend manipuliert werden. Beliebig veränderbare Materialien vervollständigen das Portfolio des Systems.

Mental Ray kommt häufig zur Generierung hochwertiger Spezialeffekte, Animationen oder Spielumgebungen zum Einsatz. Zudem wird das System in Produkt- und Architekturvisualisierung verwendet. Das System ist aufgrund der vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten bei den Anwendern äußerst beliebt und entsprechend weit verbreitet. Zudem macht diese Vielseitigkeit das System äußerst komplex. Um mit der Verwendung von Mental Ray entsprechend das gewünschte Ergebnis zu erreichen, müssen entsprechende Einarbeitungszeiten eingeplant werden [Wit09].

³Quelle: <http://goo.gl/Rs1dn> Autodesk Maya User Guide | 30.12.2012 15 Uhr

⁴Quelle: <http://www.nvidia-arc.com/products/mental-ray/availability.html> | 30.12.2012 15.25 Uhr

2.3.3 V-Ray

V-Ray⁵ ist ein Rendersystem, das als Plug-In in dafür vorgesehene 3D-Visualisierungssoftware genutzt werden kann. Auch hier gibt es die Möglichkeit spezielle V-Ray Szene-Datei durch eine Konsolen basierende V-Ray Standalone zu rendern, um so zusätzlich Renderzeit einzusparen.

V-Ray generiert qualitativ hochwertige Ergebnisse. Die Lichtsimulation des Systems basiert auf der Realität und ermöglicht so das Erstellen qualitativer Renderings mit komplexen Lichtsituationen. Auch die Materialien, die von V-Ray zur Verfügung gestellt werden, ermöglichen dem Anwender die Erstellung realistischer Oberflächen, die maßgeblich Fotorealität eines Renderings beitragen. Der Rendervorgang soll, trotz komplexer Szenen, im Vergleich zu anderen Systemen nicht übermäßig viel Zeit in Anspruch nehmen⁶. Das etablierte Rendersystem wird häufig im Rahmen der Automobil- und Architekturvisualisierung, sowie der Generierung von hochwertigen Spezialeffekten oder Animationen genutzt. V-Ray ist ein System, das sich unter anderem durch geringe Renderzeiten und qualitativ hochwertigen Ergebnissen einen Namen gemacht hat.



Abbildung 2.3

Preis

Das von der Chaos Group entwickelte Rendersystem V-Ray ist als Plug-In für verschiedene 3D-Visualisierungsprogramme verfügbar. Die Standardlizenz kostet \$1350 beziehungsweise €970 und ist an die dafür vorgesehene 3D-Software wie Autodesk Maya oder Adobe 3D Studio Max gebunden.

2.3.4 Maxwell Render

Die Maxwell Rendersuite ist ein Produkt der Firma NextLimit Technologies. Das Softwarepaket enthält Standalone-Software und Plug-Ins für Post-Production und 3D-Modellierungssoftware.

Maxwell Render⁷ ist Rendersystem, dessen Aufbau realen, physikalischen Eigenschaften und Größen entspricht. Der Renderer ist bekannt für höchst qualitative Render-

⁵Bildquelle V-Ray Logo: <http://vray.info/news/article.asp?ID=484> | 10.12.2012

⁶http://www.chaosgroup.com/en/2/vray_maya.html | 30.12.2012 16.50 Uhr

⁷Bildquelle Maxwell Render Logo: <http://www.maxwellrender.com> | 03.11.2012

ergebnisse, deren Lichtsituation äußerst realistisch simuliert werden. Begründet wird diese Eigenschaft mit der anhand physikalischer Formeln erfolgenden Berechnung des Lichts. Auch das Materialsystem von Maxwell Render ist sehr realitätsnah und ermöglicht die Erstellung von hochwertigen Materialien. Die Materialien können über den Standalone-Material Editor als Maxwell Material gespeichert, und so eine eigene Materialsammlung erstellt werden kann.

Der Rendervorgang erfolgt im Gegensatz zu vielen anderen Rendersystemen schrittweise. Mit jedem abgeschlossenen Schritt, dem Sampling Level, wird das Bild klarer. [Wit09] Durch die fotorealistische Simulation von Licht und Materialien wird Maxwell Render vorwiegend im Bereich der Produkt-, Innenarchitektur- und Naturvisualisierung angewendet.



Abbildung 2.4

Preis

Maxwell Render von NextLimit Technologies kostet als Standardlizenz \$995 beziehungsweise €895, die kommerziell nutzbar ist. Diese Standardlizenz beinhaltet Standalone-Software, das Maxwell Render Studio und den Material Editor, die das Erstellen und Verarbeiten von 3D-Szenen und Materialien ermöglicht, sowie Plug-Ins für die gängigsten Programme zur 3D-Visualisierung und Post-Production. Maxwell Render ist durch diese Plug-Ins mit unter anderem Autodesk Maya und Adobe 3D Studio Max, Cinema4D, Nuke by the Foundry und Adobe Photoshop nutzbar.

2.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde der heutige Stand der Technik beschrieben.

Es wurde erläutert, dass Fotorealismus im Bezug auf computergenerierte Bilder ein viel beschriebenes und von den Herstellern versprochenes Kriterium ist. Fotorealismus bedingt zahlreiche Faktoren, die während einer Visualisierung beachtet werden müssen. Die beschriebenen Eigenschaften von Material und Lichtsituation wirken sich positiv oder negativ auf die natürliche Wirkung eines Renderings aus. Fotorealismus eines Renderings ist ein subjektiver Eindruck, der erst kritischer betrachtet werden kann, wenn eine Vergleichsmöglichkeit gegeben ist. Die dabei auffallenden Unterschiede sind das Maß der physikalischen Korrektheit eines Rendersystems.

Desweiteren wurden vier der bekannten Rendersysteme kurz beschrieben. Die Beschreibung der Renderer Maya Software, Mental Ray, V-Ray und Maxwell Render enthalten Informationen, ob sie lediglich als Plug-In oder mit einer zusätzlichen Standalone-Software ausgestattet sind. Eine Kurzbeschreibung über die Funktionen und

Möglichkeiten der Rendersysteme ermöglichen einen groben Überblick. Zudem werden die vorrangigen Anwendungsgebiete aufgezeigt.

Im folgenden Kapitel werden die nötigen Grundlagen vermittelt, die unerfahrene Leser für das Verständnis dieser Arbeit benötigen. Als Grundlage wird zunächst die Fotografie, anschließend die 3D-Visualisierung kurz beschrieben.

Kapitel 3

Grundlagen

Im vorherigen Kapitel erfolgte eine Beschreibung der jetzigen Stand der Technik im Bereich der Erstellung fotorealistischer computergenerierter Bilder und die dazu nötige Rendersoftware.

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zum Verständnis der folgenden Kapitel vermittelt. Die Fotografie und die wichtigsten Aspekte des Rendervorgangs werden erläutert. Leser, die über diese Themen im Bilde sind, können dieses Kapitel überspringen und das Lesen mit folgenden Kapitel 4, der Konzeptionierung, fortsetzen.

Im nächsten Kapitel wird ein Konzept erarbeitet, indem Anforderungen und Ziele an den finalen Vergleich und dessen Umsetzung beschrieben werden. Danach erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse und eine detaillierte Beschreibung über die Software Maxwell Render.

3.1 Einleitung

Die Weiterentwicklungen der Medien und der technischen Möglichkeiten waren in den letzten Jahren enorm. Digitale Spiegelreflexkamera, die es schon zu erschwinglichen Preisen gibt, ermöglichen die Aufnahme zahlreicher Bilder innerhalb kürzester Zeit, Fotografien können direkt am Computer verarbeitet und nachbearbeitet werden. Ein zu dunkles Bild kann ohne größeren Aufwand am Computer aufgehellt, vollständige Umgebungen ersetzt oder die Bildwirkung vollkommen verändert werden.

Durch die Grafische Datenverarbeitung, die besonders in der Filmbranche enormen Anklang gefunden hat, ist es möglich, Szenen in verschiedensten Stilen zu visualisieren. Ob gewollt unrealistisch, die Integrierung von Fantasie in eine realistische Umgebung oder vollständig Fotorealistisch - der digitalen Bildgenerierung sind nur wenige Grenzen gesetzt. Diese Möglichkeiten machen computergenerierte Bilder bei verschiedensten Zielgruppen zu einer oft genutzten Art der Visualisierung.

Heutzutage sind Werbung, Film- und Fernsehproduktionen und gedruckte Bilder geprägt von einem Zusammenspiel zwischen Realität, Computergrafik und der damit verbunden illusionistischer Kreativität. Um dieses Zusammenspiel zu ermöglichen, müssen das Realitätsabbild Fotografie und digitale Szenen erstellt und verarbeitet

3. GRUNDLAGEN

werden.

Um fotografische und computergenerierte Bilder zu erstellen wird die entsprechende Hard- und Software benötigt. Für die Aufnahme eines guten Fotos wird eine gute Kamera verwendet und die Nachbearbeitung erfolgt in spezielle Post-Production Software am Computer. Bei computergenerierten Bildern allerdings wird ausreichend Rechenleistung und bestimmte Software benötigt. Die 3D-Szenen entstehen in dafür entwickelter Visualisierungssoftware, beispielsweise Autodesk Maya oder Autodesk 3D Studio Max. Um aus diesen einfachen, farblosen Szenen ein qualitatives Bild zu berechnen, werden Renderer benötigt.



Abbildung 3.1: Die Visualisierung einer Fantasie: Autos, die schmelzen. Umgesetzt durch computergenerierte Bilder die in eine Fotografie integriert wurden. | ©Souverein¹

¹Bildquelle: <http://www.souverein.com/serie/207/5/1> | 27.01.2013

3.2 Fotografie

Die Fotografie ist schon seit vielen Jahrzehnten ein etabliertes Medium. Schon seit Beginn des „fotografischen Gedächtnisses“ dienten die Aufnahmen als Dokumentationen verschiedenster Situationen. Ob als Kriegsfotografie des zweiten Weltkriegs um 1940 oder der Aufnahme glücklicher Familiensituationen; ohne Aufnahmen dieser Art würden jüngere Generationen verschiedenste Aspekte der Vergangenheit lediglich aus ihren, nur mit Text gefüllten, Geschichtsbüchern kennen. Erst durch diese Möglichkeit der fotografische Aufnahmen ist ein bildliche Darstellung der Vergangenheit und der Gegenwart möglich.

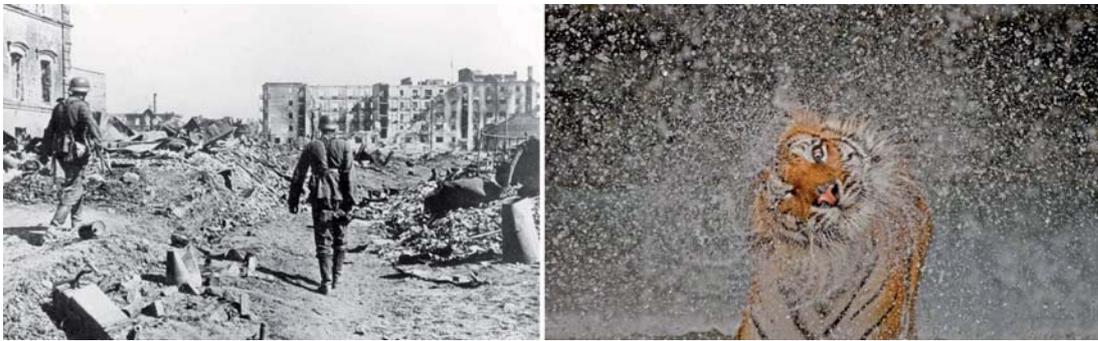


Abbildung 3.2: Links: Eine Dokumentation der Zerstörung durch den zweiten Weltkrieg (um 1942) | ©Sueddeutsche Zeitung² Rechts: Eine moderne Momentaufnahme, die beeindruckt. | ©Ashley Vincent, National Geographic Photo Contest 2012³

Fotografien sind schon jeher genaue Abbilder der Realität. Diese Art der Momentaufnahmen werden stets von ihrer Umwelt beeinflusst. Und obwohl die Fotografie als Abbild der Realität durch Technik und physikalische Gesetze begrenzt ist, machen ausgefallene Motive, verschiedenste Licht- und Schattensituationen oder Blendeffekte die Fotografie zu einem Medium, mit dem kreativ gearbeitet werden kann.

Dieses Medium hat im Laufe der Zeit eine deutliche Entwicklung erlebt. Inzwischen ist die analoge Fotografie größtenteils durch die digitale Technik ersetzt worden. Durch die digitale Art der Aufnahme sind Fotografen nicht mehr auf Filme und deren Entwicklung angewiesen. Moderne Kameras können hunderte von Bildern innerhalb von Sekunden aufnehmen auf integrierten Speichermedium abspeichern. Sie können auf einigen Kameras bereits direkt nach der Aufnahme angeschaut und bewertet werden.

Durch das Betätigen des Kameraauslösers werden mehrere mechanische Vorgänge ausgelöst. Ein Abbild des Motivs wird über eine definierte Zeit, der sogenannten Verschlusszeit, auf die Oberfläche des Sensors projiziert. Die Lichtmenge, die während der Verschlusszeit, auch Belichtungszeit genannt, auf Oberfläche des Sensors

³Bildquellen: <http://goo.gl/jk4Jd> (l) | <http://goo.gl/FtD1b> (r) | 05.01.2013

fällt, wird von der eingestellten Blendenöffnung beeinflusst [Eil11]. Sobald das Licht auf den Sensor trifft, verändern sich auf dessen lichtempfindlicher Oberfläche kleinste Bestandteile, wodurch das Abbild des Motivs festgehalten [Wit09] und gespeichert wird. In der beschriebenen digitalen Fotografie können diese Abbilder auf einem in



Abbildung 3.3: Das Licht fällt durch das Objektiv auf den Sensor | ©Kleine-Fotoschule.de⁴

der Kamera integriertem Speichermedium oder direkt auf einem Computer gespeichert werden. Die heute übliche Nachbearbeitung und Manipulation der Aufnahmen ist ein weiterer Vorteil dieser digitalen Fotografie. Durch die Bearbeitung können Fehler korrigiert, Farbgebungen vollständig verändert, Effekte hinzugefügt oder komplette Hintergründe ausgetauscht werden [Sch10]. Diese Post-Production ist ein Vorgang, das selbst Kennern die Beurteilung, ob ein Foto manipuliert worden ist oder nicht, sehr erschwert. Zwar bleibt die Fotografie in ihrem Ursprung ein Abbild der Realität, doch ob vollständig nachbearbeitete Bilder, die beispielsweise in Katalogen oder Werbebroschüren zu sehen sind, der Wirklichkeit entsprechen ist oftmals mit dem bloßen Auge nicht zu beurteilen.



Abbildung 3.4: Eine Fotonachbearbeitung in ihrer einfachsten Form: Helligkeits-, Farb- und Kontrastkorrektur, Anpassung des Bildausschnitts | ©Thorsten Joachim⁵

⁴Bildquelle: <http://goo.gl/6kucf> | 27.12.2012

⁵Bildquelle: <http://goo.gl/KSF2o> | 27.01.2013

3.3 Rendering

Im Gegensatz zur Fotografie ist die computergenerierte Visualisierung nicht auf reale Objekte oder Lichtquellen beschränkt. Es ist möglich nicht existente Produkte und Fantasiewelten zu visualisieren. Theoretisch ist der Fantasie im Rahmen solcher Visualisierungen keine Grenzen gesetzt. Dennoch ist inzwischen die fotorealistische Nachbildung von diesen, zum Teil nicht existenten, Situationen und Manipulationen echter Aufnahmen besonders gefragt.

Besonders kritisch ist aber die Erstellung von physikalisch korrekten und damit auch Fotorealistischen Renderings. Nach der Erstellung einer 3D-Szene muss diese durch ein Rendersystem zu einem finalen Bild weiterverarbeitet werden. Um ein gutes Ergebnis zu erlangen, müssen neben Materialien, besonders die Lichtsimulation entsprechend erfolgen. Die verschiedenen Rendersysteme verarbeiten die Daten mit unterschiedlichen Verfahren, die teilweise erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des späteren Renderings haben. Diese Verfahren zur Bildsynthese werden stetig weiterentwickelt und teilweise miteinander kombiniert um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen.

Die Beschreibung der Verfahren erfolgt unter dem Gesichtspunkt, dass die beiden Rendersysteme die für diese Arbeit genutzt werden, unterschiedlich Verfahrensmöglichkeiten bieten und sich darin auch unterscheiden. Bei einigen Rendersystemen ist zusätzlich noch ein Linear Workflow nötig, der in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen hat.

3.3.1 Linear Workflow

Der Linear Workflow ist ein Verfahren, das zur physikalisch korrekten Wiedergabe der Helligkeit führt. Die Bilder werden unter Rücksichtnahme ihres Farbprofils und dem Farbprofil des Anzeigeräts berechnet.

Der Linear Workflow ist ein wichtiger Bestandteil bei der Erstellung eines fotorealistischen Renderings. Bedeutsam wurde er vorwiegend unter dem Gesichtspunkt physikalisch korrekte Renderings zu erstellen, das erst in den vergangenen Jahren an Wichtigkeit gewann. Noch vor einigen Jahren war er technisch bedingt nicht korrekt umsetzbar - inzwischen ist er allerdings in den meisten Rendersystemen integriert⁶.

Helligkeiten werden unterschiedlich wahrgenommen. Während das menschliche Auge nicht linear arbeitet, machen Sensoren genau das Gegenteil. Dieser Faktor muss durch die Ausgabe am Monitor ausgeglichen werden. Dieser Ausgleich erfolgt durch eine Gamma-Korrektur, wodurch die Bilder in den Farben dargestellt werden, wie sie auch das menschliche Auge wahrnimmt.

Hierfür müssen drei Faktoren beachtet werden. Die Bilder, die in einer 3D-Szene als Textur dienen, müssen linear sein, um korrekt angezeigt und verarbeitet zu werden. Sind sie das nicht, müssen sie entsprechend linearisiert werden. In den meisten Fällen müssen zusätzlich die Rendereinstellungen gemäß des Linear Workflow angepasst

⁶Quelle: http://www.braverabbit.de/pdf/linearWorkflow_deu.pdf | 30.12.12 18:02 Uhr

⁷Bildquelle: <http://www.davidfleet.com/tutorials/linear-workflow> | 27.01.2013

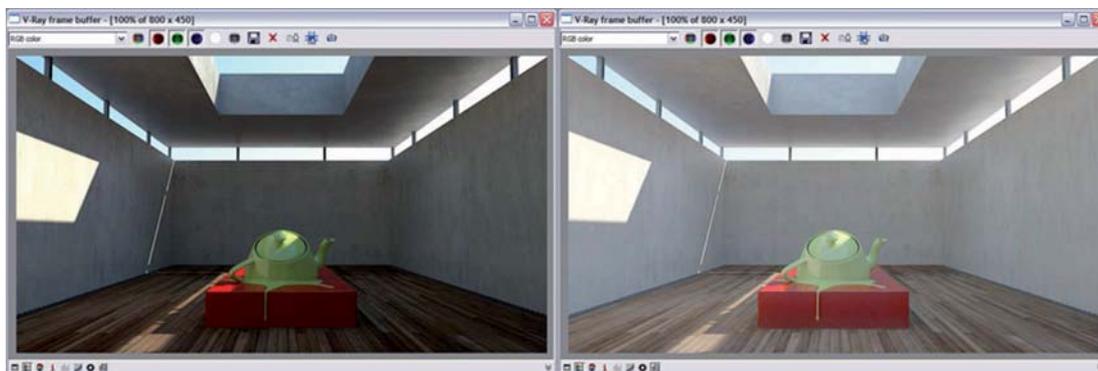


Abbildung 3.5: Der Linear Workflow ist wichtig für die korrekte Wiedergabe (links) der Helligkeit | ©David Fleet⁷

werden (siehe Kapitel 5.3.2, V-Ray: Rendering, Linear Workflow in V-Ray). Das Rendering muss ebenfalls linear in Form eines float-Formats, beispielsweise *.exr, abgespeichert werden. Wird das Bild während des Rendervorgangs betrachtet, muss darauf geachtet werden, dass das Bild in den sRGB Farbraum übertragen wird, und somit auch die direkte Darstellung Gamma-korrigiert erfolgt.

3.3.2 Global Illumination

Die Global Illumination oder GI beschreibt die Interaktion von Objekten und dem darauf treffenden Licht. Die von einer Lichtquelle ausgesendeten Lichtstrahlen treffen auf Objekte, deren Materialien zugewiesen sind. Diese Materialien reflektieren oder brechen diese Lichtstrahlen. Durch diese Abstrahlung werden beispielsweise auch im Schatten liegende Objektteile indirekt beleuchtet und damit im Rendering sichtbar. Global Illumination ist ein wesentlicher Bestandteil eines Renderings. Ein künstliches Bild wird auch als solches erkannt, wenn die durch GI resultierenden Effekte, wie die indirekte Beleuchtung durch Reflexionen und Lichtbrechungen, fehlen.

Photon-Mapping

Bei Photon-Mapping werden Photonen von einer Lichtquelle ausgesendet und im Raum verteilt. Sie stoßen mit Objekten zusammen, bevor sie abprallen und dabei farbliche Referenzen auf den verschiedenen Objekten hinterlassen. Diese Referenz ist immer ein Verweis auf das vorangegangene Objekt, wodurch die Photonen im Raum eine „Spur“ hinterlassen und benachbarte Objekte aufeinander „abfärben“ [Wit09]. Photon-Mapping ist ein wichtiger Bestandteil der Global Illumination und wird aufgrund von Optimierung des Verfahrens häufig mit Ray-Tracing-Algorithmen kombiniert. Wichtig ist, dass die hier genannten Photonen nicht mit den Photonen der Quantenoptik gleichzusetzen sind.

Verfahren wie das Photon-Mapping werden als biased (deutsch verzerrt) Verfahren bezeichnet [Weio7].

Ray Tracing

Ray Tracing (deutsch Strahlenverfolgung) beschreibt die Simulation von den Lichtstrahlen in einer Szene anhand derer die Verdeckung von 3D-Objekten berechnet wird. Diese Strahlen werden von einem bestimmten Ausgangspunkt ausgesendet. Sobald sie auf eine Geometrie treffen wird der Lichtstrahl in Abhängigkeit des zugewiesenen Materials beeinflusst und zum Ausgangspunkt zurückgesendet. Wird der rückläufige Strahl dabei unterbrochen, ist dieser Teil verdeckt und liegt im Schatten. Durch dieses Verfahren werden nur die sichtbaren Objekte, nicht aber die verdeckten Teile, berechnet [Sch10].

Einfache Ray-Tracingverfahren, wie das Distribution Ray Tracing, ermöglichen allerdings keine Berücksichtigung der beschriebenen globalen Beleuchtung. Erst Weiterentwicklungen wie das Path Tracing beziehen diese Art von Beleuchtung in ihre Simulation mit ein [Weio7].

Distribution Ray Tracing

Die Erweiterung des beschriebenen Ray Tracing ist das Distribution Ray Tracing (deutsch diffuses Raytracing). Bei diesem Verfahren werden mehrere Strahlen miteinander verrechnet und so ein Mittelwert bestimmt. Dadurch können Effekte wie weiche Schatten oder (diffuse) Reflexionen auf glänzenden Oberflächen erzielt werden [JP10]. Zusätzlich ist auch die Generierung von Tiefen- und Bewegungsunschärfe und das Antialiasing, in deutsch auch als Kantenglättung bezeichnet, eines Bildes möglich [Weio7].

Distribution Ray Tracing ruft eine hohe Zahl von Strahlen hervor [JP10], die unter Umständen eine hohe Renderzeit nach sich ziehen.

Allerdings kann durch Distribution Ray Tracing keine globale Beleuchtung [Weio7] und die damit verbundenen Effekte berechnet werden. Der Grund hierfür liegt bei dem von von diffusen Materialien bedingte Streulicht. Dieses Streulicht kann durch das Distribution Ray-Tracingverfahren nicht verarbeitet werden⁸.

Path Tracing

Als weitere Entwicklung ist das Path Tracing zu nennen. Erst diese Weiterentwicklung ermöglicht das Berechnen von Lichtstrahlen zwischen diffusen Materialien und dadurch auch die entsprechende Verarbeitung von globalen Beleuchtungen.

Das Path Tracing Verfahren wird auch häufig als Monte-Carlo-Raytracing bezeichnet. Diese Bezeichnung basiert auf der, durch den verwendeten Monte-Carlo-Algorithmus, schrittweisen Annäherung an die Rendergleichung [Scho6]. Während des Path Tracing werden mehrere zufällige Strahlen, ausgehend von der Kamera, durch die 3D-Szene gesendet. Diese werden jedes mal, wenn sie auf ein Objekt treffen, entsprechen der zugewiesenen Materialeigenschaften ge-

⁸Quelle: <http://goo.gl/7Jd8g> | 02.01.2013 15:10 Uhr

brochen, absorbiert oder reflektiert. Nach Auftreffen auf eine Oberfläche wird, sofern er nicht vollständig absorbiert wurde, ein neuer Strahl zur Ermittlung der Licht- oder Schattensituation generiert. Dieser Strahl bewegt sich auf einem Weg (englisch path) durch die Szene.

Die Annäherung an ein gutes Bild ist abhängig von der Anzahl der verwendeten Anfangsstrahlen. Nach Abschluss der Annäherungsberechnung ist das Ergebnis unverzerrt. Die Ursache für das auftretende Bildrauschen ist eine Abweichung, die aus der Näherung entsteht und kann durch verschiedene Verfahren verringert werden.

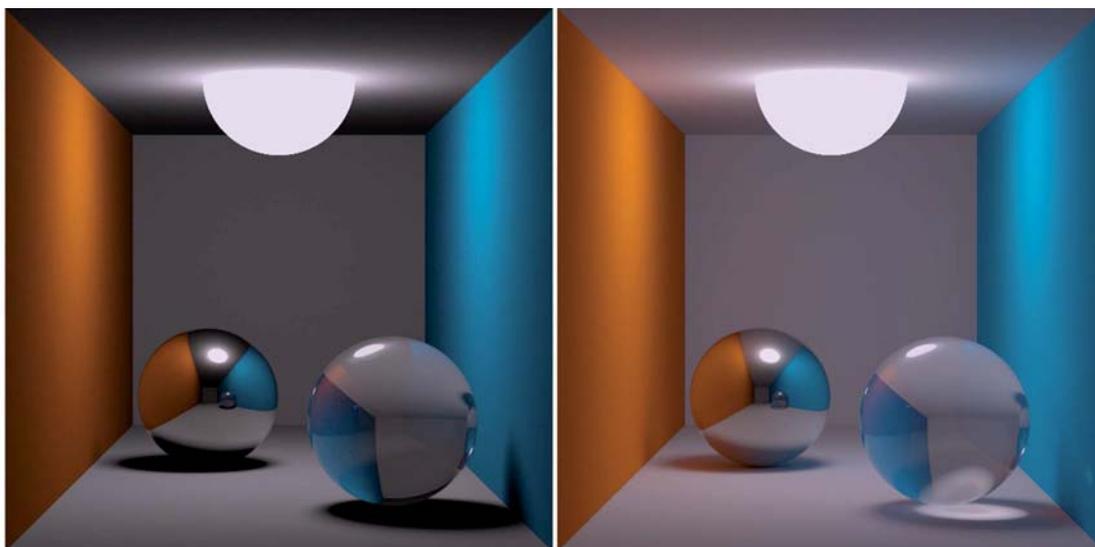


Abbildung 3.6: Links: Bei diffusem Raytracing werden die Lichtstrahlen zwischen diffusen Materialien nicht berücksichtigt | Rechts: Path Tracing dagegen ermöglicht das reflektieren, absorbieren und brechen von Lichtstrahlen | ©Thomas Kabir⁹

Verfahren wie das Path Tracing, die sich einem endgültigen, unverzerrten Ergebnis annähern, werden im Englischen als „unbiased“ bezeichnet [PH10].

3.3.3 biased/unbiased Renderer

Die Produktion eines physikalisch korrekten Bildes bedingt eine genaue und korrekte Berechnung von Licht in einer Szene. Diese Bedingung wird in den meisten Fällen durch unbiased Monte-Carlo-Algorithmen gelöst¹⁰.

Die Art, wie ein unbiased Monte-Carlo-Algorithmus sich durch ein kompliziertes Verfahren der Lösung der Rendergleichung annähert, hat zu Beginn ein sehr ver-

⁹Bildquellen: http://de.wikipedia.org/wiki/Diffuses_Raytracing (l) | 02.01.2013

Bildquelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Path_Tracing (r) | 02.01.2013

¹⁰Quelle: <http://www.indigorenderer.com/what-unbiased-ray-tracer> | 22.01.2013 16.36 Uhr

raushtes Bild zur Konsequenz. Das Bildrauschen, das auch als Varianz bezeichnet wird, nimmt mit der Annäherung immer weiter ab. Die Annäherung an ein ideales Bild kann unendlich weitergeführt werden und muss anhand bestimmter Bedingungen, beispielsweise durch eine Zeitangabe, begrenzt oder bei Erreichen der gewünschten Qualität beendet werden.

Ist die Varianz durch die Berechnung beseitigt, ist das finale Bildergebnis ein korrektes Abbild der Lichtsituation der Szene. Bei biased-Lösungen dagegen ist die Fehlerwahrscheinlichkeit in dem Abbild der Lichtsituation selbst nach Fertigstellung des Rendervorgangs sehr hoch [PH10].

Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei verschiedene Rendersysteme zum Einsatz kommen: V-Ray, als Vertreter eines biased Renderers und Maxwell Render, ein unbiased Renderer. Die auffallenden Unterschiede, sowie Vor- und Nachteile und der Maß der physikalischen Korrektheit der beiden Verfahren werden im Kapitel 6, Ergebnisse beschrieben.

3.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel erfolgte die Vermittlung der nötigen Grundlagen die für das Verständnis der folgenden Seiten nötig sind. Es wurden die Grundlagen der Fotografie erörtert. Anschließend erfolgt die Beschreibung einiger Verfahren, die zur Bildsynthese verwendet werden. Besonders wichtig für ein fotorealistisches Renderergebnis ist die Fähigkeit der Verfahren globale Beleuchtungsmodelle zu berechnen. Die beiden Rendersysteme, die für die Umsetzung dieser Bachelorarbeit genutzt werden, basieren beide auf unterschiedlichen Verfahren: V-Ray, als biased Renderer, und Maxwell Render als unbiased Renderer.

Auf den folgenden Seiten erfolgt nun eine Ausarbeitung eines Konzepts, die als Grundlage für Erstellung der Fotografie und der Renderings dienen soll. Dieses Konzept enthält die Anforderungen an die praktische Umsetzung.

Kapitel 4

Konzeptionierung

Im letzten Kapitel wurden Grundlagen vermittelt. Diese werden benötigt, um diese Bachelorarbeit inhaltlich zu verstehen.

In diesem Kapitel wird ein Konzept erarbeitet, das die Grundlage für einen objektiven Vergleich zweier Renderings und einer Referenzfotografie bilden soll. Die beiden Renderings werden mit den beiden Rendsystemen Maxwell Render und V-Ray erstellt und sollen anschließend direkt mit einer Fotografie verglichen werden. Während der Konzepterarbeitung werden die Anforderungen an Fotografie und Renderings formuliert.

Im darauf folgenden Kapitel erfolgt dann die Umsetzung des hier beschriebenen Konzepts. Dieser Arbeitsschritt wird schriftlich dokumentiert.

4.1 Einleitung

Perfekte und zu saubere Bilder; fehlende, realistische Kamera- oder Linseneffekte, wie Bildrauschen, *Vignettierung* der Bildränder und -ecken oder *Lense Flare* sind häufig Kriterien, die eine Realfotografie von einem künstlich generierten Bild unterscheiden. Diese Faktoren fallen einem Betrachter auf. Sie vermitteln den Eindruck, dass in einem Bild, in dem solche physikalischen Effekte fehlen, „irgendetwas nicht stimmt“. Sie können in den meisten Fällen nicht genau beschreiben was den visuellen Eindruck stört. Um solche Eindrücke zu vermeiden, mussten Computergenerierte Bilder in den letzten Jahren immer fotorealistischer werden. Da sie nicht nur Film- und Werbeaufnahmen ersetzen, sondern teilweise auch ergänzen sollen, steigt der Anspruch stetig. Auch die Softwareentwickler der verschiedenen Rendsysteme haben diesen Trend erkannt und haben physikalisch korrekte und damit auch sehr fotorealistische Rendssoftware entwickelt. Diese physikalische Korrektheit ist seitens der Entwickler ein Verkaufsargument, dass mit qualitativ hochwertigen Bildern bewiesen werden soll. Doch die verschiedenen Formulierungen die im Bezug auf dieses Argument genutzt werden, beispielsweise „basierend auf physikalischen Formeln“ bedeuten unter

¹Bildquelle: <http://www.chaosgroup.com/en/2/details.html?catID=7&dP=5> | 05.12.2012



Abbildung 4.1: Zwar ist Perfektion in der Autovisualisierung oft gewünscht, doch dem Menschen fällt auf wenn etwas zu perfekt ist, obwohl der Grund dafür nicht unbedingt beschreibbar ist | ©Pep Creative¹

Umständen nicht das, was sie auf den ersten Blick zu versprechen scheinen. Physikalische Formeln werden teilweise weiterentwickelt um den optische Eindruck des Bildes realistischer zu machen. Solch eine Weiterentwicklung kann heißen, dass die physikalische Korrektheit aufgrund von optischen Eindrücken minimiert wurde. Vor allem Rendersysteme, die erst im Laufe ihrer Entwicklung immer physikalischer wurden, können solche Weiterentwicklungen beinhalten.

4.1.1 Auswahl des Rendersystems

Für die Methodik dieser Bachelorarbeit, die Untersuchung der physikalische Korrektheit von Rendersystemen, werden V-Ray und Maxwell Render verwendet. Die Hersteller der beiden Systeme werben mit der Eigenschaft der physikalischen Korrektheit. Im Gegensatz zu anderen Rendersystemen, wie Mental Ray, verfügen sie über reale Eingabeparameter. Unter anderem können die Lichtintensitäten in Watt oder Kamerawerte wie Brennweite, Blende und Belichtungszeit eingegeben werden. Das resultierende Renderergebnis sollte sich, sofern V-Ray und Maxwell Render physikalisch korrekt arbeiten, nicht wesentlich von einer Realfotografie unterscheiden.

Um die physikalische Korrektheit der beiden Rendsysteme, V-Ray und Maxwell Render, zu überprüfen, werden sie nicht nur untereinander auf ihre Qualität verglichen. Als Referenz für diese Fotorealismus dient eine Realfotografie. Eine unbearbeitete Fotografie ist das Abbild der Realität und somit der Richtwert für die hier genannte physikalische Korrektheit. Auf den folgenden Seiten werden die Anforderungen und die Zielsetzung für die Erstellung der beiden Renderings und der Fotografie, sowie für den eigentlichen Vergleich mit der Realfotografie festgelegt und beschrieben.

4.2 Vergleichbarkeit zweier Rendersysteme

Hersteller von Rendersystemen versprechen meist das Selbe: qualitativ hochwertige und realistische Bilder, leichte Bedienbarkeit, Zeitersparnis und physikalische Korrektheit. Doch obwohl die verschiedenen Rendersysteme das selbe Ergebnis versprechen, sind sie in ihrem Aufbau und den Funktionen oftmals verschiedener, als es auf den ersten Blick zu sein scheint.

Rendersysteme wie Maxwell Render und V-Ray unterschieden sich, trotz Versprechen von hochwertige Ergebnissen, in Systemaufbau und Funktion, besonders im Bezug auf die Realitätsnähe, deutlich. So liegt es oft am Anwender sich durch die Funktionen und Parameter der Systeme zu arbeiten, diese zu verstehen und dann entsprechend anzuwenden.

Die Maxwell Rendersuite enthält eigenständige Software, wie einen Materialeditor und das Maxwell Studio. Maxwell Studio bietet die Möglichkeiten komplette, einfache Szenen zu erstellen oder Maxwell Scene Files zu importieren und weiterzuverarbeiten. Zusätzlich kann ein Plug-In für verschiedenste 3D-Visualisierungssoftware heruntergeladen werden (siehe Kapitel 7, Maxwell Render).

NextLimit Technologies hat bei der Entwicklung des neuen Rendersystems Maxwell Render sich an die Realität gehalten. Kameraparameter, Material- und Lichteigenschaften sollen auf der Realität basieren und anhand physikalischer Formeln berechnet werden. Dieses Versprechen geht einher mit der Anwendbarkeit des Systems. Realitätsnahe Parameter erleichtern dem Anwender die Erstellung eines Fotorealistischen Renderings und verkürzen so die Einarbeitungszeit deutlich.

V-Ray ist als Plug-In eines der 3D-Visualisierungsprogramme zu nutzen. Zusätzlich liefert die Chaos Group eine V-Ray Standalone Version, die das Rendern von V-Ray Szenen-Dateien ermöglicht. Die zu rendernde Szene kann beispielsweise mit Autodesk Maya oder 3dsMax in diesem Dateiformat exportiert werden.

V-Ray ist ein in der Branche anerkanntes System. Hochwertige Renderergebnisse, umfangreiche Materialeigenschaften, die physikalisch korrekte Simulation des Lichts und Kameraeigenschaften sind Eigenschaften, die das System aus machen. Besonders die Geschwindigkeit, mit denen V-Ray die digitalen Bilder berechnet, ist ein überzeugendes Argument.

Im Rahmen dieser Arbeit ist die Anwendbarkeit der beiden Systeme zu dokumentieren. Diese Dokumentation soll insbesondere die Verständlichkeit und die Realitätsnähe der beiden Systeme beurteilen. Der jeweilige Aufwand, um ein einfaches Szenario mit realistischen Materialien zu versehen und so auszuleuchten, dass ein möglichst fotorealistisches Rendering entsteht, ist zu erläutern. Zudem sollen auftretende Probleme festgehalten und beschreiben werden.

Diese Dokumentation ist während der Erstellung eines einfachen 3D-Szenarios zu erstellen.

Renderergebnisse

Die veröffentlichten Renderergebnisse, die auf den Internetseiten von Next Limit Technologies und der Chaos Group zu finden sind, unterscheiden sich nicht wesentlich. Beide Bildergalerien sind mit sehr hochwertigen Bildern gefüllt und vermitteln dem Anwender, dass Maxwell Render² und V-Ray³ zwei Rendersysteme sind, die qualitative Ergebnisse liefern. Einzig die Anzahl der Bilder in den verschiedenen Anwendungsbereichen unterschieden sich.

V-Ray wird, so entsteht zumindest der ein Eindruck beim durchschauen der Bilderkategorien, am häufigsten in der Automobilbranche, der Architekturvisualisierung und zur Visualisierung von Spezialeffekten verwendet. Weniger Verwendung findet Chaos Group's V-Ray im Bereich der Produkt- und Naturvisualisierung. Der Schwerpunkt von Maxwell Render liegt dagegen besonders in der Produkt- und Naturvisualisierung sowie der Innenarchitektur. Gerenderte Bilder von Automotiven oder aus der Filmbranche sind nur wenige präsentiert. Da die in Abbildung 4.2 gezeigten Bilder sich zwar im Motiv ähneln, aber für zwei völlig unterschiedliche Verwendungszwecke gemacht sind, wäre hier ein Vergleich unpassend. Hinzu kommt, dass die Bedingungen, beispielsweise die Renderzeit oder der Aufwand der Nachbearbeitung, zu denen die Bilder entstanden, nicht bekannt sind.

Für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Renderergebnisse ist es daher nötig die selbe Grundlage zu schaffen. Erst wenn ein Bild zu selben Bedingungen, einem gleichen Motiv, einer gleichen Lichtsituation und Kameraeinstellung erstellt wird, ist ein Vergleich der beiden Bilder objektiv. Um einen solchen Vergleich im Rahmen dieser Arbeit durchzuführen, wird eine spezielle Szene erstellt. Diese Szene wird mit Maxwell Render und V-Ray verarbeitet und gerendert; erst dann können die Renderergebnisse miteinander verglichen werden. Als weiteren Gesichtspunkt ist die Benutzerfreundlichkeit und die Komplexität der beiden Systeme wichtig. Ist eine Software, in diesem Fall der Renderer, zu komplex und unverständlich aufgebaut oder nimmt zu viel Zeit zur Bildgenerierung in Anspruch, kommt diese für beispielsweise kommerzielle Nutzung nicht in Frage. Besonders in der Industrie ist die digitale Bildproduktion an enge Zeitpläne gebunden, die eingehalten werden müssen. Zudem ist ein „blinder“ Kauf von Software, die mehrere hundert oder tausende Euro kosten, wirtschaftlich nicht vertretbar.

Daher sollen in dieser Arbeit Maxwell Render und V-Ray unter gleichen Bedingungen angewendet und beschrieben werden. Neben der Anwendbarkeit und der Komplexität die nötig sind, um ein einfaches Szenario zu visualisieren, soll besonders die Qualität und der Fotorealismus der beiden Systeme geprüft werden. Neben dem Vergleich der beiden Renderergebnisse untereinander, werden diese mit einer Realfotografie verglichen. Dies soll vorwiegend unter Gesichtspunkt der physikali-

²<http://www.maxwellrender.com/index.php/gallery/images>

³<http://www.chaosgroup.com/en/2/galleries.html>

⁵Bildquelle: <http://www.chaosgroup.com/en/2/details.html?catID=7&dP=22> | 05.12.2012

⁵Bildquelle: <http://www.maxwellrender.com/index.php/gallery/images/automotive> | 05.12.2012



Abbildung 4.2: oben: Der Beispiel der zahlreichen V-Ray Renderings mit Automotiven | ©Mackevision⁴ | unten: Eines der wenigen Maxwell Render Renderings mit einem Autointerieur | ©Dan Abrams⁵

schen Korrektheit erfolgen.

Auf den folgenden Seiten werden die an diese Arbeit gerichteten Anforderungen formuliert.

4.3 Anforderung

Die Anforderungsdefinition legt die Anforderung an die Erstellung der Referenzfotografie, der Renderings und den abschließenden Vergleich fest. Die in der Definition formulierten Aspekte sind entsprechend umzusetzen und bieten die Grundlage für Erstellung der Szenarien und den finalen Bildvergleich.

Folgende Anforderungen sind beim weiteren Vorgehen zu berücksichtigen:

- **Motivwahl**
Der Aufbau für Referenzfotografie und Renderings ist möglichst einfach zu halten, um den Arbeitsaufwand, besonders im Bezug auf die Erstellung der Renderings, in Maßen zu halten. Dennoch soll das Motiv über einen gewissen Charme verfügen. Es sollen möglichst unterschiedliche Objekte und eine passende Lichtsituation verwendet werden. Besonders wichtig sind verschiedene Materialien, da der individuellen physikalischen Eigenschaften besonders bei der Erstellung eines Renderings eine Herausforderung darstellen. Diese Kriterien bieten eine gute Grundlage und interessante Ansätze für den Vergleich.
- **Fotografie**
Die Erstellung der Referenzfotografie ist als erster praktischer Arbeitsschritt auszuführen. Vor Aufbau des Szenarios muss recherchiert werden, ob die Objekte als 3D-Modell im Internet zur Verfügung stehen, um das zeitaufwendige Modellieren zu vermeiden.
Beim Erstellen der Fotografie ist es wichtig die Objekte so zu positionieren, dass Materialien und Lichtsituation miteinander agieren. Zusätzlich muss die Licht- und Raumsituation, sowie die verwendeten Objekte und deren Größe skizziert und schriftlich festgehalten werden, um diese später bei der Erstellung der 3D-Situation nachempfinden zu können.
- **Kameraeinstellungen**
Die Kameraeinstellungen, die bei der Erstellung der Referenzfotografie genutzt werden, sind zu notieren und beim Erstellen der beiden Renderings entsprechend anzuwenden. Neben den klassischen Kameraparametern, wie der Verschlusszeit oder der Blendenöffnung, muss zusätzlich auf die Sensorengröße der verwendeten Kamera geachtet werden.
Je nach Kamerasystem der Rendersoftware müssen verschiedene Parameter angewendet werden. Falls nötig, sind die Realparameter anhand physikalischer Formeln umzurechnen.
- **Lichtsituation**
Die Lichtsituation bietet eine gute Grundlage für den Vergleich eines Renderings mit einer Referenzfotografie. Wichtig ist es, dass das Licht mit den verschiedenen Materialien interagieren und somit Lichteffekte wie *Caustics* entstehen. Diese sind im Bezug auf Fotorealität eines Renderings besonders kritisch und daher

zu bewerten.

Eine Tageslichtsituation ist hierfür „zu einfach“. Sie bietet nicht genügend Aspekte für einen passenden Vergleich, da die oben beschriebenen Lichteffekte, je nach Tageslicht, nicht entstehen. Daher empfiehlt es sich eine zusätzliche, künstliche Lichtquelle in das Bild zu integrieren. Dennoch sollte das Lichtkonzept nicht zu aufwendig sein.

- **Erstellung der 3D-Modelle und Materialien**

Die Auswahl der Modelle erfolgt möglichst anhand frei zugänglicher und verwendbarer Modelle. Diese müssen auf ihre Qualität überprüft und überarbeitet oder gegebenenfalls auch neu modelliert werden. Hierbei soll der Arbeitsaufwand möglichst gering gehalten werden. Die 3D-Modelle sind auf Realmaß zu skalieren.

Die zu verwendeten Materialien sollten denen in der Realfotografie möglichst ähnlich sein. Diese können teilweise aus den zahlreichen Bibliotheken, die im Internet zur Verfügung stehen, heruntergeladen und verwendet werden, sofern die Qualität passend ist. Um die Benutzerfreundlichkeit und die Qualität der von den beiden Rendersystemen integrierten Materialeditoren zu prüfen, sind einzelne Materialien eigenständig zu erstellen. Dieser Arbeitsschritt ist zu dokumentieren.

- **Vergleich**

Während der Umsetzung der beschriebenen Anforderungen ist der Arbeitsverlauf zu dokumentieren. Diese Dokumentation erfolgt anhand einer gleichen 3D-Szene, die mit Maxwell Render und V-Ray mit Material versehen, ausgeleuchtet und gerendert wird. Probleme, die in Rahmen der Bearbeitung mit Maxwell Render oder V-Ray auftreten, sind aufzuzeigen.

Der Vergleich zwischen Fotografie und Rendering soll rein visuell erfolgen. Selbiges gilt auch für den Vergleich zwischen den beiden Renderings.

Die Überprüfung der physikalischen Korrektheit ist durch eine direkte Gegenüberstellung zwischen den beiden gerenderten Bildern und der Fotografie durchzuführen. Die visuellen Unterschiede sind kenntlich zu machen und sind zu erläutern. Eine Analyse und Dokumentation der physikalischen Formeln, die von den Rendersystemen umgesetzt werden, ist nicht durchzuführen. Im Rahmen des Vergleichs erfolgt eine visuelle Beurteilung der beiden Renderings, welches dieser Bilder der Realität und somit auch den Eindruck von physikalischer Korrektheit am nächsten ist.

4.4 Zusammenfassung

Das hier formulierte Konzept dokumentiert die Anforderungen an den weiteren Arbeitsverlauf. Diese sind nötig um eine Fotografie zu erstellen, die als 3D-Szenario nachempfunden und mit den beiden Systemen Maxwell Render und V-Ray gerendert werden kann.

Erst wenn Objekte sowohl in der Realität als auch als 3D-Modell verfügbar sind, ist es möglich die erstellte Fotografie entsprechen digital umzusetzen. Neben den Modellen müssen auch die Rahmenbedingungen bekannt und in der 3D-Szene umgesetzt werden. Nur so ist es möglich eine möglichst ähnliche Ausgangssituation zu schaffen um abschließend einen Vergleich durchzuführen. Im Rahmen dieses Vergleichs soll vorwiegend überprüft werden, ob und in wie weit die beiden Renderysteme die versprochene physikalische Korrektheit erfüllen.

Im nachfolgenden Kapitel wird der Arbeitsablauf während der Erstellung der Fotografie und der beiden unterschiedlichen Renderings dokumentiert. Hier wird die Anwendbarkeit geprüft und die Probleme, die während der Generierung der beiden Renderings mit Maxwell Render und V-Ray aufgetreten sind, aufgezeigt.

Kapitel 5

Szenario

Im Kapitel Konzeptionierung erfolgte die Erarbeitung eines, für den Vergleich passendes, Konzept. Die Zielsetzung und die Anforderungen an die Umsetzung und des Vergleichs wurden formuliert.

Nachfolgend wird die praktische Umsetzung des zuvor beschriebenen Konzepts dokumentiert. Anhand der Anforderungen an das Testszenario wird eine Fotografie erstellt und diese dann am Computer so detailgetreu wie möglich nachempfunden. Es erfolgt jeweils die Erläuterung über die Vorgehensweise und eine Dokumentation der Probleme die während der Konzeptumsetzung aufgefallen sind.

Im nächsten Kapitel werden dann die finalen Bilder und die Fotografie direkt miteinander verglichen und die visuellen Eindrücke schriftlich festgehalten.

5.1 Einleitung

Computergenerierte Bilder müssen, je nach Anwendungsgebiet, fotorealistisch sein. Diese Anforderung bedarf einer gewissen physikalischen Korrektheit seitens der genutzten Rendorsoftware. Doch nicht jede Software kann diese erfüllen. Für den Anwender ist es extrem schwer das richtige System für seine Bedürfnisse zu finden, denn eine objektive Dokumentation über Vor- und Nachteile und Qualität dieser Rendorsysteme ist nur vereinzelt in der Literatur zu finden. Die physikalische Korrektheit, die einher geht mit Fotorealismus eines Rendorsystems, bedarf einer Referenz. Erst anhand dieser Referenz kann die korrekte Berechnung durch das Rendorsystem bewiesen werden.

V-Ray, als etabliertes Rendorsystem, und Maxwell Render, ein aufstrebendes und neues System, sind zwei unter zahlreichen anderen Rendorsystemen, die unterschiedlicher nicht sein könnten. Dennoch werden beide mit den selben Fakten beworben: physikalisch korrekt sollen sie sein, einfach zu Handhaben und keine unnötig hohe Renderzeit benötigen. Die Bilder auf den jeweiligen Webseiten der Entwickler sind vielversprechend. Die Entwickler bleiben dem Anwender bei ihren Referenzbildern Informationen im Bezug auf Arbeitsaufwand, Renderzeiten und getätigte Nachbearbeitung schuldig. Vor allem die Informationen über die Nachbearbeitungen sind

wichtig, da heutzutage die Veränderung eines Bildes durch Post-Production teilweise erheblich sind. Diese Einflüsse müssen besonders für industrielle Bildproduktion bekannt und berücksichtigt werden.



Abbildung 5.1: Links: Ein Rendering ohne Post-Production. Rechts: Das Rendering nach der Bearbeitung. Die Stimmung im Bild hat sich vollständig verändert. | ©Meshroom¹

Das nachfolgende Szenario beschreibt den die Erstellung einer Referenzfotografie und deren computergenerierte Nachstellung. Gerendert wird die 3D-Szene jeweils mit den Rendersystemen Maxwell Render und V-Ray. Ziel dieser Bildproduktion ist ein abschließender Vergleich zwischen Realfotografie und Renderings, um die physikalische Korrektheit zu überprüfen.

In dem folgende Kapitel wird die Entstehung der Fotografie und der beiden nachgestellten Renderings dokumentiert und eventuelle Probleme aufgezeigt. Dadurch werden neben dem finalen Vergleich der Qualität und physikalischen Korrektheit auch Unterschiede in der Bildproduktion offen gelegt.

Vorbereitung

Als erster Arbeitsschritt erfolgt die Erstellung einer Referenzfotografie. Neben der Wahl der Kamera muss auch das Motiv und dessen Positionierung, sowie der genaue Aufbau und die Lichtsetzung im Vorfeld grob festgelegt werden. Wie bereits im Kapitel 4, der Konzeptionierung, beschrieben, soll das Motiv ein möglichst einfacher Aufbau sein und verschiedene Materialien beinhalten. Außerdem sollen verschiedene Lichtquellen mit den Materialien interagieren und Lichteffekte, beispielsweise *Causitics*, entstehen. Anhand dieser Anforderungen werden die Objekte für das Motiv ausgewählt.

¹Bildquelle: <http://www.just-joshing.com/2010/02/19/before-and-after> | 28.11.2012

Eine Inspiration für das eventuelle Motiv bilden die Renderings die beide Hersteller auf ihren Internetseiten zeigen. Dort sind Renderings veröffentlicht, die neben Firmeneigenen Produktionen auch Einsendungen von Anwendern beinhalten. Die Bildergalerien bilden alle möglichen Arten von Motiven ab: Automotive, Architektur, Produktvisualisierungen oder Renderings für die Film- und Werbeindustrie. Ein großer Teil der abgebildeten Motive sind komplex und damit in dieser Arbeit nicht umsetzbar. Die Zahl der weniger aufwendigen Motive ist deutlich geringer. Ein Stillleben einer alltäglichen Schreibtischsituation, gerendert mit Maxwell Render, scheint eine passende Inspiration zu bieten. Die auf Abb. 5.2 zu sehenden Objekte haben alle eine einfache Form und es sind verschiedenste Materialien enthalten. Ein ähnliches Motiv ist daher ein ideale Grundlage für den weiteren Verlauf dieser Arbeit.



Abbildung 5.2: Eine gerenderte Darstellung einer Schreibtischsituation als Stillleben
| ©Junaid Rashid²

Bei den ausgewählten Objekten handelt es sich um Objekte, die ebenfalls als 3D-Modell im Internet verfügbar sind. Die Wahl ist hierbei auf folgende Objekte gefallen:

Objekt	Abmessung	Durchmesser
4x STABILO Finliner 0,4	L 16,5cm	∅ 0,08cm
1x IKEA Glas „Reko“	H 9,0cm	∅ oben 6,7cm ∅ unten 5,0cm
1x Tischlampe	H 26,0cm	∅ Fuß 12,0cm ∅ Lampenschirm 8cm
1x Holzgliederpuppe	L 32,0cm	-
1x Schere	L ca. 20,0cm	-
1x Bogen Pappkarton grau	80cm x 120cm	-

Tabelle 5.1: Aufzählung der Objekte und deren Abmessungen

²Bildquelle: <http://www.flickr.com/photos/junaidrashid/6558412417/> | 11.12.2012

5.2 Erstellung der Referenzfotografie



Abbildung 5.3: Produktfoto der verwendeten Canon EOS 60D mit dem Canon APS-C-Sensor | ©Canon Deutschland GmbH³

Nachdem die Objekte, die als Motiv der Referenzfotografie dienen, gefunden sind, muss nun die Fotografie erstellt werden.

Für die Aufnahme der Referenzfotografie wird eine digitale Spiegelreflexkamera verwendet. Die Canon EOS 60D verfügt über einen 22,5 mm x 15,0 mm großen Canon APS-C-Sensor und einer maximalen Auflösung von 5.184 x 3.456 Pixel bei einem 3:2 Seitenverhältnis.

Um abschließend den objektiven Vergleich zwischen Renderings und der Fotografie durchführen zu können, müssen für die Erstellung der am computer-generierten Bilder die Kameraeinstellungen und die Raumsituation bekannt sein. Die verwendeten Kameraeinstellungen werden nicht explizit notiert, da bei digitalen Bildern die Blendenzahl, Belichtungszeit, Brennweite und die ISO-Filmempfindlichkeit in den *Exif*-Daten des Bildes automatisch hinterlegt werden

und damit jederzeit abrufbar sind. Die Maße des Raumes, dessen Fensterfront und die Positionierung des Aufbaus im Raum wird skizzenhaft festgehalten (siehe Abb. 5.10). Des weiteren wird die Größe der einzelnen Objekte ermittelt und notiert.

Der Aufbau des Motivs erfolgt auf einem 1,04m hohem Holzschrank. Das Glas mit dem Stiften, die Tischlampe und die Gliederpuppe werden ansprechend auf einer Hohlkehle aus grauem Pappkarton platziert. Diese Hohlkehle bildet einen neutralen Hintergrund, durch den störende Schattierungen und Übergänge zwischen Boden und Wand vermieden werden⁴. Die Gliederpuppe soll dem Stillleben etwas Leben verleihen. Sie wird in einer sitzenden Position und übereinandergeschlagenen Beinen neben dem Glas mit den Stiften und der Schwere platziert. Die Tischlampe steht links neben den anderen Objekten. Sie wird so ausgerichtet, dass der Lichtkegel auf die anderen Objekte fällt. Als letztes wird die Kamera positioniert. Während der Aufnahme der Referenzfotografie steht sie auf einem Stativ etwa 24cm höher als die Tischkante und etwa 60cm von der Tischlampe entfernt. Fotografiert wird das Motiv mit einer Brennweite von 32mm.

Die möglichen Lichtsituationen beschränken sich bei der Aufnahme auf das, durch das Fenster einfallende, diffuse Tageslicht, dem künstlichen Licht der Raumbeleuchtung und der Tischlampe. Die Aufnahme der Referenzfotografie ist in folgenden Lichtsituationen sowie mit fünf verschiedenen Belichtungszeiten erfolgt. Im Rahmen dieser Aufnahmen wird zusätzlich jede Lichtsituation und Belichtungsstufe mit jeweils einer Blendenzahl von 5.6 und 11 fotografiert.

³Bildquelle: http://www.canon.de/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_60D/ | 11.12.2012

⁴Quelle: <http://www.andreziegler.de/c,fotografie-lexikon-gm,25.html> | 20.12.2012, 20.15 Uhr

- kein Tageslicht, Tischlampe an: Die Umgebung des Bildes ist sehr dunkel. Auch im Motiv selber, beispielsweise bei der Tischlampe, gehen Konturen verloren.
- kein Tageslicht, Tischlampe und Raumbelichtung an: Hier ist die Beleuchtung an sich besser, doch Lichteffekte wie die durch das Glas entstehende *Caustics* gehen verloren.
- Tageslicht, Tischlampe an: Die Umgebung des Motivs ist zwar dunkel, aber schemenhaft zu erkennen. Selbiges gilt auch für die bei Lichtsituation eins verlorengangenen Konturen. Das künstliche Licht der Tischlampe fällt durch eine Plexiglasscheibe auf das restliche Motiv. Der direkte, fast punktuelle Lichteinfall verursacht im Zusammenspiel mit dem Glas *Caustics*, die im späteren Rendering ebenfalls vorhanden sein müssen.



Abbildung 5.4: Links: Die Tischlampe als einzige Lichtquelle: die Konturen des Lampenschirms geht vollständig unter und die Umgebung ist sehr dunkel | Rechts: Raumbelichtung und punktuelleres, künstliches Licht minimieren die Schatten des Aufbaus



Abbildung 5.5: Während das Tageslicht die Umgebung etwas aufhellt entstehen durch die Tischlampe starke Schatten

Lichtsituation	Tischlampe	Tischlampe Raumbeleuch- tung	Tischlampe Tageslicht
Brennweite	32 mm	32mm	32mm
Blende	F/5,6	F/5,6	F/5,6
	F/11	F/11	F/11
Belichtungszeit	1/60 sec	1/125 sec	1/60 sec
	1/15 sec	1/30 sec	1/15 sec
ISO	400	400	400

Tabelle 5.2: Kameraparameter der verschiedenen Fotografien

Auswahl der Referenzfotografie

Da für den Vergleich nur eine Fotografie als Referenz benötigt wird, muss aus den verschiedenen Aufnahmen eine entsprechende Referenz herausgesucht. Die finale Referenzfotografie soll eine möglichst gute Grundlage bilden um die physikalische Korrektheit der Rendersysteme zu überprüfen.

Neben der Qualität der 3D-Modelle und den Materialien, die den realen Objekten und deren Oberflächen nachempfunden werden, ist besonders die Umsetzung eines Lichtverhältnisses in der grafischen Datenverarbeitung wichtig. Wird in einem Rendering das Licht auf eine Lichtquelle reduziert, ist die Wahrscheinlichkeit ein gutes Ergebnis zu erlangen, sofern Modelle und Materialien qualitativ gut sind, sehr hoch. Erst wenn mehrere Lichtquellen zum Einsatz kommen, zeigt sich durch die Bildberechnung die volle Funktionalität und das „Können“ des Renderers.

Als Referenzfotografie wird daher die Lichtsituation mit Tageslicht und der angeschalteten Tischlampe verwendet. Das Tageslicht, das durch das Fenster in den Raum fällt, ermöglicht den Vergleich der beiden Simulationsfunktionen für das Tageslicht, das sogenannte Physical Sun and Sky, von Maxwell Render und V-Ray und zeigt etwaige Unterschiede auf. Die angeschaltete Tischlampe dagegen ist eine künstliche Lichtquelle. Die meisten Rendersysteme verfügen über eigene, zusätzliche Lichtquellen, die zum Nachbilden verschiedenster Lichtsituation nötig sind. Eine solche Lichtquelle muss für die Simulation der Tischlampe genutzt werden. Gleichzeitig bietet das die Möglichkeit die Qualität der Lichtsimulation zu testen. Zusätzlich ruft die angeschaltete Tischlampe Effekte wie *Caustics* hervor. Diese Effekte kommen in der Realität vor und bieten daher eine gute Grundlage die physikalische Korrektheit der beiden Renderer zu überprüfen.

Beide Hersteller versprechen für ihren Renderer ein reales Kameramodell; also auch die Möglichkeit der Eingabe einer bestimmten Blende und die korrekte Berechnung von Schärfentiefe. Daher fällt die Wahl auf die Fotografie mit der Blendenzahl 5.6. Die geringe Schärfentiefe muss bei der 3D-Visualisierung ebenfalls vorhanden sein und ist daher ein weiterer Punkt der den direkten Vergleich interessant gestaltet.



Abbildung 5.6: Auswahl der Referenzfotografie: Die Lichtsituation mit Tageslicht und der angeschalteten Tischlampe bietet die beste Grundlage für die Überprüfung der physikalischen Korrektheit der Renderysteme

5.3 digitale Nachstellung der Fotografie

Modelle

Für diese Arbeit werden frei verfügbare Modelle aus dem Internet heruntergeladen und verwendet. Diese müssen auf ihre Qualität überprüft werden, da leider, je nach Zustand des Modells, Meshfehler auftreten können. Aus diesem Grund musste jedes einzelne Model geöffnet, genau angeschaut und gegebenenfalls repariert oder neu modelliert werden.

Heruntergeladene Modelle sind häufig nur im *.max Format, also als Format des Autodesk 3D Studio Max, verfügbar. Da Autodesk Maya dieses Dateiformat nicht lesen und verarbeiten kann, müssen die Modelle zunächst im entsprechenden Programm geöffnet und als *.obj oder *.fbx exportiert werden. Dieses Dateiformat kann von Autodesk Maya gelesen, verarbeitet und als Maya Binary abgespeichert werden. Die Modelle werden jeweils in einer einzelnen Szene bearbeitet.

- Tischlampe: Die Tischlampe ist neben der Holzgliederpuppe das wichtigste Modell im Aufbau, da sie als zusätzliche Lichtquelle dient. Abgesehen von einigen kleineren Meshfehlern und falschen Normalen ist die Qualität des Modells gut. Allerdings fehlen einige Details der realen Vorlage, die zusätzlich modelliert und herausgearbeitet werden müssen. Hierzu zählt beispielsweise die Plexiglas-scheibe des Lampenschirms oder das beim 3D-Modell fehlende Kabel.

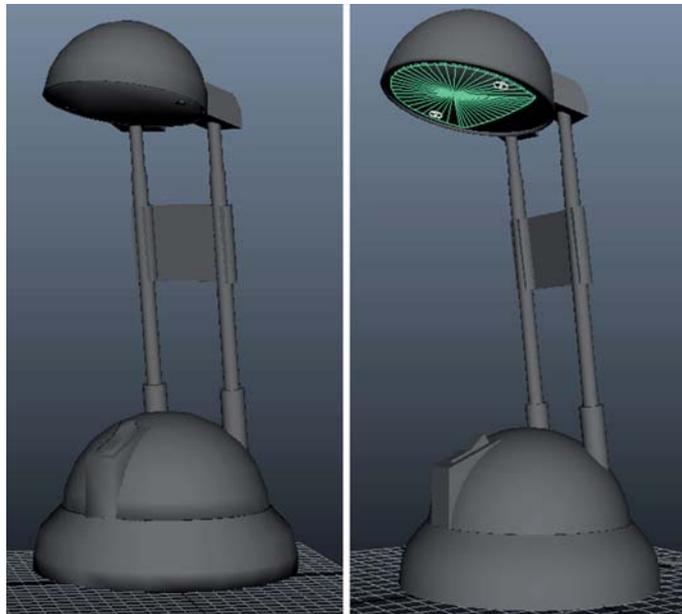


Abbildung 5.7: Das Mesh ist allgemein überarbeitet und fehlende Details, wie das Kabel, hinzugefügt.

- Mannequin: Das 3D-Modell der Holzpuppe ist im weitestgehend in Ordnung. Das Mesh hat größtenteils nur kleinere Fehler, wie falsche Normalen. Lediglich einzelne Glieder, bei der eine Reparatur zu aufwendig gewesen wäre, wurden neu erstellt. Zu diesen Gliedern gehört der Oberkörper der Puppe. Neben der Reparatur kann durch die Neumodellierung zusätzlich die Kante, die in der realen Puppe vorhanden ist, ebenfalls einarbeiten zu können.

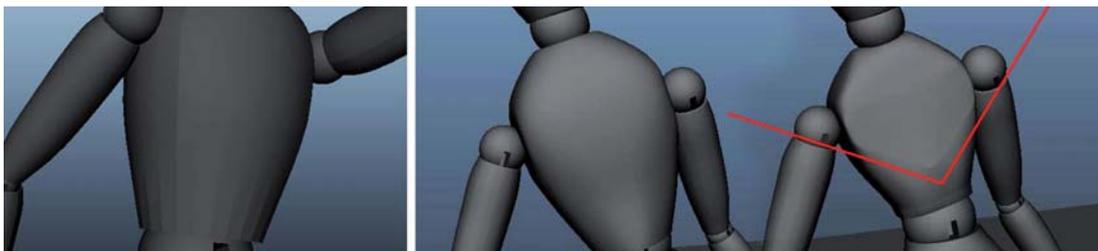


Abbildung 5.8: Detailausarbeitung ist wichtig, um im Endergebnis derer Realfotografie möglichst ähnlich zu sein

- Schere: Das Mesh der Schere ist das mit Abstand qualitativ schlechteste. Trotz einiger Reparaturversuche, war es nötig die Schere anhand des defekten Meshs neu zu modellieren.

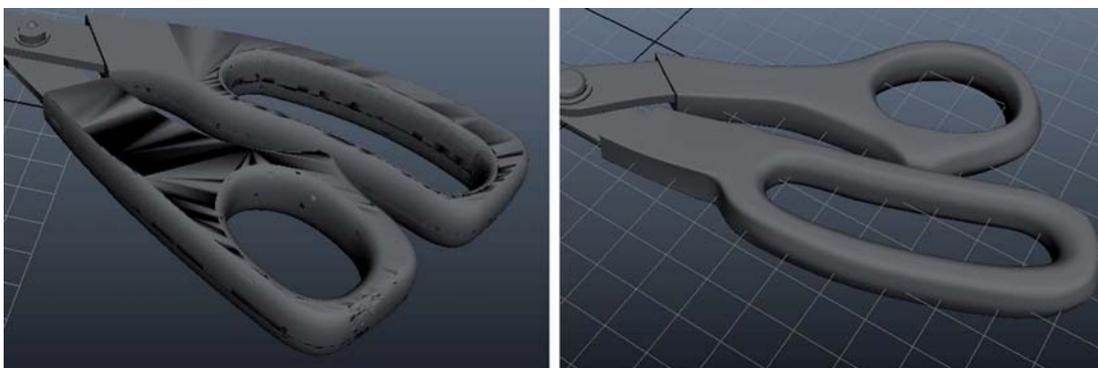


Abbildung 5.9: Da die Qualität des heruntergeladenen Modells zu schlecht (links) war, wurde sie neu modelliert (rechts).

- Stifte + Glas: Um das Fotomotiv nachzubilden wird nur ein Stiftart benötigt. Das Mesh des heruntergeladen 3D-Modell das Stabilo Fineliners ist, im Vergleich zu den anderen Modellen, in einem sehr guten Zustand. Am Stift selber sind lediglich Löcher zu füllen und einzelne Normalen umzudrehen. Das selbe gilt auch für die farbigen Kappen des Stifts. Diese müssen zusätzlich vom Rest des Meshs getrennt werden. Das separieren der Kappen als Einzelobjekte vermeiden das Shaden von einzelnen Polygonen.

Ein Modell des Glases ist leider nicht vorhanden und muss neu erstellt werden. Aufgrund seiner einfachen Form ist dies aber kein zeitaufwendiger Arbeitsschritt.

- Schrank + Raum: Diese beiden Gegenstände sind individuell und können daher nicht aus dem Internet heruntergeladen werden. Da der Raum keine komplizierte Form hat, kann dieser ohne größeren Zeitaufwand entsprechend der Skizze und der darin notierten Realmaße modelliert werden. Berücksichtigt wird hierbei das Fenster des Raumes. Wichtig ist bei der Modellierung des Raums dass zwischen Boden, Wand und Decke keine Spalten zwischen den Meshs entstehen, da diese Außenlicht in den Raum fallen lassen würden. Dieser falsche Lichteinfall würde das Ergebnis verfälschen, da das Tageslicht ausschließlich durch das Fenster in den Raum fällt. Auch der Schrank, auf dem auch die 3D-Version des Motivs aufgebaut wird, verfügt über eine einfache Form und ist daher einfach zu modellieren.

Details sind bei Raum und Schrank zweitrangig, da beides nur für das korrekte Lichtverhältnis nötig, nicht aber auf eigentlichen Motiv sichtbar ist.

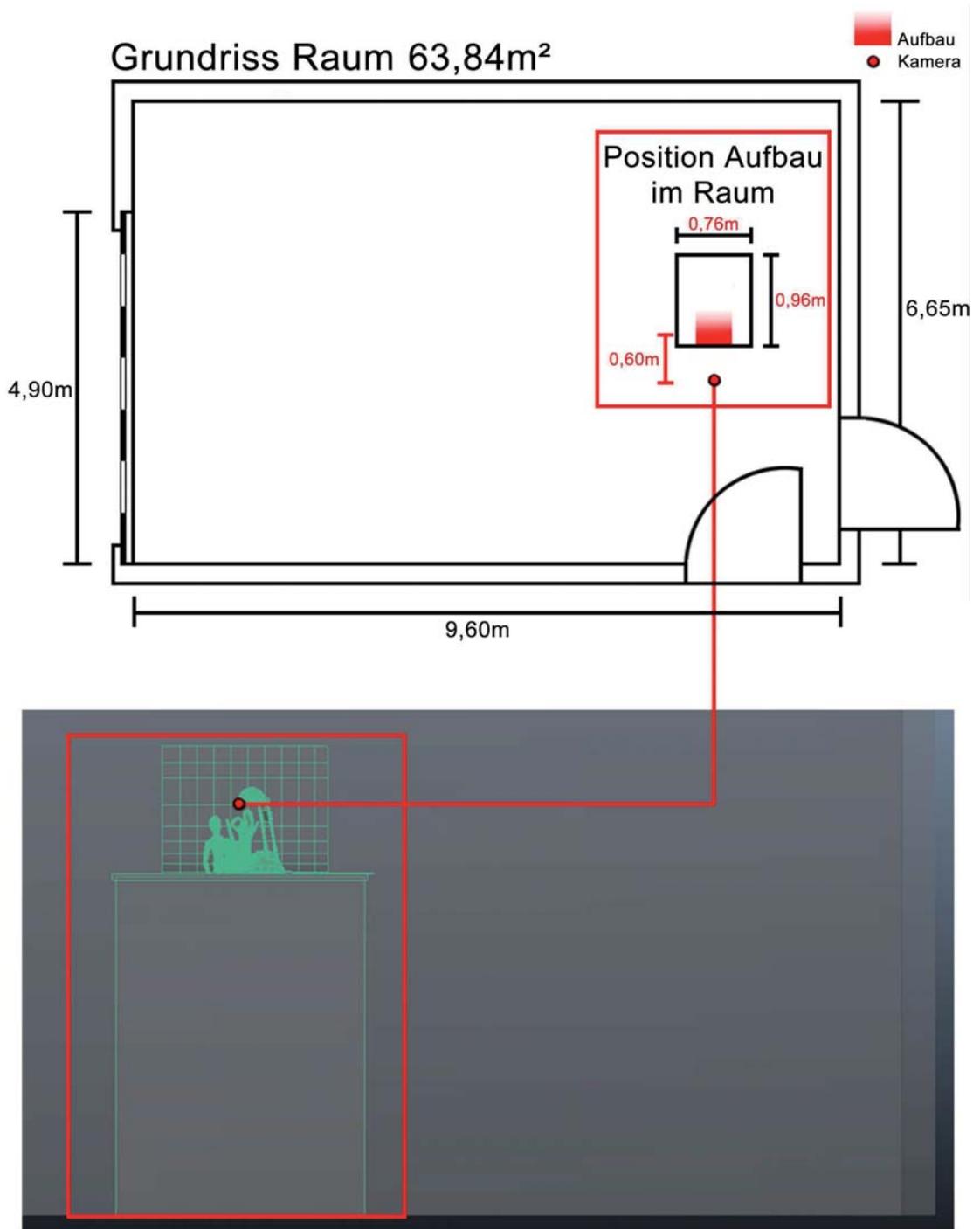


Abbildung 5.10: Skizze des Grundriss des Raums um diesen digital nachstellen zu können.

Szenenaufbau

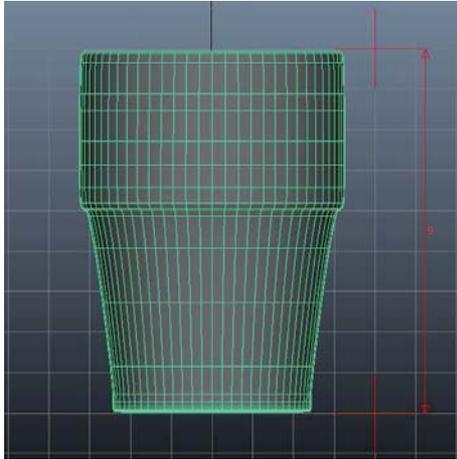


Abbildung 5.11: Verwendung des Distance Tool um die Höhe des Glases zu messen und ggf. anzupassen

Nachdem die Qualität der Modelle sicher gestellt ist, müssen diese nun entsprechend der Realmaße skaliert werden. Laut Herstellerangaben werden bei der Berechnung des Bildes durch Maxwell Render physikalische Formeln genutzt. Damit dieses Konzept zu einem guten Ergebnis führt, ist es wichtig die 3D-Szene auf Realmaße zu skalieren, dass sogenannte Scene Scale. Die Szenen, in denen die finalen Modelle gespeichert sind, müssen einzeln geöffnet werden. Die Modelle werden dann mit dem Distance Tool, ein Distanz-Messwerkzeug von Autodesk Maya ausgemessen und, falls nötig, auf die zuvor notierten Realmaße angepasst.

Um in der finalen Szene die Übersicht etwas zu vereinfachen und nicht alle Modelle direkt aufeinander abstimmen zu müssen, werden die einzelnen Objekte zu mehreren Teilen bereits zusammengefasst und positioniert. Hierbei werden die Stifte, die Schere und das Glas in einer Szene zusammengefügt. Der Stift, der zunächst nur als Einzelstück vorhanden war, wird dupliziert und passend mit der Schere im Glas positioniert. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Meshs des Glasinhalts und dass des Glases sich nicht überschneiden. Der Mannequin wird zusätzlich in einer Einzelszene in seine sitzende Position gebracht. Auch seine übereinandergeschlagenen Beine sowie die Arme werden, möglichst ähnlich wie in der Realfotografie, positioniert. Auch hier sind Meshüberschneidungen zu vermeiden, da diese im späteren Rendering zu Bildfehlern führen können. Anschließend werden die einzelnen Modellszenen in die der Raumsituation importiert. Das weitere Vorgehen erfolgt ab diesem Punkt in einer Rohszene, die alle Modelle beinhaltet. Nach dem Import der 3D-Modelle befinden sich alle auf dem Nullpunkt des Szene übereinander und schneiden sich mit dem Boden des Raumes. Die einzelnen Modelle, die jeweils in einer Gruppe zusammengefasst sind, müssen einzeln angefasst und im Raum positioniert werden. Die korrekte Position wurde bereits bei der Aufnahme der Referenzfotografie notiert und kann, da die Szene den Realmaßen entspricht, übernommen werden. Ist der Schrank und die auf dem Motiv sichtbaren Modelle grob arrangiert können nun die Kameras für die beiden Rendersisteme erstellt werden. Danach erfolgt die Weiterbearbeitung in zwei verschiedenen Szenen.

Perspektivfindung

Sobald die Modelle aufbereitet, skaliert und schon grob positioniert sind, erfolgt die Perspektivfindung. Da Referenzfoto und die beiden Renderings in jedem Bezug möglichst ähnlich sein sollen, muss die Perspektive des Renderings auf das Foto abgestimmt werden.

Hierfür wird das Foto als sogenannte Image Plane, eine Art Bildebene die als Vorlage dient, in einem bestimmten Abstand vor die zu rendernde Kamera gesetzt. Um das Bild hinter das Modell setzen zu können, wird die Image Plane nach hinten verschoben. Nun ist es möglich den Modellaufbau mit der Rendercam auf das Foto Deckungsgleich anzupassen. Bei dieser Art der Perspektivanpassung wird nur die Kamera um die Modelle bewegt. Die Modelle selber bleiben unverändert in ihrer Ursprungsposition.

Die von Autodesk Maya zur Verfügung gestellte Kamera ist nicht physikalisch korrekt und von den Einstellungsmöglichkeiten sehr kompliziert. Die beiden Render-systeme Maxwell Render und V-Ray liefern aus diesem Grund weitere Einstellungsmöglichkeiten und Attribute für die Maya Defaultkamera, die deren Kameramodell der Realität annähern und die physikalische Inkorrektheit korrigieren. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die Perspektive an dieser Stelle zu finden. Dies erfolgt mit den beiden entsprechenden Kameramodellen der Rendersysteme.

Folgende Kameraeinstellungen wurden während der Aufnahme der Referenzfotografie verwendet:

- **Bildauflösung:** 5184 x 3456 Pixel, Hochformat
- **Brennweite:** 32mm
- **Verschlusszeit:** 1/60 Sekunden
- **Blendenzahl:** F/5.6
- **ISO:** 400

Kameraeinstellung V-Ray

Um bei V-Ray ein physikalisch korrektes Kameramodell zu erlangen, muss die V-Ray Physical Camera verwendet werden. Aktiviert wird sie über den Attributeeditor von Autodesk Maya (Attributes - V-Ray - Physical Camera). Durch die Anwendung dieses Kamerasystems werden durch das Rendersystem Kameraeigenschaften hinzugefügt. In den Eigenschaften dieser Physical Camera sind Werte die Werte wie Blendenzahl und Verschlusszeit enthalten und können direkt eingetragen werden. Trotz der korrekten Eingabe der Brennweite ist stimmt das Sichtfeld der V-Ray Kamera nicht mit dem der Realen Fotografie überein.

Damit das Sichtfeld der Kamera dem der Realität entspricht, muss hier der sogenannte *Crop-Faktor* berechnet werden. Dieser *Crop-Faktor* beschreibt in der digitalen

Fotografie das Verhältnis zwischen den Diagonalen eines 36mm breiten Vollformatsensors und eines kleineren Sensors, in diesem Fall der 22,5mm breite Canon APS-C-Sensor. Dieses Verhältnis lässt sich durch das Teilen der beiden Sensorbreiten berechnen: $36\text{mm}/22,5\text{mm} = 1,6$. Das Produkt der Multiplikation des Crop-Faktors mit der verwendeten Brennweite, also $32\text{mm} * 1,6 = 51,2$, wird dann anstelle der verwendeten 32mm als Brennweite in den Kameraeinstellungen eingetragen und so das Sichtfeld korrigiert. Nachdem die Einstellungen der Kamera korrekt sind, muss die

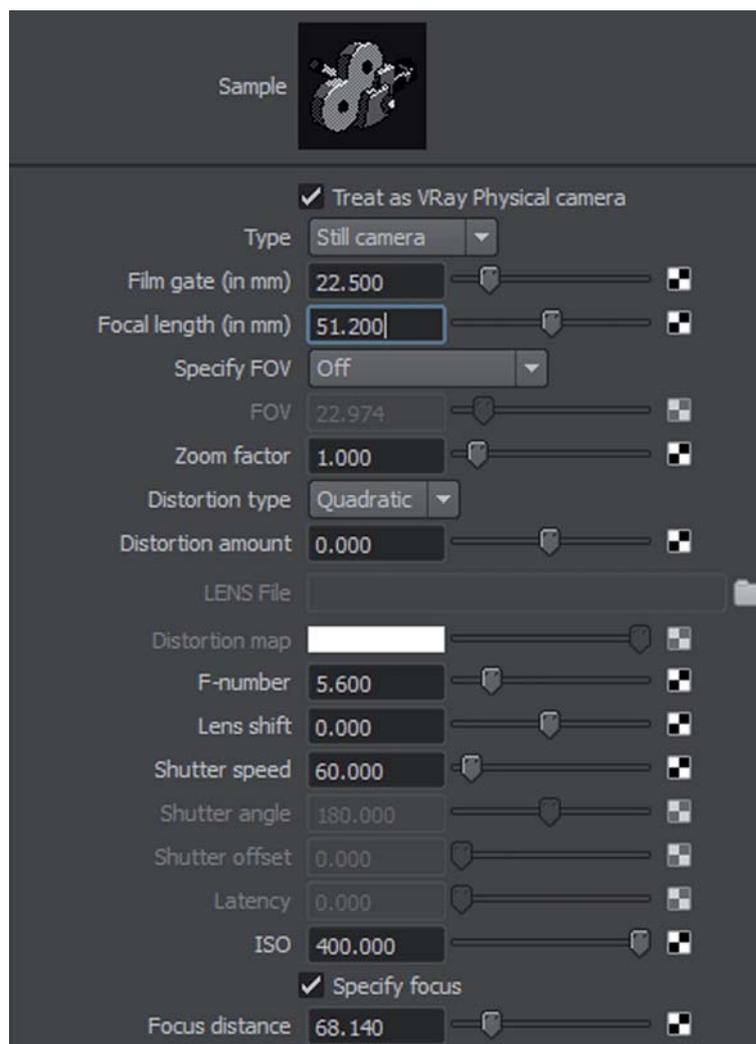


Abbildung 5.12: Die V-Ray Physical Camera ergänzt die Autodesk Maya-Kameraeigenschaften mit Realeigenschaften.

se noch ausgerichtet werden. Diese Ausrichtung erfolgt durch die bereits eingefügte Image Plane. Die Kamera wird so lange bewegt, bis Image Plane und die 3D-Modelle möglichst Deckungsgleich übereinander liegen. Erst nach Abschluss dieser Perspekti-

vanpassung kann der zu fokussierende Punkt definiert werden. Dieser ist nötig um in V-Ray die im Foto vorhandene Tiefenunschärfe zu generieren. Nach Aktivierung des Specify Focus muss die Entfernung zu diesem Punkt, die Focus Distance, eingetragen werden. Zum ermitteln der Entfernung, ca. 68.140cm, wurde das gleiche Werkzeug genutzt, das Bereits zu Größenanpassung der Objekte verwendet wurde.

Kameraeinstellung Maxwell Render

Maxwell Render der Firma NextLimit Technologies verwendet teilweise die Kameraeinstellungen von Autodesk Maya. Auch hier wird die Kamerafunktion durch zusätzliche Maxwell Render Kameraeinstellungen ergänzt, die reale Kameraeinstellung wie beispielsweise die Blende und die Verschlusszeit beinhalten. Diese Kameraeinstellungen sind bekannt, da zuvor die Referenzfotografie erstellt und die verwendeten Einstellungen in den Bilddateien hinterlegt sind. Aus diesem Grund können Brennweite, Verschlusszeit, Blende und ISO einfach übernommen und eingetragen werden. Um das korrekte Sichtfeld der Realfotografie zu erlangen muss bei der Verwendung von Maxwell Render nicht zusätzlich mit dem *Crop-Faktor* gearbeitet werden, da die eingestellte Brennweite von Maxwell Render korrekt verarbeitet wird.

Nun kann für dieses System die Kameraperspektive so angepasst werden, sodass Image-Plane und die 3D-Szene möglichst genau übereinander liegen. Abschließend muss ähnlich wie bei V-Ray der Fokus definiert werden, damit Maxwell Render die entstehende Tiefenunschärfe generieren kann. Dazu wird der Manual Focus Distance aktiviert und der Entfernungswert von ca. 68.140cm eingetragen. Die dadurch im Bild berechnete Tiefenunschärfe ist abhängig von der Genauigkeit des eingetragenen Wertes und ist durch ausmessen mit dem Distance Tool ermittelt worden.

⁵Bildquelle: <http://support.nextlimit.com/display/maxwelldocs/Maya+-+Cameras> | 20.12.2012

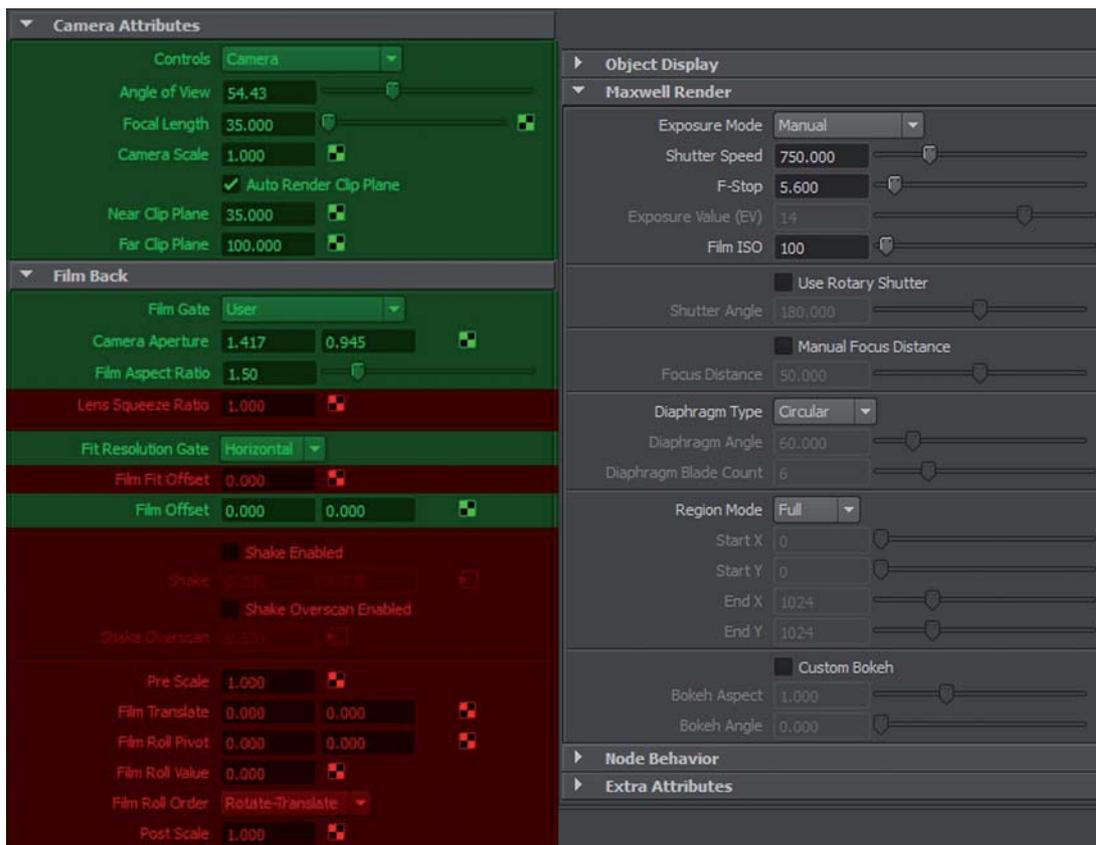


Abbildung 5.13: Links: Die von Maxwell Render verwendeten Kameraeinstellungen von Autodesk Maya (grün) | Rechts: Die zusätzlichen, Maxwell Render spezifischen Kameraeinstellungen©NextLimit Technologies⁵

5.3.1 Erstellung des Renderings mit Maxwell Render

Maxwell Render: Shading

Maxwell Render stellt drei verschiedene Arten Materialien zur Verfügung: das Maxwell Layered Material, das Maxwell Referenced Material und das einfache Maxwell Material. Für die Umsetzung des Szenarios wurden nur die ersten beiden Arten verwendet.

Durch das Maxwell Layered Material kann, nach Bedarf, mit verschiedenen Ebenen gearbeitet werden. Die Parameter der Materialien basieren auf realen Eigenschaften die ein Material realistisch erscheinen lässt und erleichtern so das Erstellen eines Materials. Das verwendete Plastikmaterial für die STABILO Stifte beispielsweise besteht aus einer Grundebene, die Werte, wie die Farbe enthält, und einer zweiten Ebene, die den Glanz des Materials bestimmt. Diese beiden Ebenen werden miteinander addiert und erzeugen so das gewünschte, mattere Plastik (siehe Abb. 5.14).

In der Maxwell Render Documentation⁶ werden die einzelnen Parameter genau erklärt und Beispiele gezeigt, was das Erstellen eines qualitativ hochwertigen Materials deutlich vereinfacht.

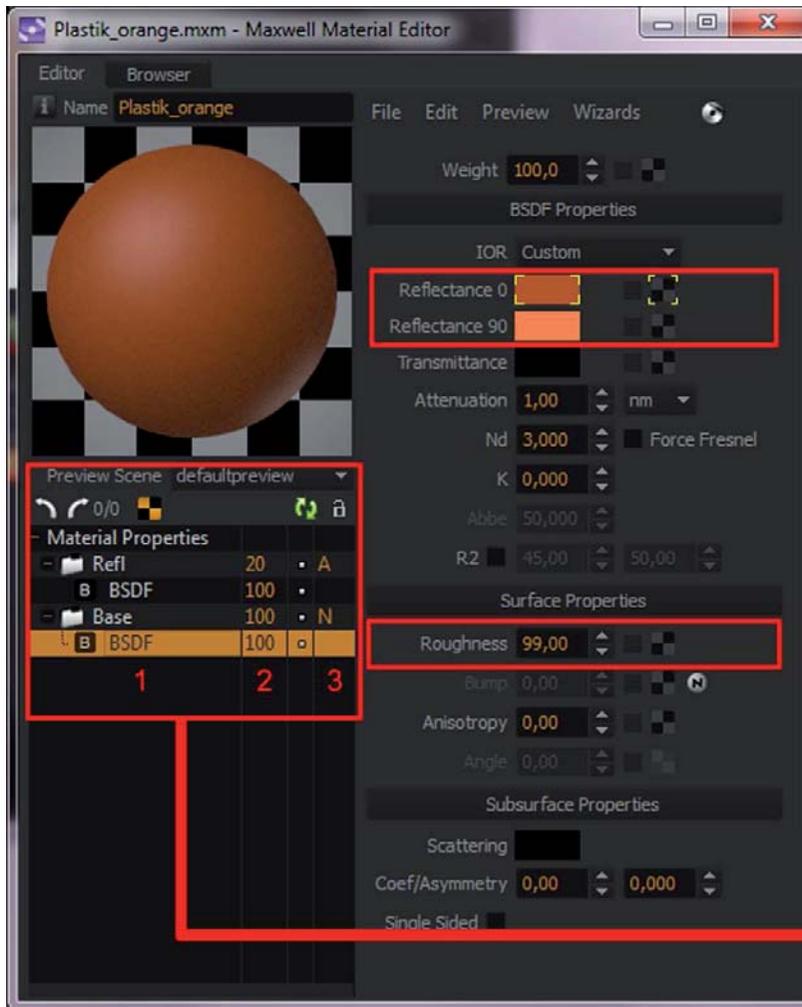
Das Maxwell Referenced Material ermöglicht das Referenzieren von zuvor erstellten Maxwell Material Files. Die in diesem Fall verwendeten Maxwell Material Files, kurz MXM, wurden im in der Rendersuite enthaltenen Standalone-Materialeditor erstellt. Dessen Oberfläche unterscheidet sich nicht wesentlich von der, die in Autodesk Maya für die Materialerstellung nutzbar ist, doch durch dessen Verwendung können die erstellten Materialien als Maxwell Material File gespeichert werden. Diese können gebündelt an einem Ort gesammelt und in jedem beliebigen Projekt weiterverwendet werden. So kann jeder Anwender sich eine individuelle Material-Datenbank erstellen [Tec12].

Als weitere Ergänzung kann auch der Maxwell Render Wizard genutzt werden. Durch eine einfache Eingabemaske kann der Anwender zwischen der Materialart wählen. Anschließend können einfache Parameter wie Farbe oder Reflexionsgrad definiert werden. Maxwell Render erstellt anhand dieser Eingaben die entsprechenden Materialien.

Maxwell Render Resources

Einer der Vorteile, die Maxwell Render bietet, ist die Maxwell Render Resource. Diese durch das Internet zugängliche Datenbank enthält über 4000 freie, zum Teil qualitativ hochwertige Materialien, *HDRs* und *Emitter*, die kostenlos heruntergeladen und genutzt werden können. Außerdem kann diese Datenbank direkt, nach einer kostenlosen Registrierung der E-Mail Adresse, in Maxwell Render eingebunden werden. Zu finden ist diese Datenbank dann in der Maxwell Render Library. Die Materialien können dort ausgewählt, direkt heruntergeladen und zugewiesen werden.

⁶<http://support.nextlimit.com/display/maxwelldocs/Maxwell+Render+Suite+Documentation>



Reflexionsvermögen bei 0° = Farbe am Frontwinkel
 Reflexionsvermögen bei 90° = Farbe am Glanzwinkel

Rauheit des Materials
 Je höher die Zahl, desto 'matter' das Material

- 1. Ebenenstruktur
- 2. Deckungskraft der Ebenen
- 3. Blendmodus

Abbildung 5.14: Der Screenshot zeigt die Eigenschaften eines Maxwell Layered Material im in der Rendersuite enthaltenen Maxwell Material Editor.

Maxwell Render: Ausleuchtung

Im Gegensatz zu V-Ray liefert Maxwell Render keine neuen Lichtquellen. Stattdessen können für die Ausleuchtung einer Szene die vom 3D-Visualisierungsprogramm mitgelieferten Lichtquellen genutzt werden. Zusätzlich bietet Maxwell Render die Möglichkeit, Objekte mit einem sogenannten Emitter zu versehen. Dieser Emitter wird durch das Maxwell Layerd Material einem Objekt zugewiesen. Jede Art von Mesh kann daher als Lichtquelle genutzt werden.

Für dieses Szenario soll die im Foto verwendete Lichtsituation nachempfunden werden. Diese Lichtsituation beinhaltet Tageslicht, das durch das Physical Sun and Sky System von Maxwell Render simuliert wird, und das Licht der Tischlampe.

Das Physical Sun and Sky System ist bei Maxwell Render standardmäßig immer angeschaltet und muss daher nur noch auf die im Foto zu sehende Situation angepasst werden. Das System ermöglicht die direkte Eingabe von Datum, Uhrzeit und Ort und simuliert entsprechend die Lichtverhältnisse. Die Aufnahme erfolgte in Friedberg, Hessen, am 13. Juli 2012 um 14.49 Uhr. Da es aber an diesem Tag regnerisch, und damit im Verhältnis sehr dunkel war, stimmt hier die Simulation der Physical Sun and Sky nicht. Wetterverhältnisse können nicht einfach definiert werden. Diese Einstellung erfolgt über die Beeinflussung der Atmosphäre. Die Steuerung über diese Einstellungen ist nicht ganz einfach (siehe Kapitel 5.3.1, Maxwell Render: Probleme). Die schnellste Möglichkeit die Trübheit des Tages zu simulieren, ist es, die Intensität der simulierten Sonne zu vermindern. Da es in Maxwell Render möglich ist durch das Multilight solche Manipulationen auch nach Abschluss des Rendervorgangs zu tätigen, wurde die Sonnenintensität mit dem Standardwert eins belassen. Die Ortsangabe erfolgt über die geographische Länge und Breite. Friedberg (Hessen) hat einen Dezimalgrad Breite von 50.330 und der Dezimalgrad Länge von 8.762.

Das Licht der Tischlampe wird durch *Emitter* erzeugt. Dieser *Emitter* liegt auf einem Rechteck, das sich an dem Ort befindet, an dem sich auch die Glühlampe der realen Vorlage befindet. Die Einstellungen des *Emitters* ermöglichen die direkte Eingabe einer Leistung in Watt oder alternativ die Verwendung von Presets, also bereits voreingestellte Lampeneigenschaften, die seitens Maxwell Render zur Verfügung stehen. In diesem Fall wird die Leistung der Lampe, etwa 20 Watt, in die Eigenschaften des *Emitters* eingetragen. Zudem wurde eine geschätzte Correlated Color, wörtlich übersetzt „ähnlichste Farbtemperatur“, eingestellt, da der genaue Wert nicht bekannt ist. Die Schatten werden Maxwell Render automatisch generiert.

Maxwell Render Multilight™

Das zuvor bereits erwähnte Maxwell Render Multilight ist eines der Key-Features des Rendersystems. Diese Funktion ermöglicht das Manipulieren und Verändern der vollständigen Lichtsituation während oder nach Abschluss des Rendervorgangs. Dadurch können Lichtsituationen im Nachhinein perfektioniert, korrigiert oder vollständig verändert werden (ausführlichere Beschreibung siehe 7.3.1, Multilight™ und Color Multilight).

In den Maxwell Rendersettings wird zwischen Multilight™ - Intensity und

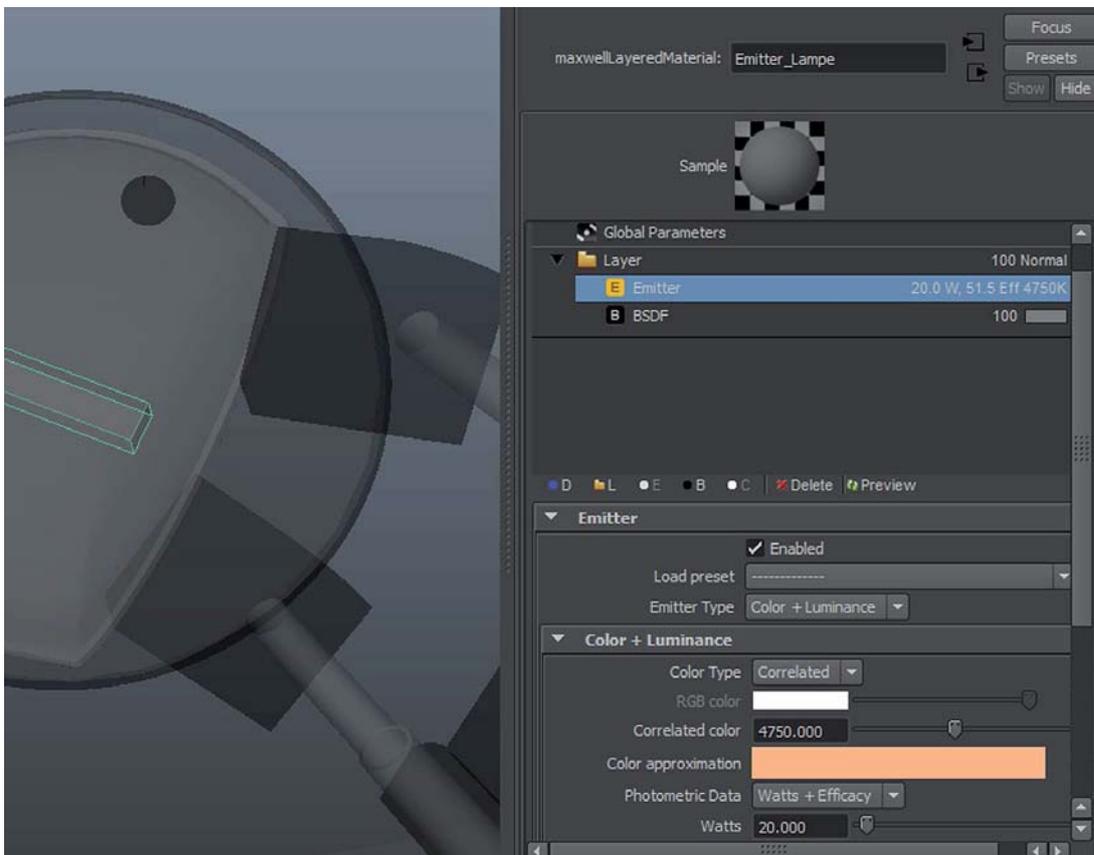


Abbildung 5.15: Der Screenshot zeigt das Objekt im Lampenschirm, dem das MaxwellLayeredMaterial mit entsprechenden Emitter zugewiesen ist.

Multilight™ - Color + Intensity unterschieden. Während die ersten Einstellung lediglich das Anpassen der Lichtintensität, ähnlich wie V-Ray Light Select, ermöglicht, kann durch die Auswahl des Color Multilight zusätzlich die Farbe des Lichts verändert werden.

Maxwell Render: Rendering

Rendersettings

Die Maxwell Render settings sind sehr übersichtlich und einfach zu verstehen. Lediglich zwei Tabs ermöglichen die optimale Einstellung für ein fotorealistisches Rendering.

Im ersten Tab erfolgen allgemeine Einstellungen, die unter anderem das Speicherformat des Bildes, Kameraauswahl und die Bildauflösung betreffen. Der zweite Tab enthält dann Maxwell Render spezifische Einstellungsmöglichkeiten. Hier kann beispielsweise die genaue Renderzeit, die Anzahl der zu rendernden Sampling Level und die Render Channels definiert werden. Außerdem kann hier das Multilight eingestellt

und das Physical Sun and Sky System bearbeitet und zusätzliche Effekte hinzugefügt werden.

Damit nach Abschluss des Rendervorgangs das Physical Sun and Sky System, das während der Ausleuchtung der Szene bereits eingestellt wurde, noch verändert werden kann, wurde für dieses Rendering mit Multilight gerendert. Damit das finale Bild der Referenzfotografie möglichst ähnlich ist, müssen physikalische Effekte wie *Caustics* und Schattenwürfe im Rendering vorhanden sein. Um diese Effekte in Maxwell Render zu simulieren, müssen **keine** zusätzlichen Einstellungen in den Rendersettings erfolgen. Diese natürlichen Effekte werden automatisch von diesem Render-System simuliert und müssen, falls sie **nicht** gewünscht sind, explizit ausgeschaltet werden.

Optionale Blendeffekte, bei Maxwell Render als SimuLense™ bezeichnet, können ebenfalls in den Rendersettings eingestellt werden. Dies war aber in diesem Fall nicht nötig.

Rendervorgang

Wird der Rendervorgang in Maxwell Render gestartet wird der Maxwell Renderview (siehe Abb. 5.17) geöffnet. In diesem neuen Fenster kann der Fortschritt des Vorgangs beobachtet werden. Während der Renderview geöffnet wird, wird die Szene als Maxwell Szenen-Datei exportiert und eine Maxwell Image File auf die Festplatte geschrieben. In diese MXI-File werden die Informationen über Lichtquellen gespeichert. Durch diese Datei kann das Rendering jederzeit erneut geöffnet und die Lichtsituation über das Multilight™ Panel verändert werden.

Der Rendervorgang startet nicht, wenn in der Szene Objekte ohne Material oder keine Lichtquelle enthalten sind. Maxwell Render gibt in diesem Fall eine Fehlermeldung aus und beendet den Rendervorgang.

Die Berechnung des Renderings erfolgt schrittweise. Mit jedem einzelnen Schritt, den sogenannten Sampling Level, wird die Bildqualität verbessert. Es existiert kein definiertes Sampling Level mit dem ein Bild die optimale Qualität erreicht hat. Next-Limit Technologies nennt lediglich als maximal notwendigen Sampling Level die Zahl 20. Daher ist es möglich, dass der Sampling Level 11 bereits die gewünschte Qualität liefert, da dieser je nach Komplexität der Szene variabel ist. Unnötig hohe Sampling Level sind nicht zu empfehlen, da die Zeit mit jedem der zu berechnenden Level verdoppelt wird [Tec12].

In diesem Fall ist ein qualitativ gutes Bild nach ca. 20 Stunden und 24 Minuten mit dem Sampling Level 20 erreicht. An dieser Stelle ist der Rendervorgang beendet worden, da weitere Berechnungen nicht nötig waren. Da aber der Rendervorgang über Nacht erfolgte, ist es möglich, dass bereits ein niedrigerer Sampling Level eine ähnliche Qualität entsprach, der Vorgang aber aufgrund der vorgegebenen maximalen Renderzeit und Sampling Level weiter lief.

Der Rendervorgang in Maxwell Render kann jederzeit unterbrochen, aber auch fortgesetzt werden.

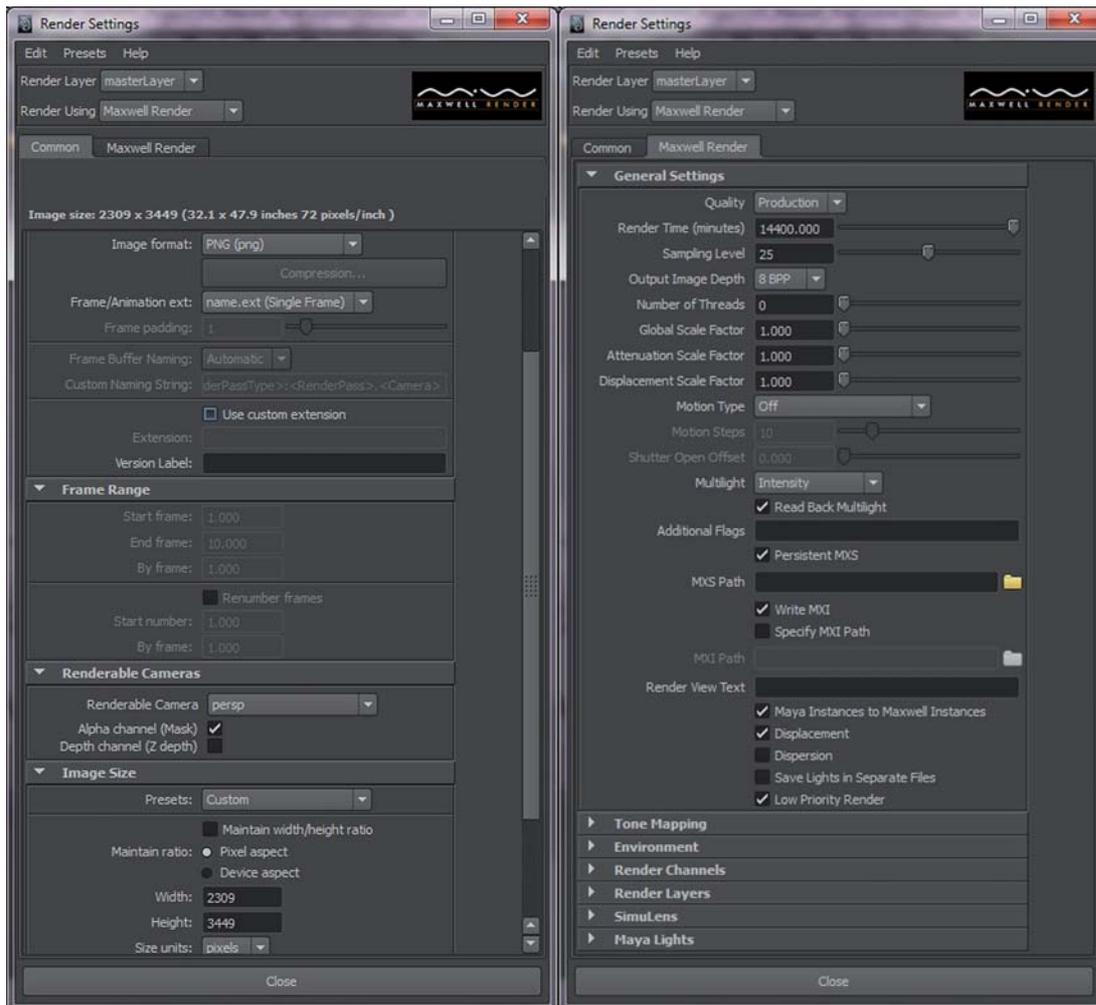


Abbildung 5.16: Screenshot der beiden angepassten Maxwell Rendersetting-Tabs

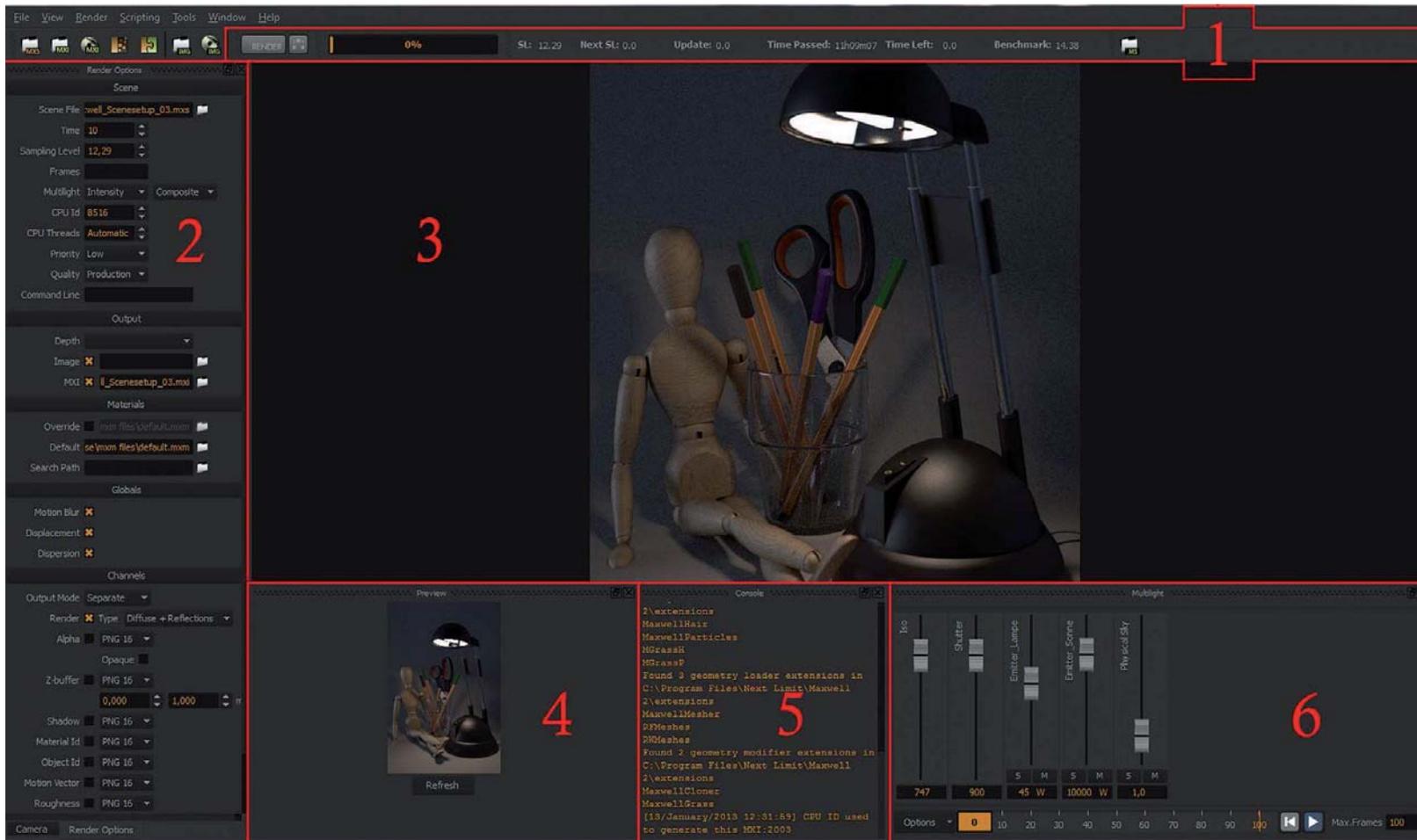


Abbildung 5.17: Screenshot des Maxwell Renderview: 1. Statusanzeige mit Button zum Stoppen und Fortsetzen des Rendervorgangs, dem erreichten Sampling Level, der vergangen und verbleibenden Zeit, 2. Render- und Kameraeinstellungen, 3. gerendertes Bild, 4. Preview des nächsten Sampling Level, 5. Console, 6. Multilight™ Panel

Maxwell Render: Probleme

- Eine Schwierigkeit während der Erstellung des Renderings mit Maxwell Render war die korrekte Einstellung des Physical Sun and Sky. Zwar können Ort, Datum und Zeit direkt angegeben werden, dennoch war das Ergebnis nicht wünschenswert. An dem Tag der Fotoaufnahme war es sehr trüb und das Licht, das durch das Fenster fiel, entsprechend dunkel. Um diesen Faktor einzupflegen, muss mit den atmosphärischen Eigenschaften des Physical Sun and Sky Systems gearbeitet werden. Doch auch nach studieren der Maxwell Render Documentation⁷ und mehreren Tests konnte kein optimales Ergebnis erlangt werden. Die einfachste Lösung dieses Problems war die Manipulation der Sonnenintensität. Diese kann durch Maxwell Render MultilightTM jederzeit angepasst werden, auch nach Abschluss des Rendervorgangs.
- Als weiteres Problem ist die hohe Renderzeit zu nennen. Maxwell Render benötigt viel Zeit um die versprochene physikalische Korrektheit zu erfüllen und qualitativ hochwertige Bilder zu berechnen. Speziell bei der Visualisierung dieses Szenarios beanspruchte die Berechnung des Glases sehr viel Zeit. Die anderen Objekte waren bereits bei einem erheblich geringeren Sampling Level qualitativ so gut, dass der Rendervorgang hätte beendet werden können. Trotz des hohen zeitlichen Aufwands ist die Qualität, die das System liefert, äußerst überzeugend. Zusätzlich relativiert die hohe Verständlichkeit und die damit einhergehende Realitätsnähe, sowie der dadurch reduzierte Arbeitsaufwand von Maxwell Render die Problematik hoher Renderzeiten. Außerdem ermöglicht das sogenannte Maxwell Fire, ein interaktive Vorschau, die die Szene in Echtzeit darstellt, einen schnellen Einblick auf die Lichtsituation und das Materialverhalten, dass zeitaufwendige Testrenderings überflüssig macht (ausführlichere Beschreibung siehe 7.3.1, MultilightTM und Color Multilight).

⁷<http://support.nextlimit.com/display/maxwelldocs/Maxwell+Render+Suite+Documentation>

5.3.2 Erstellung des Renderings mit V-Ray

V-Ray: Shading

Das Rendersystem stellt verschiedene Arten von Materialien zur Verfügung. Neben dem normalen V-Ray Material gibt es ein V-Ray Car Paint Material und ein V-Ray Blend Material. Für die Umsetzung der Fotografie wurde lediglich das V-Ray Material genutzt.

Die Parameter, die hinter diesem Material stehen, sind sehr komplex. Der Anwender muss neben den „klassischen“ Parametern verschiedene Eigenschaften wie Reflection oder Refraction einstellen. All diese Oberbegriffe beinhalten zahlreiche Parameter, die Einfluss auf die Qualität des Rendering haben. Um sich einen Überblick über diese Parameter zu verschaffen, bietet die Chaos Group eine Internetseite⁸, auf der unter anderem die V-Ray eigenen Materialien, Lichter und Texturen detailliert beschrieben werden.

Für diese Szene waren nur einfache Materialien nötig, die teilweise auch aus kostenlosen Libraries genutzt wurden. In Abbildung 5.18 ist der Aufbau des Materials, das der Hohlkehle zugewiesen ist, zu sehen.

V-Ray Libraries Für V-Ray Materials gibt es im Internet verschiedene Bibliotheken, die teilweise kostenlos heruntergeladen werden können. Je nach Bibliothek können sie direkt in das verwendete Programm eingebunden und genutzt werden. Die Qualität der Materialien ist häufig sehr unterschiedlich.

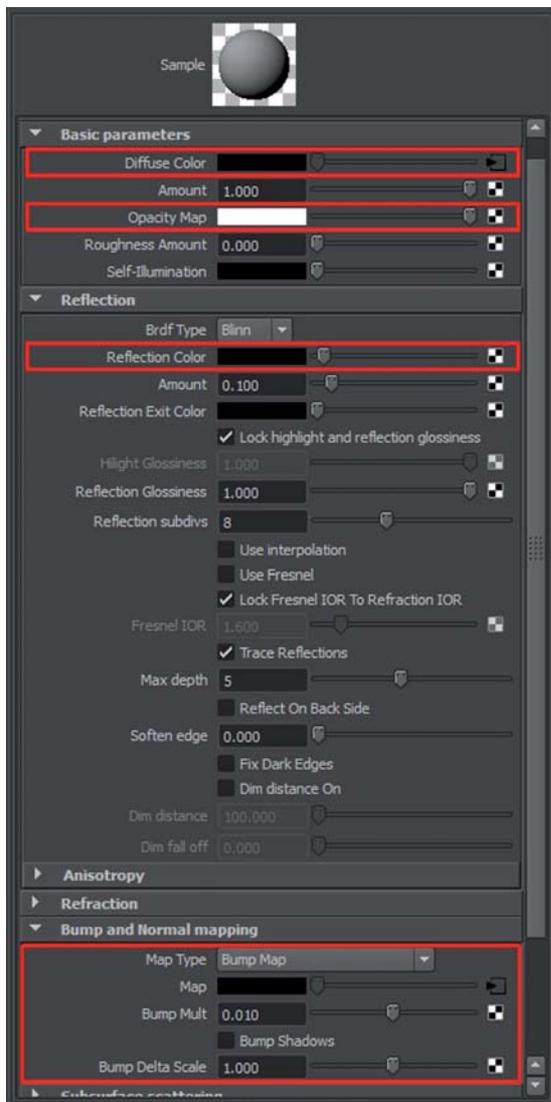
V-Ray: Ausleuchtung

Das V-Ray Plug-In liefert verschiedene, eigene Lichtquellen mit, bietet aber auch die Möglichkeit die von Autodesk Maya integrierten Lichter zu verwenden.

Für die Nachbildung der Realsituation wird in diesem Fall das Physical Sun and Sky System von V-Ray und eine weitere Lichtquelle für die Simulation der Tischlampe benötigt.

Das Physical Sun and Sky von V-Ray ermöglicht, ähnlich wie Maxwell Render, die Einstellung des genauen Datums, der Zeit und des Ortes über die Angabe der geographischen Länge und Breite als Dezimalgrad. Diese ist aber nicht standardmäßig bereits eingestellt und muss über die V-Ray Rendersettings erstellt werden. Datum und Uhrzeit sind durch die Fotografie, Längen- und Breitengrad durch die vorherige Erstellung des Renderings mit Maxwell Render, bekannt. Diese Werte konnten also entsprechend übertragen werden. Auch mit diesem Rendersystem können zusätzlich Trübheit und Ozone beeinflusst werden und ein Skymodel gewählt werden. Obwohl der Tag sehr trüb war, wurden diese Einstellungen auf den Standardwerten belassen und die Dunkelheit des Tages durch die Lichtintensität simuliert. Diese musste, um die Lichtsituation des Fotos möglichst ähnlich zu simulierten, auf 0.2 gestellt. Diese Intensität ist zwar nach wie vor etwas zu hell im Vergleich zur Fotografie, doch eine

⁸<http://www.spot3d.com/>



Materialfarbe, hier durch eine Textur

keine Transparenz für dieses Material

Reflexion des Materials (schwarz = keine)

Bump Map zur Simulation von leichten Unebenheit im Material

Abbildung 5.18: Screenshot eines einfachen V-Ray Materials

noch geringere Einstellung hat zur Folge, dass das Physical Sun and Sky keine Auswirkungen auf die Lichtsituation hat (siehe V-Ray: Probleme).

Als nächsten Arbeitsschritt wurde das Licht der Tischlampe erstellt. Um eine möglichst ähnliche Lichtquelle wie die in Maxwell Render verwendete zu verwenden wurde ein Zylinder mit einem V-Ray LightMaterial zu einer Lichtquelle gemacht. Da aber durch diese Art der Lichtquelle offenbar kein Licht auf die Umgebung traf (siehe V-Ray: Probleme) wurde diese Idee verworfen. Als Alternative wurde ein von V-Ray geliefertes Rect Light verwendet. Dieses Rect Light ermöglicht auch die Intensitätsbestimmung über die Realmaße in Watt, ist aber Standardmäßig nicht so eingestellt. Die Gewünschte Einheit kann ausgewählt werden. Durch die einfache Eingabe der



Abbildung 5.19: Das linke Bild enthält kein Physical Sun and Sky und ist daher sehr dunkel. Im Rechten wurde das System verwendet, ist aber im Vergleich zur Realfotografie viel zu hell.

20 Watt-Leistung der Glühlampe, würde das Bild sehr überstrahlt. Der hier einzutragende Wert entspricht nicht der Watt-Leistung der Glühlampe. In der V-Ray Dokumentation wird erklärt, dass bei beispielsweise einer 100 Watt-Leistung einer Lampe nur etwa 2 oder 3 Watt sichtbares Licht ausgestrahlt wird⁹. In diesem Fall wird die Lichtintensität mit einem Wert von 1 angenommen.

Auch V-Ray generiert die Schatten, die durch die Beleuchtung entstehen, automatisch.

⁹Quelle: http://www.spot3d.com/vray/help/maya/150R1/light_params.htm | 21.01.2013 22.05 Uhr

V-Ray Light Select

Das V-Ray Light Select ermöglicht das Bearbeiten der Lichter nach beenden des Rendervorgangs. Die Lichtinformationen werden über ein Renderelement herausgeschrieben. Durch diese einzeln abgespeicherten Lichtinformationen können die Lichter der Szene in jedem beliebigen Compositing-Programm verändert werden. Die Veränderungen werden in Echtzeit dargestellt und können entsprechend gespeichert werden.

V-Ray: Rendering

Rendersettings

Die V-Ray Rendersettings sind im Vergleich zu denen, die Maxwell Render zur Verfügung stellt, sehr viel komplexer. Im ersten Tab können die Standardeinstellung, wie Speicherformat und Bildauflösung eingestellt werden. Zusätzlich kann hier festgelegt werden ob das Bild gespeichert werden soll und ob für den Rendervorgang der V-Ray Framebuffer geöffnet wird.

In zweiten Tab erfolgen einige wichtige Einstellungen. Hier können beispielsweise Einstellungen zur Vermeidung von Treppeneffekten, dem Antialiasing, oder der Linear Workflow (siehe Kapitel 3.3.1, Linear Workflow) eingeschaltet werden. Dieser kann unter diesem Tab eingeschaltet werden, da er bei der Erstellung eines Rendering mit V-Ray erforderlich ist (vgl. Abb. 5.20).

Im Indirect Illumination Tab werden die Einstellungen für die Globale Beleuchtung angepasst. Hier kann die Art des Renderverfahrens wie Photon-Map oder Irradiance Map ausgewählt und *Caustics* angeschaltet werden. In diesem Fall wurde die Irradiance Map, statt eine Photon Map, und Light Cache genutzt. Diese Kombination ist sehr präzise und schnell bei der Berechnung der globalen Beleuchtung.

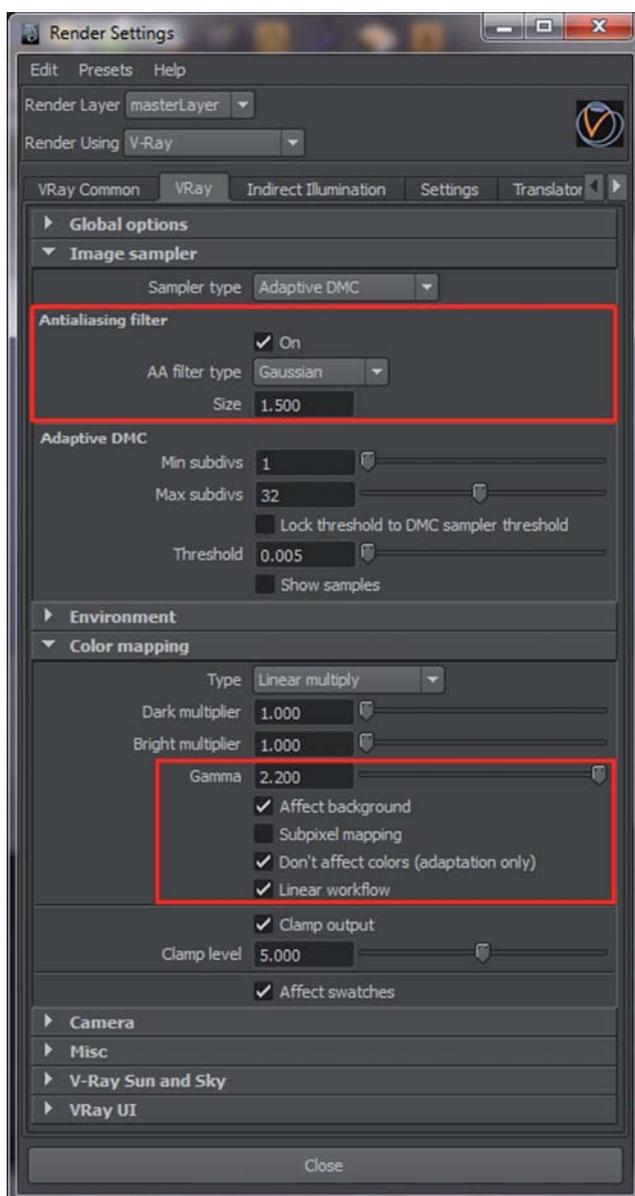
Die weiteren Tabs, Settings, Translator, Render Elements und RT Engine wurden für die Erstellung dieses Renderings nicht weiter genutzt.

Rendervorgang

Wird der Rendervorgang in V-Ray gestartet, öffnet sich, sofern in den Rendereinstellungen aktiviert, der V-Ray Framebuffer. In diesem Fenster kann während des gesamten Vorgangs der Fortschritt des Vorgangs beobachtet werden. Im Gegensatz zu Maxwell Render werden hier einzelne Buckets, also Teilbereiche, vollständig berechnet, bevor der Rendervorgang bei einem anderen Bucket fortgesetzt wird. Das Bild baut sich also Stück für Stück auf. Sofern die Einstellung in den Rendersettings erfolgt ist, wird das Bild nach Abschluss des Rendervorgangs automatisch auf der Festplatte gespeichert und kann jederzeit dort geöffnet werden.

V-Ray: Probleme

- Um eine möglichst ähnliche Lichtquelle wie im dem Vergleichsrendering zu verwenden, wurde die Lichtquelle in der Tischlampe zunächst als Objekt ein-



AntialiasingFilter zur Vermeidung
von Treppen-Effekten

Wert zur Gamma-Korrektur

linear workflow aktivieren

Abbildung 5.20: Screenshot der V-Ray Rendersettings

facher Zylinder mit einem V-Ray LightMaterial versehen (vgl. Maxwell Render Emitter). Diese Lichtquellenart hat allerdings in diesem Aufbau keinerlei Auswirkung auf die Szene. Das Licht scheint vollständig „verschluckt“ zu werden. Diese Art des Lichtes scheint nicht durch das Glas, das den Lampenschirm abschließt, zu dringen. Ohne die dort befindliche Glasscheibe funktioniert die Ausleuchtung der Szene durch die Lichtquelle. Trotz verschiedener Versuche, die „Durchlässigkeit“ des Glases zu gewährleisten, konnte keine Lösung für diese

Art der Lichtquelle gefunden werden.

Daher wurde das V-Ray LightMaterial Objekt durch eine von V-Ray gelieferte Lichtquelle ersetzt. Das Rect Light scheint ohne Probleme durch die Glasscheibe.

- Die auf dem Foto erkennbaren *Caustics* werden durch den Rendervorgang in V-Ray nicht automatisch generiert. Diese müssen explizit in den V-Ray Rendersettings eingeschaltet werden. Doch auch nach einschalten dieser Funktion entstanden in diesem Fall nicht der gewünschte Effekt, der deutlich auf der Realfotografie zu erkennen ist.

Um die *Caustics* dennoch generieren zu können, musste ein weiteres Maya Spotlight erstellt werden. Die Position des Spotlight ist am Lichtstrahl der Lampe orientiert. Das Licht selber ist auf das Glas gerichtet. Um die Lichtsituation durch diese Spotlights nicht zu verändern, wird durch die Deaktivierung von Emit Diffuse und Emit Specular die Leuchteigenschaft ausgeschaltet. Die Intensität der generierten *Caustics* werden durch den *Caustics Multiplier* angepasst.

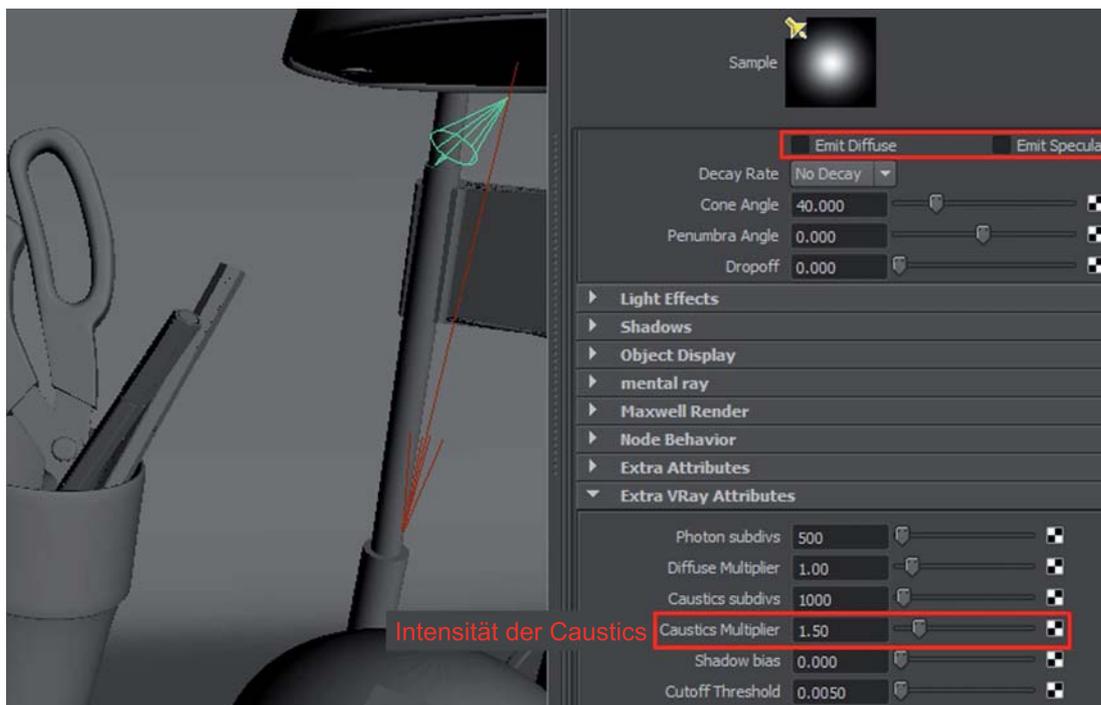


Abbildung 5.21: Diese Spotlight-Einstellungen werden benötigt um die *Caustics* für das V-Ray Rendering zu generieren.

- Eine besondere Schwierigkeit während der Generierung des Renderings in V-Ray war die richtige Licht- und Farbsituation. Durch die verwendeten Lichtquellen, das Physical Sun and Sky, sowie der Tischlampe, ist das Bild zu hell. Die Annäherung an die reale Lichtsituation bedingt die Reduzierung der Son-

nenintensität, die testweise sehr niedrig eingestellt. Im Vergleich mit einem Rendering komplett ohne Physical Sun and Sky war dann gar kein oder nur ein sehr geringer Unterschied mehr zu erkennen. Da auf dem Referenzfoto eine dunkle Lichtsituation herrscht, wurde versucht sich dieser Vorlage bestmöglich anzunähern.

Als weiteres Problem trat im Bezug auf die Lichtsetzung die richtige Farbgebung der Lichtsituation auf. Durch das Tageslicht ist auf der Fotografie auf der linken Seite der Objekte ein leichter Blauschimmer, ein sogenanntes Color Bleeding, zu erkennen. Um diesen Blauschimmer zu generieren wurde im Fenster ein zusätzliches Licht eingefügt, dass mit einer blauen Lichtfarbe einen solchen Effekt hervorruft, leider aber das Bild zusätzlich aufhellt. Daher wurde auf dieses zusätzliche Licht verzichtet.

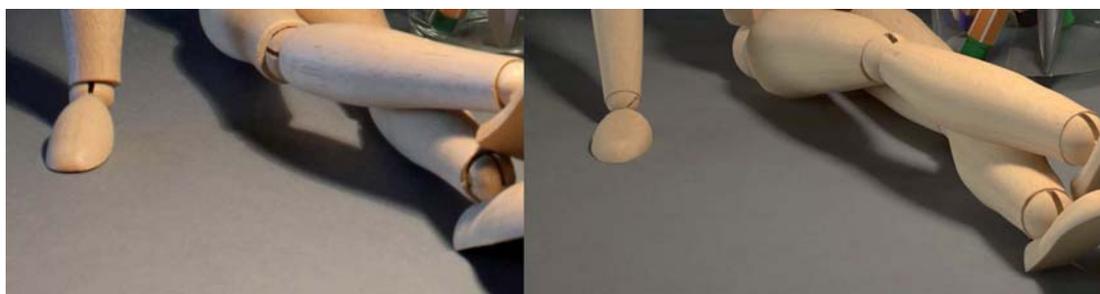


Abbildung 5.22: Der Blauschimmer des Fotos ist bei einem Rendering ohne weitere „Hilfsmittel“ nicht zu erkennen.

5.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Konzeptionierung und die darin formulierten Anforderungen umgesetzt. Es wird beschrieben wie die benötigte Referenzfotografie aufgenommen wurde und das Motiv als 3D-Szene in Autodesk Maya entstand. Danach erfolgt die Dokumentation der beiden Arbeitsabläufe in Maxwell Render und V-Ray um ein möglichst ähnliches, fotorealistisches Rendering zu erstellen.

Die beiden Rendersysteme wurden unter den selben Bedingungen angewendet. Die daraus entstandene Dokumentation ermöglicht einen Einblick in die Möglichkeiten die V-Ray und Maxwell Render bieten. Dabei wurden die wichtigsten Aspekte die Kamera-, Material- und Lichteinstellungen der beiden Rendersysteme betreffen beschrieben um die Unterschiede zu verdeutlichen. Auftretende Probleme, wie zu lange Renderzeiten oder die Simulation fehlender Effekte, die in der Fotografie zu sehen sind, wurden erläutert um anwendungsspezifische Vor- und Nachteile zu verdeutlichen.

Die entstandene Fotografie und die beiden Renderings ermöglichen die Überprüfung der physikalischen Korrektheit von Maxwell Render und V-Ray. Im folgenden

Kapitel werden die visuellen Eindrücke der beiden Renderings aufgezeigt. Anschließend werden die Unterschiede zwischen der Fotografie und den beiden Renderings anhand eines direkten Vergleichs erläutert.

Kapitel 6

Ergebnisse

Im vorherigen Kapitel wurde die Entstehung der Realfotografie beschrieben, die als Referenz für einen Vergleich mit zwei erstellten Renderings dient. Die anschließende Nachstellung dieser Vorlage in einem 3D-Visualisierungsprogramm, die Materialerstellung und -zuweisung sowie die Ausleuchtung der Szenerie wurde dokumentiert. Nun erfolgt der Vergleich der beiden Renderings mit der Realfotografie. Visuelle Eindrücke und Unterschiede werden erläutert und die physikalische Korrektheit der beiden Rendersysteme anhand der Referenzfotografie überprüft. Anschließend werden beide Rendersysteme gegenübergestellt und ein Fazit formuliert.

Im nächsten Kapitel wird näher auf das Rendersystem Maxwell Render eingegangen. Dieses Kapitel enthält Informationen über die Funktionsweise und Key-Features des Rendersystems.

6.1 Analyse und Vergleich

Die im Szenario erstellte Fotografie und dem beiden Renderergebnisse von Maxwell Render und V-Ray werden verglichen, um die physikalische Korrektheit der beiden Renderer zu untersuchen.

Zunächst werden die erstellten Renderings, die nach der Eingabe der Realparameter generiert wurden, mit der Fotografie verglichen. Dieser Vergleich befasst sich vorwiegend mit der physikalischen Korrektheit der Systeme, die sie ohne weitere Beeinflussung des Anwenders liefern. Es wurden lediglich die realen Parameter der zuvor aufgenommenen Realfotografie auf die Rendersysteme übertragen und der Rendervorgang gestartet.

Anschließend erfolgte eine Optimierung der beiden Renderings. Licht- und Kameraanpassung, sowie das aktivieren physikalisch wichtiger Effekte nähern die Renderergebnisse der Realfotografie weiter an. Die hier verwendeten „finalen“ Bilder sind noch nicht das Optimum an Qualität und physikalischer Korrektheit die durch die Feinabstimmung der Rendersysteme erlangt werden kann. Beide Systeme bieten weiterhin noch Potenzial Materialien, Lichtsituation und Rendersettings so zu optimieren, dass die Renderergebnisse sich deutlicher an das „Idealbild“ Fotografie annähern.

Die nachfolgend aufgezeigten Kriterien der physikalischen Korrektheit und die Anwendbarkeit der Systeme ist eine subjektive Beurteilung der Autorin.

6.1.1 physikalische Korrektheit

Durch die vorherige Aufnahme der Referenzfotografie sind alle Parameter, die für das Erstellen eines korrekten Renderings nötig sind, bekannt. Sind die beiden Renderersysteme physikalisch korrekt, sollten sie im Idealfall ein Renderergebnis liefern, das annähernd dem Vergleich mit einer Fotografie standhalten kann.

Um die reine physikalisch korrekte Bildsynthese von Maxwell Render und V-Ray zu überprüfen, sind zunächst die Werte der Fotografie eins zu eins auf die der virtuellen Kamera und Lichtquellen übertragen worden. Hierbei werden die Unterschiede zwischen der physikalischen Korrektheit der beiden Renderersysteme deutlich.

Maxwell Render ermöglicht durch die Realparameter der Kamera eine korrekte Simulation ihrer Eigenschaften. Brennweite, Blende, Belichtungszeit, ISO-Empfindlichkeit und Kamerasensor können direkt eingepflegt werden, das beispielsweise die Korrektur der Brennweite über den *Crop-Faktor* nicht erforderlich macht. Auch die Angabe der realen Glühlampenleistung in Watt wird korrekt simuliert, obwohl die sichtbare Intensität des Lichts nicht mit der Leistung der Glühlampe übereinstimmt. Das Physical Sun and Sky des Renderersystems kann durch Angabe von Ort, Zeit und Datumsangabe angepasst werden. Die Beeinflussung der Trübheit ist schwer verständlich und wurde zur Erstellung des Renderings missachtet. In Folge dessen ist das Rendering im Vergleich zur Referenzfotografie, die an einem sehr trübem Tag aufgenommen wurde, auffällig hell. Andere Faktoren wie *Caustics* werden von Maxwell Render entsprechend der Lichtsituation automatisch generiert und machen das erstellte Rendering dadurch realistischer.

Das Renderergebnis ist durch die einfache Angabe der realen Parameter physikalisch korrekt. Die Bilder unterscheiden vor allem in der Helligkeit, da für diese Generierung vollständig auf die Imitation der Trübheit verzichtet wurde.

V-Ray ermöglicht ebenfalls die Eingabe der Realparameter. Die verwendeten Kameraeinstellungen der Brennweite, Blendenöffnung, Belichtungszeit und ISO-Empfindlichkeit können nach der Aktivierung der V-Ray Physical Camera direkt eingetragen werden. Auch die Lichteigenschaften und das Physical Sun and Sky-System ermöglicht die einfache Angabe der bekannten Parameter, gegebenenfalls auch in den verschiedenen Einheiten. Eingegeben wird hier der Ort, Zeit und Datum für das Physical Sun and Sky System, sowie die Glühlampenleistung von 20 Watt. Durch das Renderergebnis wird deutlich, dass V-Ray nicht physikalisch korrekt arbeitet, wenn lediglich Realparameter verwendet werden.

Besonders auffällig ist hier, dass schon der Bildausschnitt der Kamera nicht mit dem der Fotografie übereinstimmt. Die V-Ray Physical Camera geht von einem Vollformatsensor aus - für die Fotografie ist aber ein kleinerer Canon APS-Sensor verwendet worden. Um hier den Bildausschnitt anzupassen, muss der *Crop-Faktor* berechnet und mit der verwendeten Brennweite multipliziert werden. Zusätzlich ist das Licht der



Abbildung 6.1: Das Renderergebnis von Maxwell Render (rechts) nach einfacher Eingabe der Parameter ist im Vergleich zu der Fotografie (links) noch zu hell, *Caustics* und Schatten werden automatisch generiert

Tischlampe viel zu intensiv, da bei der Simulation nicht automatisch die 5 bis 10% des sichtbaren Lichts angenommen werden. Durch das überstrahlte Licht sind die Schatten, die von V-Ray automatisch generiert werden, kaum sichtbar. Auch das Kriterium der *Caustics* entfällt in diesem Fall, da sie bei dieser Lichtsituation überhaupt nicht sichtbar sind.

Die in Abbildung 6.1 und 6.2 gezeigten Ergebnisse können durch weitere Optimierung noch verbessert werden. Unter dem Gesichtspunkt der physikalischen Korrektheit sind besonders wichtig die Lichtsituation, Schatten, *Caustics*, Tiefenunschärfe und die Farbgebung des Renderings.

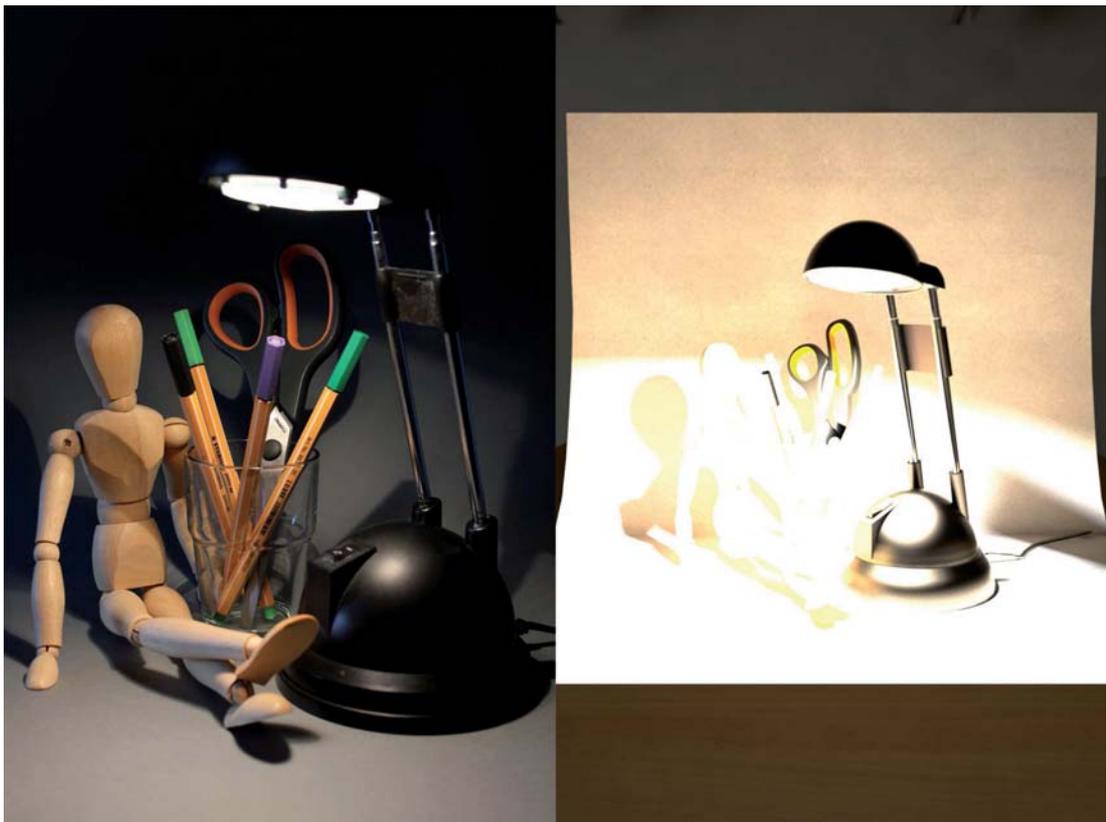


Abbildung 6.2: Das Rendering (rechts), das nach der Eingabe der Realparameter von V-ray generiert wurde, unterscheidet sich deutlich von der Fotografie (links). Die Tischlampe strahlt viel zu hell und der Bildausschnitt stimmt nicht mit dem des Fotos überein.

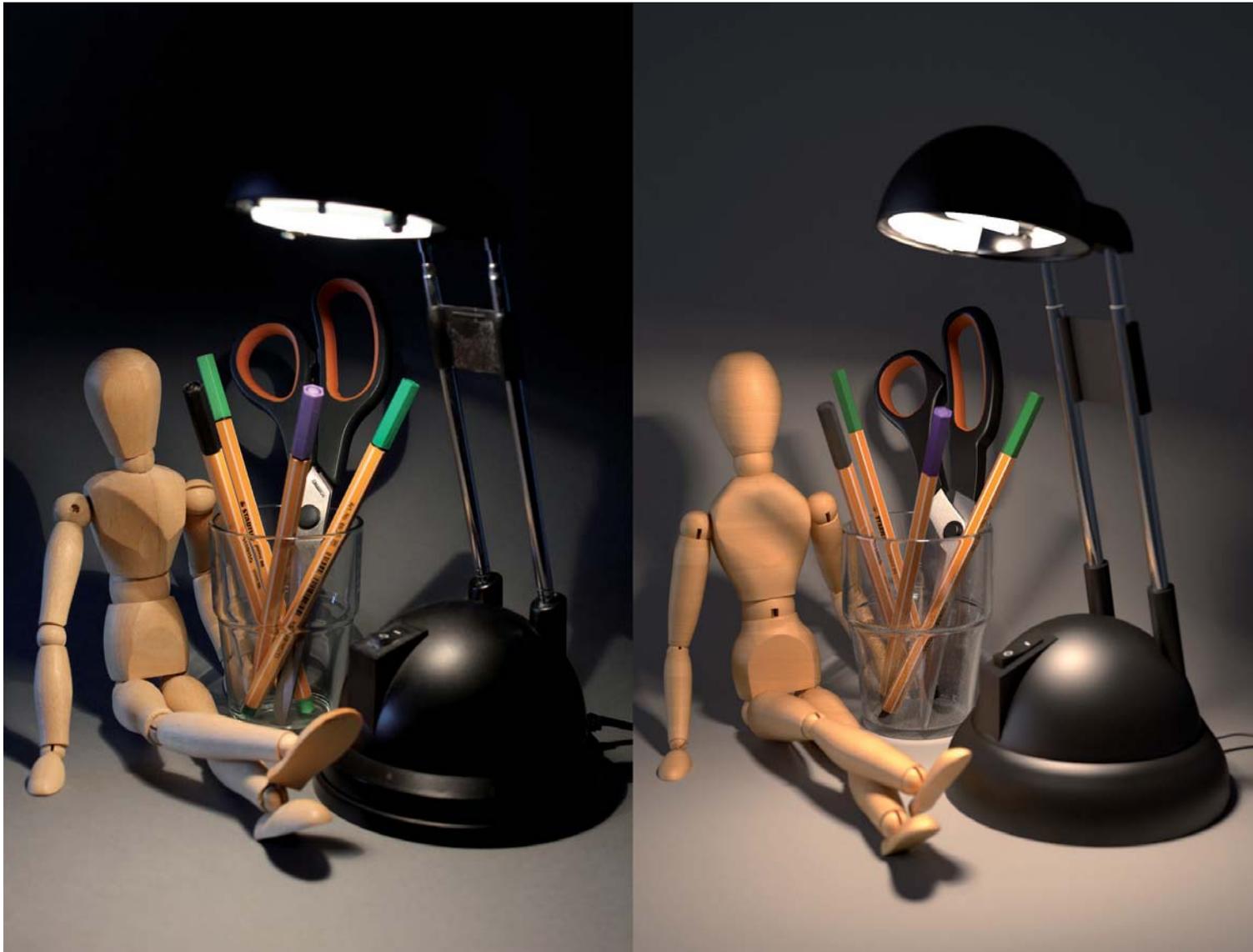


Abbildung 6.3: Das Renderergebnis (rechts) von Maxwell Render ist im Vergleich zur Fotografie (links) zu perfekt und zu hell

Da Maxwell Render bereits äußerst korrekt arbeitet, sind hier keine größeren Optimierungen vorgenommen worden. Lediglich die Intensität des Physical Sun and Sky wird vermindert, um die Helligkeit des Renderings zu reduzieren. Trotz dieser Verminderung ist der Helligkeitsunterschied zwischen Fotografie und Rendering weiterhin deutlich festzustellen.

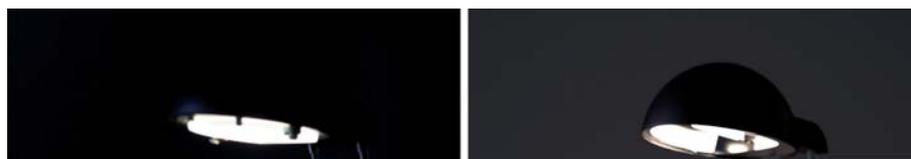


Abbildung 6.4: Das Rendering (rechts) ist im Vergleich zur Realfotografie (links) viel heller, trotz der Verminderung der Intensität des Physical Sun and Sky.

Die Schatten und *Caustics*, die von Maxwell Render automatisch generiert werden, sind abhängig von der Lichtsituation. Diese ist in dem generierten Rendering allgemein zu hell, wodurch der Schattenwurf, im Vergleich zum Foto, zu weich ist. Dagegen sind die *Caustics* und die von Maxwell Render generierte Tiefenunschärfe äußerst realistisch und kaum von denen der Fotografie zu unterscheiden.

Die Farbgebung des Renderergebnisses hat einen leichten Blaustich, der ebenfalls in der Fotografie vorhanden ist. Obwohl dieser Blaustich vorhanden ist, fällt das fehlende Color Bleeding an der linken Seite der Holzpuppe auf. Im direkten Vergleich ist das Rendering teilweise zu perfekt und sauber. Das Material der Hohlkehle oder das schwarze Plastik der Tischlampe wirken zu gleichmäßig. Dagegen sind andere Materialien sehr gut, beispielsweise durch den korrekten Lichtverlauf am Metall der Schere.

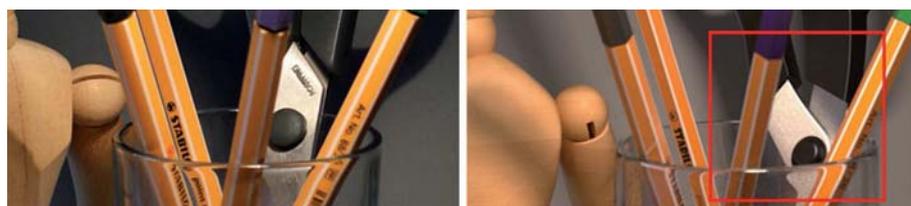


Abbildung 6.5: Das Verhalten des Lichts auf dem Metall wirkt im Rendering von Maxwell Render (rechts) sehr gut, auch im Vergleich mit der Fotografie (links).

Der Arbeitsablauf um ein physikalisch korrektes Bild mit Maxwell Render zu generieren ist sehr überschaubar. Das System an sich basiert auf realen Werten, die physikalisch korrekt berechnet werden und liefert so ohne einen größeren Arbeitsaufwand ein gutes Ergebnis. Dennoch müssen bei der Erstellung eines solchen Renderings Faktoren wie Materialien oder Lichtsituationen entsprechend gut erstellt werden um das Endergebnis nicht negativ zu beeinflussen.

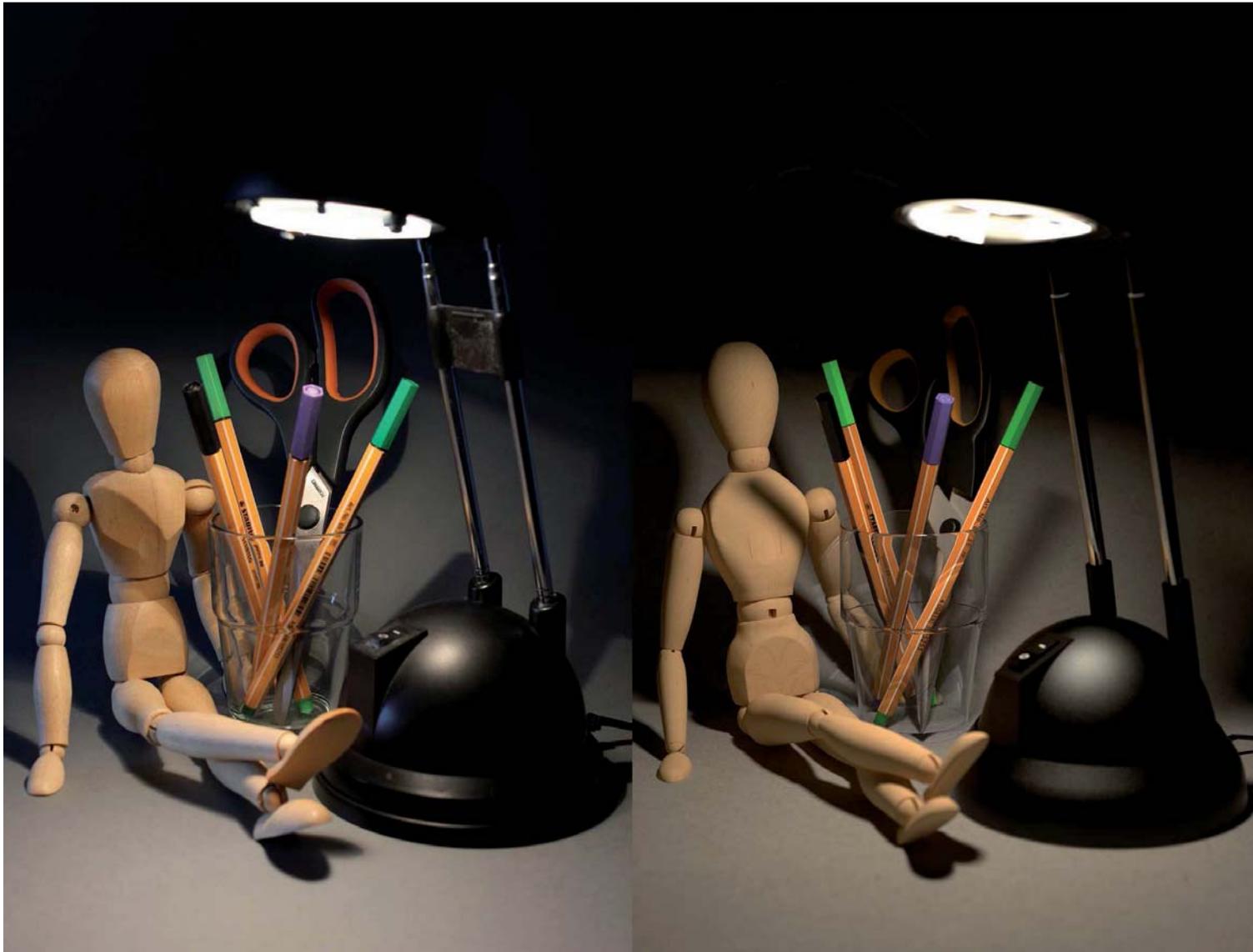


Abbildung 6.6: Trotz der Optimierung sind noch deutliche Unterschiede zwischen dem V-Ray Rendering und der Fotografie zu erkennen.

Um die Bildgenerierung von V-Ray weiter zu optimieren, ist zunächst der Bildausschnitt der Kamera durch den *Crop-Faktor* angepasst worden. Das Überstrahlen des Glühkörpers in der Tischlampe wird durch die Minimierung der 20 Watt auf 1 Watt, was etwa 5% der Glühlampenleistung entspricht, reduziert. Auch die Intensität des Physical Sun and Sky wird deutlich reduziert, um die gesamte Helligkeit des Renderings zu minimieren. Das Ergebnis ist im Vergleich zur Fotografie zwar ähnlich im Bezug auf die Helligkeit, allerdings fällt besonders auf, dass die Farbgebung des Renderings sich sehr von der der Fotografie unterscheidet. Durch das Tageslicht hat die Fotografie eine offensichtliche Blaufärbung, wohingegen das Rendering diese nicht aufweist. Dadurch ist das Color Bleeding, dass durch die Tageslichtsituation hervorgerufen wird, im Rendering nicht vorhanden.

Auch die durch V-Ray automatisch erstellten Schatten sind im Vergleich zum Foto an einigen Stellen zu stark (siehe Abb. 6.8). In anderen Teilen des Bildes sind die Schatten sehr identisch mit denen der Realfotografie.



Abbildung 6.7: An dieser Stelle des Renderings (rechts) stimmen die Schatten mit denen der Fotografie (links) überein.

Ebenfalls auffällig ist das Verhalten des Metalls an der Schere. Es ist sehr gleichmäßig und hat keinen realistischen Lichtverlauf. Im Gegensatz dazu ist besonders das schwarze Plastik der Tischlampe der realen Vorlage sehr ähnlich.

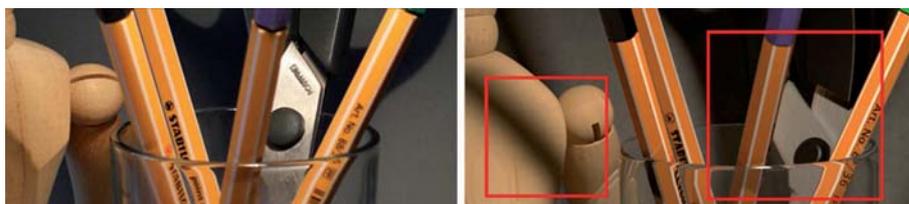


Abbildung 6.8: Der Schatten, der auf die Holzpuppe fällt ist viel zu deutlich, wohingegen der Lichtverlauf auf dem Metall der Schere vollständig fehlt.

Als weiteres physikalisches Kriterium müssen die *Caustics* in V-Ray explizit eingeschaltet werden. In diesem Fall war es sogar nötig durch zusätzliche SpotLights diesen Effekt zu erhöhen. Im Rendering sind im Vergleich dadurch nicht nur die Erwünschten, sondern auch in der Realität nicht vorkommende *Caustics* seitlich des

Lampenschirms zu erkennen. Die gewünschte Tiefenschärfe wird auch durch V-Ray entsprechend der Entfernung gut simuliert.

Durch die weitere Optimierung der komplexen Parameter, die V-Ray bietet, können ebenfalls physikalisch korrekte Bilder generiert werden. Dies erfordert einen erheblich größeren Arbeitsaufwand, da V-Ray im Gegensatz zu Maxwell Render nicht „von sich aus“ korrekt arbeitet. Der Anwender muss gezielt Kamera, Materialien und weitere Effekte erstellen und anpassen, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erlangen.

Es werden immer Unterschiede zwischen Fotografie und computergenerierten Bildern ins Auge fallen, wenn ein identisches Motiv fotografiert und als Vergleichsreferenz verwendet wird. Zwar wird die Erstellung des Renderings anhand der Fotografie erfolgen, doch die Positionierung, der Detailgrad und die Materialien der Modelle stimmen nicht zu 100% mit den realen Modellen überein.

Dies wird auch bei den hier erstellten Renderings deutlich. Obwohl die Modelle und die Materialien mit der Vorlage der Realfotografie und den realen Modellen erstellt werden, gibt es immer noch Unterschiede, die einem Betrachter auffallen. Dieser Faktor, der sowohl bei Maxwell Render als auch bei V-Ray eine Rolle spielt, könnte nur soweit optimiert werden, dass ein Betrachter zwar einen Unterschied erkennt, aber nicht benennen kann welches der beiden Bilder die Fotografie und welches das computergenerierte Bild ist. Um ein solches Ergebnis zu erlangen, müsste deutlich mehr Zeit für die Erstellung der Modelle investiert werden.

6.1.2 Anwendbarkeit

Die Anwendbarkeit einer Software ist ein wichtiger Faktor. Besonders bei Renderingsystemen ist eine hohe Komplexität und eine Vielzahl verschiedenster Parameter schwer zu verstehen. Entsprechend zeitaufwendig ist es auch das gewünschte Ergebnis zu erreichen. Im Gegensatz dazu ist ein geschlossenes, aber einfaches System, das dem Anwender nicht die Vielzahl an Parameter zur Manipulation bietet, unter Umständen auch in den Anwendungsgebieten eingeschränkter.

Maxwell Render und V-Ray unterschieden sich im Bezug auf die Anwendbarkeit genau in diesem Punkt. V-Ray ist ein sehr komplexes System, das Visualisierungen jeder Art ermöglicht. Doch durch diese Komplexität muss ein Anwender sich zeitaufwendig mit den Funktionalitäten der zahlreichen Parameter befassen, um dessen Wirkung auf das finale Rendering einschätzen und diese Vielfalt auch angemessen nutzen zu können. Maxwell Render dagegen ist besonders auf die Simulation physikalisch korrekter Material- und Lichteigenschaften ausgelegt und bietet einen eingeschränkteren Anwendungsbereich als V-Ray.

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Anwendbarkeit der beiden Systeme zur Generierung von physikalisch korrekten Bildern. Während der Erstellung der beiden Renderings mit den Systemen wurde festgestellt, dass im direkten Vergleich Maxwell Render mit deutlich weniger Aufwand ein physikalisch korrektes Bild generiert. Durch die einfache Eingabe der bekannten Parameter der Kamera und des Lichtverhältnisses entsteht ein Abbild, das annähernd dem der Fotografie entspricht. Zusätzlich könnte durch ein höheren Zeitaufwand und die genauere Anpassung der Einflüsse, beispielsweise des Physical Sun and Sky, ein nahezu ideales Bild generiert werden. Die Erstellung des Renderings mit V-Ray bedarf, besonders im direkten Vergleich, deutlich mehr Aufwand. Durch die einfache Eingabe der Parameter ist das Renderingergebnis nicht annähernd physikalisch korrekt.

Die V-Ray Physical Camera ermöglicht zwar ebenfalls die Eingabe der Realparameter, aber bereits bei der Brennweite muss der *Crop-Faktor* beachtet werden. Im Bezug auf Lichtquellen ist durch V-Ray ebenfalls eine Leistungsangabe in Watt möglich. Dabei muss bei der Leistungsangabe einer Lichtquelle mit einem Wert für das „sichtbare Licht“ angenommen werden¹. Dieser Wert entspricht etwa 5 bis 10% der eigentlichen Leistung der Glühlampe. Zudem müssen *Caustics* explizit aktiviert werden. Dennoch ist es auch mit V-Ray möglich durch einen erhöhten Zeitaufwand und der Anpassung verschiedener Parameter, auch hier beispielsweise des Physical Sun and Sky, ein physikalisch korrektes Bild zu erzeugen.

Nachfolgend werden zur Übersicht die Vor- und Nachteile, die während der Generierung der beiden Renderings festgestellt wurden, aufgelistet und kurz erörtert.

¹Quelle: http://www.spot3d.com/vray/help/maya/150R1/light_params.htm | 21.01.2013 22.05 Uhr

Vorteile Maxwell Render

- + Die Parameter von Kamera-, Material- oder Lichteigenschaften basieren auf realen, physikalischen Parametern. Durch diese Realitätsnähe und der ausführlichen Maxwell Render Documentation² seitens des Herstellers Next Limit Technologies wird es dem Anwender deutlich vereinfacht, die Eigenschaften zu verstehen und entsprechend anzuwenden.
- + Das Maxwell Render Multilight ermöglicht komplexe Lichtsituationen auch nach beenden des Rendervorgangs vollständig zu verändern. Die Intensität oder wahlweise Intensität und Lichtfarbe können zu jedem Zeitpunkt angepasst und somit auch die komplette Lichtstimmung des Renderings verändert werden.
- + Der Rendervorgang bei Maxwell Render wird nur dann gestartet, wenn jedem Objekt der Szene ein Material zugewiesen wurde und sich eine Lichtquelle in der Szene befindet. Verfügt ein Modell über kein Material oder die verbundenen Texturen werden nicht gefunden, gibt Maxwell Render eine entsprechende Fehlermeldung aus und bricht den Rendervorgang ab. Ähnliches passiert auch wenn in der Szene keine Lichtquellen vorhanden sind, was ein komplett schwarzes Rendering zur Folge hätte.
- + Durch starten des Rendervorgangs wird eine Maxwell Scene File und ein Maxwell Image File auf die Festplatte geschrieben. Diese werden nach jedem erreichten Sampling Level überschrieben und somit der aktuelle Renderstand gespeichert.
Der Rendervorgang kann jederzeit gestoppt werden. Bei einer solchen Unterbrechung wird der aktuelle Renderstand in das Maxwell Scene File und das Maxwell Image File gespeichert. Diese Dateien können jederzeit erneut geöffnet und der Rendervorgang fortgesetzt werden. Dieser Vorteil erweist sich auch bei eventuellen Abstürzen als sehr nützlich.

Nachteile Maxwell Render

- Maxwell Render nimmt sich zur Berechnung von Material- und Lichtsimulation sehr viel Zeit, besonders im Vergleich zu biased Rendernsystemen. Zwar ist die Renderzeit unabhängig von der Größe und Komplexität der Szene, aber besonders das kann bei einfachen Szenen ein Nachteil sein.

Vorteile V-Ray

- + Trotz seiner hohen Komplexität und der dafür nötigen Einarbeitungszeit ist V-Ray ein Rendernsystem, mit dem hochwertige Renderings erstellt werden können. Die Einarbeitung wird für den Anwender vereinfacht, da für jeden Parameter der Kamera-, Material- oder Lichteigenschaften seitens der Chaos Group eine ausführliche Erläuterung³ gibt.

²<http://support.nextlimit.com/display/maxwelldocs/Maxwell+Render+Suite+Documentation>

³<http://www.spot3d.com/>

- + Durch die physikalisch basierende Lichtberechnung ist V-Ray besonders für komplexere Lichtsituationen zu nutzen. Durch das neue Feature Light Select können auch hier im Nachhinein Lichtsituationen angepasst und vollständig verändert werden.
- + Die Renderzeit von V-Ray ist meistens sehr überschaubar und im Vergleich zu unbiased Rendernsystemen sehr gering. Besonders bei kleineren Szenen hat dieses Rendernsystem einen deutlichen Vorteil. Allerdings nimmt die Renderzeit mit der Komplexität der Szene zu.

Nachteile V-Ray

- V-Ray arbeitet nicht automatisch physikalisch korrekt. Die Kamerasimulation beispielsweise muss über die V-Ray Physical Camera physikalisch angepasst werden. Ähnlich verhält es sich mit physikalischen Effekten wie *Causitics* - diese müssen explizit eingeschaltet und gegebenenfalls auch durch weitere Lichtquellen verstärkt werden.

6.2 Ergebnisse

Durch das Erstellen einer Referenzfotografie und deren Visualisierung als 3D-Szenario konnte eine Grundlage geschaffen werden, um die Qualität und die physikalische Korrektheit zweier Rendersysteme zu überprüfen. Die verwendeten Parameter der Kamera, die Lichtsituation und Materialbeschaffenheiten sind bekannt und können entsprechend auch für die 3D-Visualisierung angewendet und zur Optimierung angepasst werden.

Die deutlichsten Unterschiede der physikalischen Korrektheit zeigte der Test durch die einfache Eingabe der Realparameter. Werte wie die Brennweite, Blende, Zeit- und Ortsangaben zu denen die Fotografie entstand, und die Leistung der Glühlampe wurden eins zu eins auf die Parameter der Rendersysteme übertragen. Die dadurch entstanden Renderings sind ein Maß für die physikalische Korrektheit von Maxwell Render und V-Ray.

Hier hat sich gezeigt, dass besonders in diesem Bezug das System Maxwell Render einen klaren Vorteil hat. Das von Next Limit Technologies entwickelte Rendersystem wurde darauf ausgerichtet physikalisch korrekte und fotorealistic Bilder zu generieren. Es basiert vollständig auf den Parametern der Realität. Kamera-, Material- und Lichteigenschaften sind sehr realitätsnah und ermöglichen auch ohne längere Einarbeitungszeiten das erstellen physikalisch korrekter Bilder. Das Rendersystem braucht keine speziellen Einstellungen um dieses Maß an Fotorealismus zu generieren. Faktoren, wie Schatten, Tiefenunschärfe oder *Caustics*, die in der Realität in Abhängigkeit der Kameraeinstellungen, der Lichtsituation und der Umwelt entstehen, werden von dem System größtenteils berücksichtigt und generiert. Trotz dieser Fähigkeit fallen auch zwischen dem Rendering von Maxwell Render und der Realfotografie Unterschiede auf. Diese entstehen durch die Umwelteinflüsse, die nur schwer für ein computergeneriertes Bild zu übertragen sind. Zwar ist allgemeine Situation während der Aufnahme der Realfotografie bekannt, doch Einflüsse wie Wetter, Staub und zahlreiche andere „Kleinigkeiten“ können nur bedingt von Maxwell Render berücksichtigt werden. Aus diesem Grund ist eine identische Nachbildung einer Fotografie auch mit einem physikalisch korrektem Rendersystem nahezu unmöglich.

Auch V-Ray ermöglicht das Generieren von weitgehend physikalisch korrekter Bilder. Doch dieses Kriterium erfüllt das Rendersystem nicht, wenn nur die realen Parameter verwendet werden. V-Ray, ein Produkt der Chaos Group, ist ein sehr komplexes System, das dem Anwender nicht nur physikalischer Korrektheit im Bezug auf Licht- und Kamerasimulation verspricht, sondern auch die Arbeit in stilistische Richtungen ermöglicht. Die Vielzahl an Parametern die zur Verfügung stehen, haben alle einen individuellen Einfluss auf das spätere Renderergebnis. Möchte der Anwender ein fotorealistic und zudem noch physikalisch korrektes Bild generieren, muss er schon während der Materialerstellung dieses Ziel vor Augen haben. V-Ray ist kein Rendersystem, das automatisch alle wichtigen physikalische Kriterien wie *Caustics* generiert. Solche Faktoren müssen explizit gewünscht und entsprechend auch aktiviert werden. Auch während dieser Arbeit wurde darauf geachtet die Bedingungen für ein möglichst physikalisch korrektes Renderergebnis zu erfüllen. Doch durch die Komplexität

des Systems ist es relativ schwer ein entsprechendes Rendering zu generieren. Ein von V-Ray berechnetes Bild wirkt häufig fotorealistisch, wobei die physikalische Korrektheit ein oft vernachlässigtes Kriterium ist.

Obwohl für diesen Vergleich eine Fotografie erstellt wurde, die als Maß der physikalischen Korrektheit und des Fotorealismus der Renderings dient, ist die Beurteilung der Ergebnisse sehr subtil und subjektiv. Fotorealismus und physikalische Korrektheit sind eng miteinander verbunden, doch jeder Mensch hat andere Eindrücke von einem Bild, auch wenn ein direkter Vergleich zu einem Realabbild möglich ist. Die oben beschriebenen Eindrücke sind die der Autorin, einem anderen Betrachter fallen mit hoher Wahrscheinlichkeit, neben den offensichtlichen Kriterien, andere Unterschiede zwischen der Fotografie und den computergenerierten Bildern auf. Wenn ein Mensch ein Rendering als Fotorealistisch empfindet, rücken die physikalischen Faktoren meist in den Hintergrund. Menschen reden nicht von fehlender physikalischer Korrektheit. Ein Bild ist, auch ohne genaue Angabe von Gründen, im schlechtesten Fall einfach nicht Fotorealistisch. Aber besonders der Fotorealismus ist in den letzten Jahren in der Branche zu einem besonders wichtigem Kriterium zur Erstellung eines computergenerierten Bildes geworden.

V-Ray ermöglicht das generieren von qualitativ hochwertigen Bildern, die den Maßstab der physikalischen Korrektheit stand halten können, sofern der Anwender darauf Wert legt. Das System bietet die Möglichkeit, physikalische Kriterien zu generieren, erzeugt sie aber nicht automatisch. Damit ein physikalisch korrektes und fotorealistisches Bild entsteht, muss entsprechend Zeit für den hohen Arbeitsaufwand miteinbezogen werden. Eine einfachere Lösung zur Generierung fotorealistischer und physikalisch korrekter Bilder ist die Verwendung eines Renderingsystems, das physikalisch korrekt arbeitet. Maxwell Render, als physikalisch korrektes System, ermöglicht durch Realitätsnähe und physikalisch korrekte Berechnung der verschiedenen Parameter eine relativ schnelle und einfache Generierung von „echtem“ Fotorealismus.



Abbildung 6.9: Beide Rendersysteme können annähernd physikalisch korrekte Renderergebnisse liefern. Durch weitere, zeitintensive Anpassungen könnten die Renderergebnisse noch weiter optimiert und damit noch physikalisch korrekter werden.

Kapitel 7

Maxwell Render

Im vorherigen Kapitel wurde das Ergebnis dieser Arbeit bewertet. Die beiden finalen Renderings und die Fotografie wurden direkt nebeneinander gestellt und verglichen. Unterschiede zwischen Fotografie und Rendering, aber auch zwischen Rendering und Rendering, wurden markiert und beschrieben.

In diesem Kapitel erfolgt eine ausführliche Beschreibung der Render Engine Maxwell Render. Neben den allgemeinen Funktionen des System werden die Key Features aufgezeigt und beschrieben.

Im darauf folgenden Kapitel werden die Ergebnisse des Vergleichs aufgegriffen und zusammengefasst. Des weiteren erfolgt Ausblick auf die möglichen zukünftigen Entwicklungen.

7.1 Einleitung

Im Bereich des High-End Rendering ist Maxwell Render eine der führenden Render Engines. Entwickelt wurde der Renderer von der spanischen Firma Next Limit Technologies. Maxwell Render ist darauf ausgelegt, Bilder in höchster Qualität zu liefern und so die Unterschiede zwischen Realfotografien und computergeneriertem Bilder kaum wahrnehmbar werden zu lassen. Aufgrund seiner qualitativ hochwertigen Ergebnisse findet er Anwendung in Architekturvisualisierungen, Produkt- und Industriedesign, Technikvisualisierungen und Produktionen der Film- und TV-Branche.



Abbildung 7.1: Logo des Rendersystems Maxwell Render¹

¹Bildquelle: <http://www.maxwellrender.com> | 03.11.2012

7.2 Maxwell Render Allgemein

Ein wichtiges Kriterium für fotorealistische Ergebnisse sind physikalisch korrekt simulierte Kamerafunktionen, Lichtsituationen und Materialien. Menschen bemerken oft schon beim ersten Blick, wenn etwas in einem Bild nicht „harmonisch“, also nicht fotorealistisch ist. Dennoch können sie häufig den genauen Grund für diesen Eindruck nicht beschreiben.

Besonders das Interagieren von Licht im Zusammenspiel mit der Umgebung ist ausschlaggebend für die Qualität und Fotorealität eines Renderings. Maxwell Render ist eine unbiased (siehe Ray Tracing in Kapitel 3.3.2) Render Engine, die physikalisch korrekt arbeitet. Die Kamerafunktionen in Maxwell Render sind äquivalent zu denen einer realen Kamera, das Verhalten von Licht im Zusammenspiel mit Materialien wird basierend auf realen, physikalischen Algorithmen berechnet.

Bei der Entwicklung von Maxwell Render wurde darauf geachtet, die Vielzahl von Parametern, die häufig bei anderen Render Engines vorzufinden sind, auf wenige, reale Parameter zu reduzieren. Das erspart den Anwendern lange Einarbeitungszeit, um zu wissen, welche Parameter welche Auswirkung auf Material oder Licht haben.

- **Kamera**

Ausschlaggebend für eine gute Fotografie ist die Wahl einer qualitativ hochwertigen Kamera und deren korrekte Anwendung. Next Limit Technologies hat die realen Kameraparameter wie focal length, film-ISO, shutter speed und f-Stop auf die virtuelle Kamera in Maxwell Render übernommen und ermöglicht so eine einfache Bedienung. Schärfentiefe, oder bei Animationen Bewegungsunschärfe, werden automatisch entsprechend der eingestellten Parameter simuliert. Zudem gibt es in Maxwell Render die Möglichkeit, die realen Werte des Kamerasensors einzutragen. Auch die Steuerung von Hoch- und Querformat des Renderings erfolgt, genau wie in der Realität, durch die Kameradrehung und nicht über die Auflösung.

- **Licht**

Maxwell Render bietet die Möglichkeit, aus jedem beliebigen Mesh eine Lichtquelle zu erstellen. Dies erfolgt über das Zuweisen eines *Emitters* im vom Maxwell Render mitgelieferten Maxwell Material. Nachfolgend kann die Einstellung des Lichts über reale Parameter erfolgen. So kann beispielsweise die Leistung des *Emitters* über eine Eingabe einer Wattzahl oder unter Verwendung eines HDRs, die Farbe wahlweise über Farbtemperatur oder einen RGB Wert reguliert werden. Zudem ist es möglich, die in 3D-Visualisierungssoftware integrierten Lichter zu nutzen.

Das von Maxwell Render bereitgestellte Physical Sun and Sky System arbeitet ebenfalls physikalisch korrekt. Es können Ort- und Zeitangaben, sowie Farbtemperatur der Sonne und einige weitere Parameter angegeben werden, um das Lichtverhältnis möglichst real zu simulieren.

- **Material**

Ein Maxwell Material ermöglicht dem Anwender das Erstellen von individuellen und realistischen Materialien, ohne dabei über zahlreiche Einstellungsparameter zu verfügen. Die Grundeigenschaften eines Materials, wie Farbe oder Transparenz, werden über eine *BSDF*² Ebene gesteuert. Zusätzliche Materialeigenschaften wie *Displacement*, *Emitter* mit den oben genannten Lichteigenschaften, oder *Coating* können über neue Ebenen zugewiesen und eingestellt werden. Zudem bietet Maxwell Render die Möglichkeit komplexe *IOR Files* in das Material einzubinden und dadurch noch ein realistischeres Ergebnis zu erlangen. Hierbei ist es zu beachten, dass durch die Verwendung von komplexen *IOR Files* sich die Renderzeit erheblich erhöhen kann.

Die Maxwell Render Resources³ ist eine Bibliothek mit über 4000 Materialien. Diese sind kostenlos und können entweder über die Website heruntergeladen oder nach einer kostenlosen Registrierung direkt in den Materialbibliothek von Maxwell Render eingebunden werden.

²Bidirectional Scattering Distribution Function

³<http://resources.maxwellrender.com>

7.3 Key Features

7.3.1 Multilight™ und Color Multilight

Verschiedene Lichtsets sind nicht nur in der Fotografie, sondern auch in der Computergrafik sehr aufwendig. Um in der 3D-Visualisierung Lichtsituationen zu ändern, müssen nicht nur die Szenen überarbeitet, sondern auch das Bild neu gerendert werden. Besonders bei Renderings mit hoher Qualität ist das, bei mehreren Stunden Renderzeit, besonders zeitraubend. Maxwell's Multilight™ macht dies Arbeitsschritt überflüssig. Es ermöglicht das Verändern der kompletten Lichtsituation ohne die eigentlich Szene verändern zu müssen.



Abbildung 7.2: Ein Rendering mit Maxwell Render Multilight™ ermöglicht verschiedene Lichtsituationen | ©Eugeny Kostsov, kostsov@gmail.com⁴

Die Funktion muss zunächst in den Maxwell Render settings eingeschaltet werden. Der Anwender kann hierbei zwischen Intensity und Color + Intensity wählen. Während Intensity nur die Lichtintensität beeinflusst, ermöglicht Color + Intensity neben der Anpassung der Lichtintensität auch das Verändern der Lichtfarbe, das sogenannte Color Multilight. Reguliert werden Intensität oder Farbe über ein Panel (vgl. Abb. 7.3), die im Renderview von Maxwell Render integriert sind. Jede Lichtquelle, inklusive des Physical Sun und Sky, verfügt über einen einzelnen Slider. Das Licht kann

⁴Bildquelle: <http://www.maxwellrender.com/index.php/gallery/images/multilight> | 10.07.2012

je nach belieben verstärkt oder geschwächt, an oder aus geschaltet werden. *Emitter*, die über ein von Maxwell Render bereitgestelltes Material zugewiesen wurden, werden je Material und nicht je Objekt gesteuert. Auch die beiden Kameraparameter film-ISO und shutter speed können über das Multilight™ Panel korrigiert werden. Ein kleines Preview im Renderview ermöglicht einen Eindruck der Veränderungen. Um das Rendering selbst zu verändern genügt dann ein einfacher Knopfdruck und die Aktualisierung erfolgt innerhalb kürzester Zeit.

Während des Rendervorgangs mit Multilight™ werden die Daten der einzelnen Lichtquellen separat in eine MXI⁵ Datei geschrieben. Diese Datei kann jederzeit in Maxwell Render geöffnet, bearbeitet und gespeichert werden. Hierbei wird zwar mehr Arbeitsspeicher benötigt, die Renderzeit selbst wird durch die Verwendung von Multilight™ nicht beeinflusst.



Abbildung 7.3: Screenshot des Multilight™ Panel, Console und Preview im Maxwell Renderview

7.3.2 Maxwell Fire

Maxwell Fire⁶ ist ein Vorschauenfenster, das Veränderungen an Szene und Objekten in Echtzeit berechnet und darstellt. Dieses Feature erspart dem Anwender den Zeitaufwand für Testrenderings, um Lichtsituationen, Objektpositionen oder Materialeigenschaften zu überprüfen. Darstellbar werden, neben direkten Objektveränderungen wie Skalierung, Rotation oder Veränderungen am Mesh, auch Schärfentiefe, *Caustics*, Schatten, sowie die Materialien mit ihren Eigenschaften. Allerdings sind umfangreiche Szenen, Materialien mit Displacement und komplexe *IORs* mit Maxwell Fire nicht immer gut darstellbar.

Ein Vorteil dieses Features und der Renderfunktion von Maxwell Render ist, dass ein Rendervorgang nur gestartet wird, wenn die Szene in Ordnung ist. Befindet sich kein Licht in der Szene oder einem Objekt ist kein Material zugewiesen wird eine entsprechende Meldung ausgegeben und der Vorgang abgebrochen.

⁵Maxwell Image File

⁶Fast Interactive Rendering

Im Gegensatz zu *GPU* basierenden Real-Timesystemen ist Maxwell Fire eine *CPU* basierendes Feature. Um dieses zu nutzen wird daher keine zusätzliche Hardware mit passender *GPU* benötigt. [Tec12]

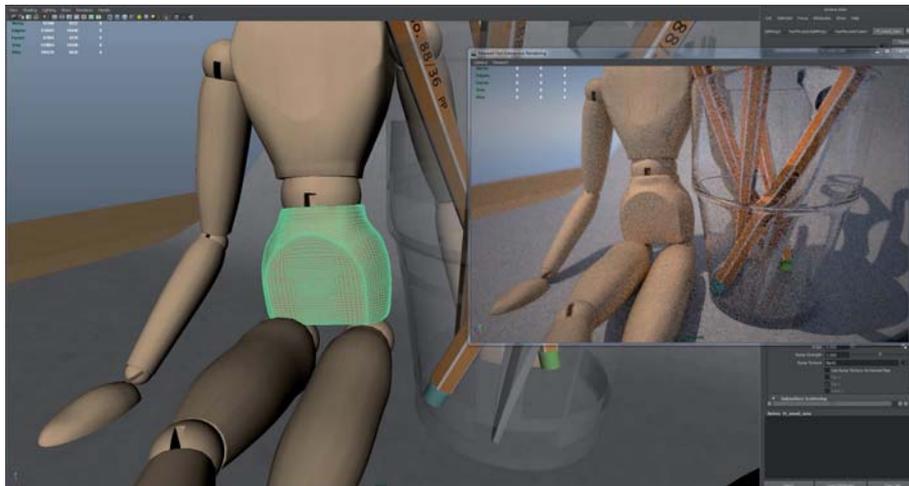


Abbildung 7.4: Anwendung des Vorschaufensters Maxwell Fire in Autodesk Maya

7.3.3 Rendering mit Maxwell

Wird ein Rendervorgang gestartet, öffnet sich der Maxwell Renderview. Hier integriert sind unter anderem ein Script Editor, Render Options und das Multilight™ Panel. Zunächst wird die Szene als MXS⁷ Datei exportiert [Wit09] und dann eine MXI Datei auf die Festplatte geschrieben. Die MXI Datei enthält die Informationen über Renderchannels und die Lichtquellen der Szene und wird für das Multilight™ Feature (siehe Kapitel 7.3.1) benötigt.

Gerendert wird in Maxwell Render immer das vollständige Bild. Am Anfang ist das Bild qualitativ sehr schlecht. Der Rendervorgang erfolgt progressiv, die Bildqualität wird also Schrittweise verfeinert. Diese Schritte werden als Sampling Level, oder abgekürzt als SL, bezeichnet. Je höher die Zahl des Levels, desto besser ist die Qualität des Bildes.

Ein Richtwert, mit dem ein Bild eine bestimmte Qualität erreicht, gibt es nicht. Die Anzahl der benötigten Level ist abhängig von der Szene selbst, der Lichtgestaltung und den verwendeten Materialien. Dennoch ist es oft nicht nötig einen höheren Sampling Level als 20 zu wählen. Es ist zu beachten, dass die Renderzeit sich mit jedem neuen Level verdoppelt. Hat der Rendervorgang von Level 2 auf Level 3 zehn Minuten gedauert, dauert der Vorgang von Level 3 auf Level 4 etwa 20 Minuten. [Tec12]

⁷Maxwell Scene File

⁸Bildquelle: <http://support.nextlimit.com/display/maxwelldocs/Rendering+in+Maxwell> | 11.07.2012

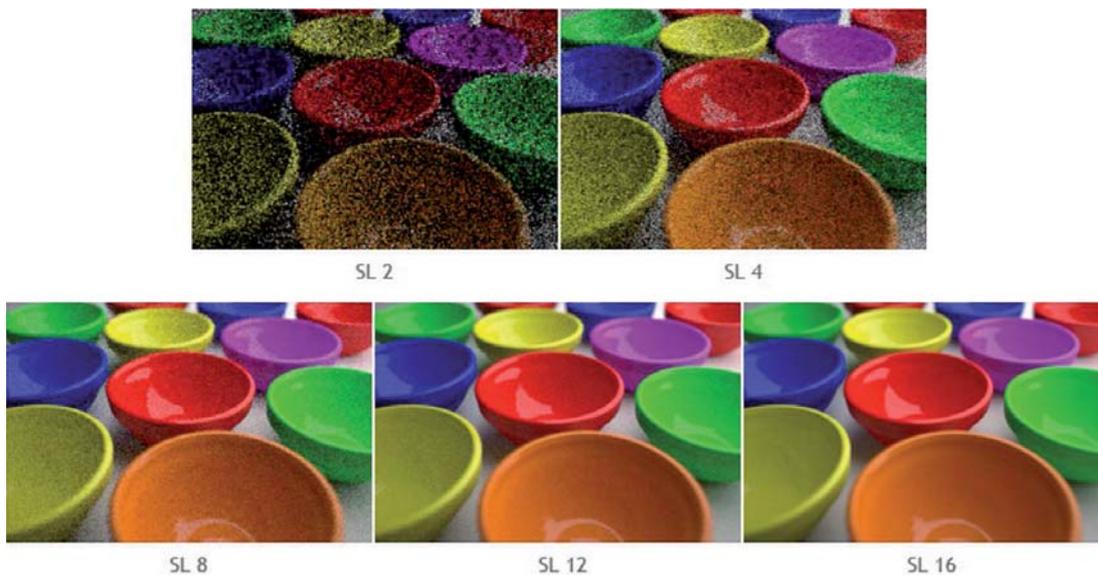


Abbildung 7.5: Fortschritt eines Renderings mit Maxwell Render⁸

In den Rendersettings von Maxwell Render kann die Anzahl der gewünschten Sampling Level festgelegt werden. Alternativ lässt sich der Rendervorgang über die Angabe einer genauen Zeitspanne in Minuten beeinflussen. Der Rendervorgang kann beliebig unterbrochen werden. Andernfalls wird der Vorgang beendet sobald die Zeit abgelaufen oder der gewünschte Sampling Level erreicht wurde.

Maxwell Render bietet die Möglichkeit, ein unterbrochenes oder beendetes Rendering fortzusetzen. Entspricht beispielsweise ein beendetes Rendering nicht den Qualitativen Ansprüchen, kann der Sampling Level und die Zeit erhöht und das Rendering mit den neuen Einstellungen fortgesetzt werden.

7.3.4 SimuLense™

Die in Maxwell Render integrierte Funktion SimuLense™ ermöglicht eine schnelle Simulation von Blendeffekten, die in der Realität bei Gegenlichtaufnahmen in der Film- und Fotoproduktion entstehen.

In den Rendersettings kann die SimuLense™ Funktion aktiviert werden. Der Anwender kann mit sehr einfach dann eine sogenannte Aperture Map und eine Obstacle Map einbinden. Die Aperture Map simuliert die Form der Blendenöffnung, die Obstacle Map dagegen den möglichen Einflüsse auf die Linse, wie Fingerabdrücke oder Wassertropfen. Beide Maps sind Faktoren, die den Verlauf der Lichtstrahlen beeinflussen und diesen Blendeffekt hervorrufen.

Zusätzlich kann die Lichtstreuung, das sogenannte Scattering, über die SimuLense™ Funktion je nach Anforderung angepasst werden. Die *Vignettierung* - eine in der Fotografie oft nicht beabsichtigte Abdunklung der Bildränder - kann ebenfalls eingefügt

werden.

7.3.5 Maxwell Grass

Maxwell Render Grass ist ein Tool, der dem Anwender das erstellen von Grasflächen beliebiger Größe ermöglicht. Nach anwählen eines Meshs kann durch einen Knopfdruck ein Maxwell Grass Generator zugefügt werden. Dieser enthält die benötigten Parameter, um die Grasfläche auf die individuellen Bedürfnisse anzupassen. Länge, Umfang, Neigung und Dichte der Grashalme kann angepasst werden. Die Färbung des Grases kann über ein entsprechend zugewiesenes Material je nach belieben angepasst werden.

7.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die allgemeine Funktionalität und die wichtigsten Key Features des Rendersystems Maxwell Render aufgezeigt und beschrieben.

Das Rendersystem kann derzeit in der Maxwell Render Suite 2.7.10 erworben werden. Kompatibel mit Mac, Windows und Linux, enthält die Suite das Maxwell Studio und den Maxwell Material Editor. Das Maxwell Studio ist ein Standalone Editor zum Bearbeiten einer Szene, der Maxwell Material Editor, ebenfalls eine Standalone Software, dient der Bearbeitung von Materialien. Zusätzlich enthalten sind Plugins für 3D-Visualisierungssoftware, wie Autodesk Maya und Houdini, und Post Production Software wie Adobe Photoshop und Nuke by the Foundary. Der Support seitens Next Limit Technologies erfolgt kostenlos via E-Mail oder in einem Forum, indem der Anwender zeitnahe eine Antwort, von anderen Nutzern oder Next Limit Technologies, auf seine Frage bekommt.

Maxwell Render ist ein leicht verständliches Rendersystem, das selbst mit wenig Aufwand Bilder in höchster Qualität liefert. Für den Anwender ist das Arbeiten mit Maxwell Render sehr komfortabel, die Parameter sind reduziert und basieren auf der Realität. Die reale Kamerafunktion, die im Maxwell Studio ermöglicht ein bestimmten Kamerasensor zu wählen und ein entsprechend korrektes Bild zu erhalten, erleichtern die Arbeit zusätzlich. Die Features Maxwell Fire und MultilightTM verkürzen den Workflow von der Erstellung der fertigen Szene bis zum finalen Rendering erheblich. Langwierige Erstellung von neuen Lichtsets oder zeitaufwendige Testrenderings gehören beim Arbeiten mit dem Rendersystem der Vergangenheit an.

Lediglich die hohe Renderzeit von Maxwell Render ist nachteilig, denn sie unterscheidet sich teilweise erheblich von denen anderer Systeme. Abhängig von dem Umfang der Szene und des Lichtsetups nimmt sich Maxwell Render unter Umständen viel Zeit um seine physikalische Korrektheit zu erfüllen. So sind *Caustics*, *Reflective Caustics*, Schatten oder Schärfentiefe, Faktoren, die diesen Rechenaufwand für sich beanspruchen. Zwar wird dieser Unterschied durch den geringeren Zeitaufwand beim Workflow etwas relativiert, doch die zum Rendern benötigte Zeit sollte dennoch großzügig kalkuliert werden.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Diese Bachelorarbeit befasst sich vordergründig mit der physikalischen Korrektheit von zwei verschiedenen Rendersystemen. Physikalische Korrektheit und Fotorealismus haben in den letzten Jahren im Bereich der computergenerierten Bilder an Bedeutung gewonnen. Solche Kriterien dienen heute häufig als Verkaufsargument, obwohl die zahlreichen Rendersysteme in ihrer Entwicklung nicht unterschiedlicher sein könnten. Daher werden im Rahmen dieser Arbeit die Rendersysteme Maxwell Render und V-Ray, die beide mit physikalischer Korrektheit beworben werden, auf dieses Kriterium untersucht. Als Maßstab für die physikalische Korrektheit dient eine Realfotografie, die zuvor aufgenommen und dann als 3D-Szenario umgesetzt wird. Ein direkter Vergleich der zwei Renderergebnisse mit dieser Fotografie geben Aufschluss über den Grad der physikalisch korrekten Simulation von Material- und Lichteigenschaften.

In den ersten Kapiteln dieser Arbeit erfolgt eine Einführung in das Thema. Nach der Motivation, dieses Thema zu bearbeiten, erfolgt eine Beschreibung der Problemstellung und die Formulierung der Zielsetzung. Eine kurze Zusammenfassung der Arbeit und der Ergebnisse verschafft einen Überblick über den Inhalt der Arbeit. Im Kapitel Stand der Technik wird die Definition des Fotorealismus und der physikalischen Korrektheit im Bezug auf die Erstellung computergenerierter Bilder erörtert und die wichtigsten Faktoren beschrieben. Anschließend werden vier bekannte Rendersysteme kurz vorgestellt.

Das Kapitel Grundlagen befasst sich zunächst mit der Fotografie, die schon seit jeher als Abbild der Realität bezeichnet wird. Doch besonders in den letzten Jahren hat diese Technik eine starke Entwicklung durchlebt. Inzwischen ist die Aufnahme hunderter digitaler Bilder innerhalb weniger Sekunden möglich, die häufig am Computer nachbearbeitet werden. Die Erstellung von künstlichen Bildern ist ein weiterer Einfluss, der Realaufnahmen manipuliert. Um aus einer 3D-Szene in ein Bild zu generieren, werden von Rendersystemen verschiedene Verfahren genutzt, die in unbiased- und biased-Verfahren unterteilt werden können. Unbiased-Verfahren liefern hierbei ein korrekteres Abbild der Lichtsituation der Szene.

Nachdem die Grundlagen zum Verständnis dieser Arbeit geschaffen sind, erfolgt

die Ausarbeitung eines Konzepts. In der Einleitung des Kapitels wird die Entscheidung, welche zwei Renderysteme genutzt werden, beschrieben und deren Vergleichbarkeit erörtert. Zwar kann ein Vergleich anhand zweier Bilder, die mit dem Renderystem generiert wurden, erfolgen, doch die hier fehlenden Faktoren wie der Aufwand der Nachbearbeitung sind nicht bekannt. Aus diesem Grund werden nachfolgend wichtige Anforderungen formuliert, die einen Vergleich ermöglichen. Nach der Erstellung einer Referenzfotografie soll diese in Form einer 3D-Szene nachgestellt und mit den beiden Redersystemen gerendert werden. Diese Renderergebnisse sollen dann rein visuell auf ihre physikalische Korrektheit untersucht werden. Als Maßstab dieses Kriteriums dient die Referenzfotografie.

Das zuvor ausgearbeitete Konzept wird im Kapitel Szenario umgesetzt. Zunächst erfolgt die Aufnahme der Fotografie unter verschiedenen Lichtsituationen. Dabei werden die verwendeten Parameter und Umgebungseinflüsse dokumentiert. Nach der Auswahl einer passenden Referenz beginnt die digitale Nachstellung. Es wird die Modellaufbereitung beschrieben, da selbst einfache Fehler im Modell im finalen Rendering sichtbar sind. Danach erfolgt der Szenenaufbau und die Anpassung der jeweiligen Kamera für das Renderystem. Erst dann erfolgt die individuelle Verarbeitung der Szene für die Generierung der Bilder durch Maxwell Render und V-Ray. Besonders wichtig ist hierbei die Erstellung der Materialien. Sie müssen dem realen Abbild annähernd ähneln und eine entsprechende Qualität liefern. Die anschließende Ausleuchtung erfolgt über das Physical Sun and Sky System der beiden Renderer. Eine weitere Lichtquelle der Szene ist die Tischlampe. Während die Simulation des Tageslichts bei beiden Systemen sehr ähnlich funktioniert, wird für die Tischlampe eine individuelle Lösung gefunden. Um ein finales Rendering zu generieren, fehlen nun die entsprechenden Rendereinstellungen. Maxwell Render hat sehr übersichtliche Parameter, während bei V-Ray der Linear Workflow beachtet und zahlreiche weitere Parameter angepasst werden müssen.

Anschließend wird der subjektive Eindruck der Autorin beschrieben. Dieser Eindruck zeigt die auffälligen Unterschiede zwischen Fotografie und Rendering auf. Zunächst werden die Renderergebnisse, die die Systeme nach der einfachen Eingabe der Realparameter geliefert haben, mit der Referenzfotografie verglichen. Besonders deutlich ist, dass Maxwell Render ohne weitere Manipulation die realen Eigenschaften von Kamera- und Lichtsituation physikalisch korrekt simuliert. Im Gegensatz dazu steht ein völlig überstrahltes Rendering von V-Ray, bei dem sogar der Bildausschnitt nicht korrekt ist. Durch die weitere Optimierung der Szenen ermöglichen beide Systeme eine weitere Annäherung an Fotografie.

Die Anwendbarkeit der beiden Systeme unterscheidet sich vor allem in ihrer Komplexität. V-Ray ist ein sehr komplexes System, das die Anwendung für verschiedenste Visualisierungen ermöglicht, aber entsprechende Kenntnisse fordert. Im Gegensatz dazu steht Maxwell Render als physikalisch korrektes System, das sehr realitätsnah und damit auch leicht verständlich ist. Weiterhin erfolgt eine Ergebnisformulierung, die die Ergebnisse des vorherigen Vergleichs aufgreift.

Im siebten und letzten Kapitel wird das Renderystem Maxwell Render vorgestellt. Die allgemeinen Funktionen wie die Kamera-, Material- und Lichtsimulation werden

aufgezeigt. Diese Faktoren basieren auf realen Parametern, die ebenfalls physikalisch korrekt berechnet werden. Die Key-Features des Systems ermöglichen die Manipulation der Lichtsituation noch während oder nach Abschluss des Rendervorgangs oder die Simulation von Blendeneffekten wodurch das Renderergebnis noch weiter verbessert werden kann.

Die Entwicklung, dass physikalische Korrektheit und Fotorealismus im Bereich der grafischen Datenverarbeitung immer bedeutender werden, wird auch in der Zukunft nicht einbrechen.

Der Anspruch an computergenerierte Bilder steigt stetig, wobei besonders der Arbeitsaufwand, bei gleichbleibender Qualität, durch Systeme wie Maxwell Render verringert wird. Im Laufe dieser Arbeit hat sich gezeigt, dass die Nachstellung der Realität durch ein solches Rendersystem deutlich einfacher und weniger Zeitaufwendig ist, als mit einem anderen Rendersystem. Dennoch bietet auch V-Ray die Möglichkeit sehr gute, und vor allem physikalisch korrekte Bilder zu generieren, was aber mit mehr Arbeitsaufwand verbunden ist. Weiterentwicklungen und Verbesserungen vereinfachen das Arbeiten mit dem System trotz seiner Komplexität.

Rendersysteme werden weiterhin immer weiterentwickelt und deren Qualität verbessert. Der Trend, Rendersysteme immer physikalisch korrekter zu machen, wird auch in der nächste Zeit weiter zu beobachten sein, da durch dieses Kriterium auch die Erstellung fotorealistischer Bilder immer einfacher wird. Hier haben verschiedene Systeme noch viel Entwicklungsspielraum um ihre Qualität zu verbessern und die Anwendbarkeit zu vereinfachen.

Glossar

Still	Als <i>Still</i> werden Einzelrenderings bezeichnet, die beispielsweise für Werbung in Printmedien eingesetzt werden.
Exif-Daten	Exif ist die Abkürzung für <i>Exchangeable Image File Format</i> . Exif bezeichnet bestimmte Daten, die in den Metadaten von digitalen Bildern gespeichert werden. Diese Exif-Daten umfassen beispielsweise Datum und Uhrzeit, die verwendete Kamera, Brennweite, Blende und ISO-Wert.
full CGI	<i>Full CGI</i> bezeichnet Filme oder Bilder, die vollständig an Computer generiert wurden. <i>Berühmte Beispiele für full CGI Filme sind unter anderem Findet Nemo (engl. Originaltitel: Finding Nemo), Toy Story (engl. Originaltitel: Toy Story) oder Merida (engl. Originaltitel: Brave).</i>
part CGI	Im Bereich des <i>part CGI</i> werden Computergenerierte Objekte direkt mit Fotografien oder Filmaufnahmen zusammengefügt. <i>Beispiel hierfür ist die in Abb. 1.1 gezeigte Produktion von Alice im Wunderland. Die Hintergründe sind vollständig am Computer entstanden, die Schauspieler wurden gefilmt.</i>
Crop-Faktor	Der Crop-Faktor beschreibt in der digitalen Fotografie das Verhältnis zwischen den Diagonalen eines 36mm breiten Vollformatsensors und eines kleineren Sensors.

HDR/HDRI	Ein <i>High Dynamic Range Image</i> , kurz <i>HDR</i> oder <i>HDRI</i> genannt, ist ein Hochkontrastbild, das aus mehreren Fotografien mit verschiedenen Belichtungsstufen (mindestens 1 überbelichtetes, 1 normal belichtetes und 1 unterbelichtetes Bild) zusammengefügt wird.
Emitter	Im Zusammenhang mit Licht wird die Lichtquelle, die die Lichtstrahlen aussendet, als Emitter (to emit = aussenden) bezeichnet.
BSDF	Die <i>Bidirectional Scattering Distribution Function</i> , kurz <i>BSDF</i> , besteht aus Algorithmen, die die Interaktion von Licht mit den verschiedenen Materialoberflächen beschreiben [Tec12].
Coating	Der Coating-Komponent in Maxwell Render ist eine sehr dünne Oberfläche, die den sogenannten „thin film interference“-Effekt erzeugt. Diese Oberfläche bricht das Licht und hat ein Muster zur Folge, das einem Regenbogenverlauf ähnelt. Das beste Beispiel für diesen Effekt ist die Oberflächenschimmer einer Seifenblase (Quelle: http://goo.gl/MYu9G 27.01.2013).
IOR	Der <i>Index of Refraction</i> , in deutsch auch Brechungsindex oder Brechzahl, ist das Verhältnis zwischen der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und der Lichtgeschwindigkeit in einem bestimmten Medium.
CPU	<i>Central Processing Unit</i> , kurz <i>CPU</i> , ist die zentrale Verarbeitungseinheit eines Computersystems [Kul12].
GPU	Die <i>GPU</i> , <i>Graphical Processing Unit</i> , ist die Grafikverarbeitungseinheit in einem Computersystem [Kul12].

Vignettierung	Eine Vignettierung ist eine Verdunklung der Bildränder oder -ecken. Ursache für diesen Effekt ist häufig das verwendete Objektiv und kann durch die Verwendung von Zubehör, wie Filter, verstärkt werden.
Lens Flare	Als Lens Flare bezeichnet man Blendenflecken oder Linsenreflexionen, die bei Gegenlichtaufnahmen auftreten.
Caustics	Caustics, deutsch Kaustiken, bezeichnet einen Lichteffect. Dieser entsteht durch die Bündelung und Brechung von Lichtstrahlen. Sie äußern sich im Bild als hellere Flächen, die durch die Konzentration vieler Lichtstrahlen auf diese bestimmte Fläche entstehen.

Literaturverzeichnis

- [Eil11] EILER, Jan: *High Dynamic Range Imaging Grundlagen, Anwendungsbeispiele und Softwarelösungen am Beispiel der Portraitfotografie*, Fachbereich Informationstechnik-Elektrotechnik-Mechatronik, Technische Hochschule Mittelhessen. April 2011
- [JP10] JONSSON, Erik ; PETERSON, Johan: *Distribution Ray Tracing*. <http://johanpetersson.com>, Dezember 2010
- [Kul12] KULAS, Oliver: *Prozedurale Generierung von Echtzeit-optimierten 3D-Stadtmodellen*, Fachbereich Informationstechnik-Elektrotechnik-Mechatronik, Technische Hochschule Mittelhessen. Juni 2012
- [PH10] PHARR, Matt ; HUMPHREYS, Greg: *Physically Based Rendering - From Theory to Implementation*. Second Edition. Morgan Kaufmann, 2010. – ISBN 978-0-12-375079-2
- [RS07] RACKWITZ, Anja ; STERNER, Markus: *Photorealistic Rendering with V-ray, Computer Science, University of Gävle, Sweden*. Juni 2007
- [Scho6] SCHMIDT, Björn: *Raytracing und Szenengraphen*, Fachbereich Informatik und Mathematik, Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt am Main, Diplomarbeit, November 2006
- [Sch10] SCHMIDT, Lars: *Analyse von Lichtsetzungstechniken der Fotografie und die Umsetzung dessen in den Bereich 3D*, Fachbereich Informationstechnik-Elektrotechnik-Mechatronik und Mathematik, Fachhochschule Gießen Friedberg, Diplomarbeit, Januar 2010
- [Sta10] STAMM, Johannes: *Analyse und Vergleich von Programmen zur glaubhaften Zerstörung von virtuellen Objekten*, Fachbereiche Informationstechnik-Elektrotechnik-Mechatronik und Mathematik, Naturwissenschaften und Datenverarbeitung, Fachhochschule Gießen Friedberg, Diplomarbeit, Juni 2010
- [Tec12] TECHNOLOGIES, NextLimit: *Maxwell Render Documentation*. Angel Cavero 2, 28043 Madrid, Spain : <http://support.nextlimit.com/>, August 2012

- [Weio7] WEISSMAYR, Birgit: *Fotorealistische Beleuchtungsmodelle in der Computergrafik - ein kritischer Vergleich aktueller Techniken*, Digitale Medien, Fachhochschule Hagenberg, Diplomarbeit, November 2007
- [Wito9] WITTWER, Florian: *Vergleich globaler Beleuchtungsmodelle für Image Based Lighting über HDR-I*, Fachbereich Informationstechnik-Elektrotechnik-Mechatronik und Mathematik, Fachhochschule Gießen Friedberg, Diplomarbeit, Dezember 2009