

# **Optimierung der Lichtberechnungen in Animationsfilmen anhand der Rendersoftware V-Ray und Mental Ray**

Studiengang Medieninformatik

## **Bachelorarbeit**

vorgelegt von

**Marius Weitzel**

geb. in Bad Homburg vor der Höhe

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk  
Koreferent der Arbeit: Bachelor of Science Jan Salge

Friedberg, 2013



# Danksagung

Ich möchte diese Zeilen dazu nutzen mich bei einigen meiner Mitmenschen zu bedanken, ohne die diese Arbeit kaum möglich gewesen wäre. Dazu als Erstes bei Sabine Langkamm M. H. Edu. und Prof. Dr. Cornelius Malerczyk, die mir die ungeahnten Möglichkeiten der Computergrafik gezeigt haben. Ohne sie hätte ich die Begeisterung dafür und die Idee zu diesem Thema wahrscheinlich nicht gehabt.

Außerdem bei all meinen Freunden, die mir während dieser Arbeit moralisch zur Seite standen oder einfach nur Verständnis zeigten, dass ich so lange kaum Zeit hatte. Ganz besonders möchte ich mich bei meiner besten Freundin, Katharina Stroh, dafür bedanken, dass sie mir immer wieder Mut machte, mir moralisch zur Seite stand und das zu jeder Uhrzeit. Natürlich auch bei meinen Eltern, Karin & Horst Weitzel, ohne die dieses Studium für mich nicht möglich gewesen wäre. Genauso wie für ihre und die Unterstützung meiner Schwester, Kristiana Weitzel, besonders während dieser Arbeit. Nicht zuletzt auch bei meinen Referenten B. Sc. Jan Salge und Prof. Dr. Cornelius Malerczyk für die fachkräftige Unterstützung, ganz besonders für die außerhalb der Dienstzeit an Abenden und Wochenenden. Genauso bei meinen fleißigen Korrekturlesern, die mir besonders in der Endphase noch sehr geholfen haben.

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

Marius Weitzel



# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>	<b>i</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>iii</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Problemstellung . . . . .	3
1.3 Zielsetzung . . . . .	5
1.4 Aufbau und Zusammenfassung . . . . .	6
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>9</b>
2.1 Globale Beleuchtung durch Photon Mapping . . . . .	9
2.2 DreamWorks und Pixar . . . . .	11
2.3 Globale Beleuchtung in Echtzeit . . . . .	12
2.4 Zusammenfassung . . . . .	13
<b>3 Beleuchtungsmodelle</b>	<b>15</b>
3.1 Lokale Beleuchtungsmodelle . . . . .	15
3.2 Globale Beleuchtungsmodelle Mental Ray . . . . .	16
3.2.1 Global Illumination . . . . .	16
3.2.2 Final Gathering . . . . .	19
3.3 Globale Beleuchtungsmodelle V-Ray . . . . .	21
3.3.1 Irradiance Map . . . . .	22
3.3.2 Photon Map . . . . .	24
3.3.3 Brute Force . . . . .	26
3.3.4 Light Cache . . . . .	27
<b>4 Methodikentwicklung für Mental Ray</b>	<b>31</b>
4.1 Aufbau der Szene . . . . .	31
4.2 Problemanalyse . . . . .	33

4.3	Verfahrensentwicklung . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Methodikentwicklung für V-Ray</b>	<b>53</b>
5.1	Aufbau der Szene . . . . .	53
5.2	Problemanalyse . . . . .	54
5.3	Verfahrensentwicklung . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Anwendung der Methodiken</b>	<b>63</b>
6.1	Anwendung der Methodik für Mental Ray . . . . .	63
6.2	Anwendung der Methodik für V-Ray . . . . .	67
6.3	Fazit . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>71</b>
7.1	Resultate der Mental Ray Methodik . . . . .	71
7.2	Konsequenz der V-Ray Methodik . . . . .	73
7.3	Fazit . . . . .	74
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>77</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	77
8.2	Ausblick . . . . .	79
	<b>Glossar</b>	<b>81</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>83</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Minions aus „Ich - einfach unverbesserlich“ . . . . .	1
1.2	Schattenflecken in einem Still-Rendering . . . . .	3
1.3	Color Bleeding der roten Wand auf den weißen Drachen . . . . .	4
1.4	Unterschied Primary (links) und Secondary Bounces(rechts) . . . . .	5
2.1	Detailverbesserung durch geometriebasierte Helligkeitsbestimmung . . . . .	10
3.1	Lokale Beleuchtungsmodelle Ambient, Lambert und Phong . . . . .	16
3.2	Nur direkte Beleuchtung & Global Illumination . . . . .	17
3.3	Links Global Illumination - Rechts Final Gathering . . . . .	19
3.4	Links nur GI - rechts GI mit FG . . . . .	21
3.5	Nur Irradiance Map als Primary Bounces . . . . .	23
3.6	Nur Photon Map als Primary Bounces . . . . .	25
3.7	Nur Brute Force als Primary Bounces (Renderzeit 95 Minuten) . . . . .	27
3.8	Nur Light Cache als Primary Bounces . . . . .	28
3.9	Unterschied Primary und Secondary Bounces . . . . .	29
4.1	Testszene mit Wireframe . . . . .	31
4.2	Übersicht der Animation . . . . .	32
4.3	Identische Bilder mit großem zeitlichen Unterschied . . . . .	33
4.4	Keine und zu starke Photonintensität . . . . .	34
4.5	Photon Map Cache Probleme in Animationen . . . . .	34
4.6	Problem vorberechnete PM in Verbindung mit Kaustiken . . . . .	35
4.7	Final Gathering mit sehr geringen Werten . . . . .	36
4.8	FG Map mit zu geringer Auflösung verwendet . . . . .	37
4.9	FG Map aus falschem Frame verwendet . . . . .	38
4.10	Verschiedene Werte der Schattenberechnung . . . . .	40
4.11	Verschiedene Intensity Werte des Arealights . . . . .	41
4.12	Photon Intensity . . . . .	42
4.13	Zehnerpotenzen der Global Illum Photons - 10k bis 10M . . . . .	42
4.14	Accuracy Auswirkung auf Photon Map . . . . .	43
4.15	Nachträgliche Photon Intensity Anpassung . . . . .	44
4.16	Nachträgliche Photon Intensity Anpassung . . . . .	44
4.17	Optimierung der Global Illum Photons . . . . .	45

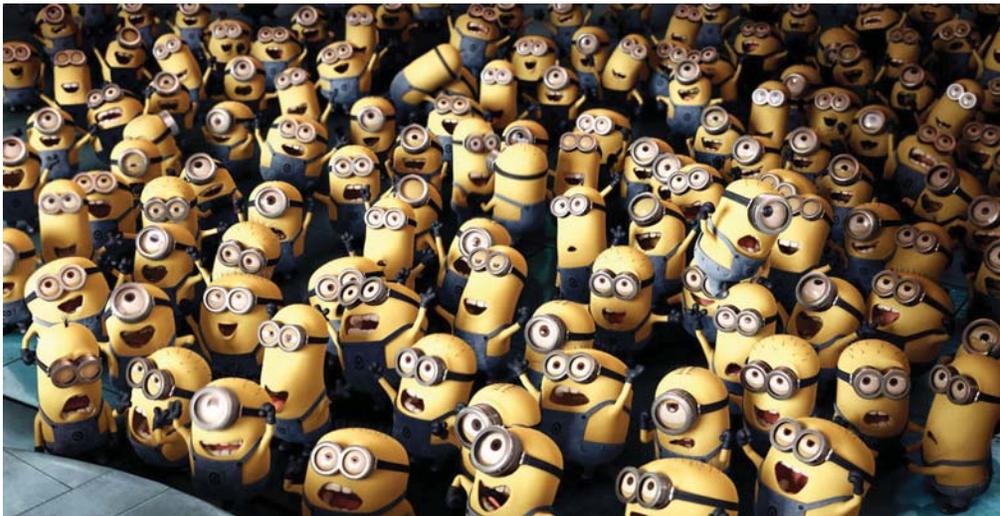
4.18	Map Visualizer in Maya . . . . .	46
4.19	Raytracing Limits in den Rendersettings . . . . .	46
4.20	Veranschaulichung der Reflection- und Refractionlimits . . . . .	47
4.21	Point Interpolation 1 und 100 . . . . .	48
4.22	Links Point Density von 0.5 und rechts 1.0 . . . . .	48
4.23	Finale Renderings der Methodik . . . . .	49
4.24	Links Defaultwerte - rechts finale Einstellung . . . . .	50
4.25	Links FG Map für einzelnen Testframe - rechts über mehrere . . . . .	51
4.26	Map Visualizer aus Kameraperspektive . . . . .	51
5.1	Aufbau der V-Ray Testszene mit Gitternetz . . . . .	53
5.2	Bild mit Brute Force Verfahren gerendert, 449 Sekunden . . . . .	55
5.3	Arbeitsspeicherauslastung während der Photon Map Berechnung . . . . .	55
5.4	Light Cache als Primary und Secondary Engine . . . . .	57
5.5	Übersicht der direkten Beleuchtung während der Einrichtung . . . . .	58
5.6	Finales Ergebnis der V-Ray Methodikentwicklung . . . . .	61
6.1	Titel des Films für Mental Ray . . . . .	63
6.2	Übersicht der Szene mit Lichtern . . . . .	64
6.3	Unterschied PM rebuild aus und an . . . . .	65
6.4	Links die Ausgangsbasis - Rechts das Ergebnis nach der Optimierung . . . . .	65
6.5	Links die Ausgangsbasis - Rechts die optimierte Fassung . . . . .	66
6.6	Links die Ausgangsbasis - Rechts nach der Methodikanwendung . . . . .	67
6.7	Überblick über die Evaluationsszene . . . . .	68
6.8	Evaluationsszene eins mit Aschenbecher . . . . .	68
6.9	Evaluationsszene zwei mit Interview . . . . .	69
7.1	Final Gathering Blotches . . . . .	72
7.2	Finales Ergebnis der Mental Ray Methodikentwicklung . . . . .	73
7.3	Finales Ergebnis der V-Ray Methodikentwicklung . . . . .	74

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Die Branche um computergenerierte Bilder und Filme wächst seit Jahren stetig. Die Filmindustrie nutzt CG Elemente um noch actionreichere Filme zu produzieren. Selbst in der Werbung wird davon Gebrauch gemacht, um das Produkt noch effektvoller bewerben zu können. Aber egal zu welchem Zweck Animationen eingesetzt werden, sie sollen immer realistisch wirken. Nicht unbedingt fotorealistisch, aber in einem „gewohnten Rahmen“.



**Abbildung 1.1:** „Ich - einfach unverbesserlich“ Quelle: <http://www.animationsfilme.ch>

In der Abbildung 1.1 sieht man sofort, dass die Minions nicht real sind, aber sie entsprechen den gewohnten physikalischen Gesetzen was Licht, Schatten und Materialien angeht, dadurch empfindet man sie nicht als störend. Im Grunde sollen dem Betrachter keine optischen Anomalien auffallen, die eine computergenerierte Herkunft klar machen würden. Dieser Realismusanspruch stellt stetig steigende Anforderungen an Materialien und Lichter. Gab es

vor 20 Jahren noch sehr simple Beleuchtungsmethoden für computergenerierte Filme, so haben sich mit der Zeit nicht nur die Lichtquellen sondern auch die Berechnungsverfahren sehr stark entwickelt. Zum Beispiel benutzte man ambiente Lichtquellen zur generellen Aufhellung einer gesamten Szene, um so den Eindruck von globaler Beleuchtung zu erzeugen. Heute benutzt dies nahezu niemand mehr. Renderer benutzen globale und indirekte Beleuchtungen um das reelle Verhalten von Licht nachzubilden. Es wird von jedem Material zu einem bestimmten Bruchteil wieder reflektiert und gestreut. Meist kann man die Anzahl dieser sogenannten „Secondary Bounces“ bestimmen um so stark ansteigende Renderzeiten zu vermeiden. Auch die Materialien wurden sehr stark weiter entwickelt. Unterschied man früher primär nur zwischen diffusen und reflektierenden Anteilen eines Shaders, kann man heute zum Beispiel ganze Autolacke, mit ihren vielen Schichten sowie deren Oberflächenrauheit, nachbilden. Diese Berechnung kostet, trotz gesteigener Rechenleistung, immer noch mehr Zeit. So kommt zu diesem Anspruch noch zusätzlich die Zeit als Faktor hinzu. Kann man für ein Still Rendering (ein Einzelbild) noch eine höhere Renderzeit in Kauf nehmen, so stößt man bei Animationen schnell an Grenzen, was die Effizienz betrifft. Realismus hilft nichts, wenn der Trailer zum Kinofilm zwei Tage nach dessen Start fertig wird.

Die Leistung moderner Computer steigt zwar, aber die Berechnungen werden auch immer komplexer und somit zeitintensiver. Sehr simple und vereinfachte Beleuchtungen rendern zwar in kürzester Zeit, sehen aber im Umkehrschluss auch danach aus, also die Qualität lässt dann zu wünschen übrig. Globale Beleuchtungsverfahren sind in ihrer Berechnung sehr komplex. Sie lassen sich aber zum Beispiel über Abtastraten und Grenzwerte beeinflussen. Primär ist die Renderzeit vom Inhalt der Szene abhängig, das heißt eine geringe Abtastrate erzeugt zwar ein höheres Rauschen, kann aber unter Umständen im finalen Bild überhaupt nicht mehr ersichtlich sein. Eine komplexere Szene mit vielen kleinen Details dagegen wird wahrscheinlich von sich aus schon länger brauchen und dazu eine deutlich höhere Rate benötigen. Die Qualität ist daher indirekt von der Renderzeit abhängig. Jedoch gibt es Berechnungen, die sehr lange dauern aber nur einen marginalen Einfluss auf das Ergebnis haben. Diese gilt es zu eliminieren um Rechenleistung nicht zu verschwenden.

Kleinere Beleuchtungsfehler, wie die dunklen Flecken in den Ecken oder die fleckige Wand in der Abbildung 1.2, fallen in einem Still noch nicht unbedingt auf. Die fleckige Wand könnte zum Beispiel auch die Maserung der Tapete sein. Dadurch, dass das Licht in jedem Frame neu berechnet und approximiert wird und dass an dieser Stelle offensichtlich etwas in der Berechnung nicht stimmt, kommt in einem Kameraschwenk ungewollt „Bewegung in die Wand“. Das bedeutet, diese Flecken behalten nicht ihre absolute Position an der Wand bei, sondern scheinen sich auf dieser zu bewegen und ziehen so ungewollt die Aufmerksamkeit auf sich. Auslöser dafür kann sein, dass die gewählte Berechnungsmethode nicht präzise genug ist, zum Beispiel die Abtastrate viel zu gering oder die Interpolation der Lichtstrahlen zu grob eingestellt wurde. Aber auch die Lichtquellen und/oder Materialien können dafür verantwortlich sein. Diese Problematik, im Besonderen für Animationen, ist meistens von der Kombination aus Geometrien, Materialien, Lichtquellen und Animationen abhängig. Zur Fehleridentifizierung benötigt man oftmals viel Zeit oder Erfahrung, die man aber auch erst mit der Zeit sammelt. Es gilt an dieser Stelle eine ausgewogene Balance zu finden, um



**Abbildung 1.2:** Schattenflecken in einem Still Rendering Quelle: <http://goo.gl/vcV95>

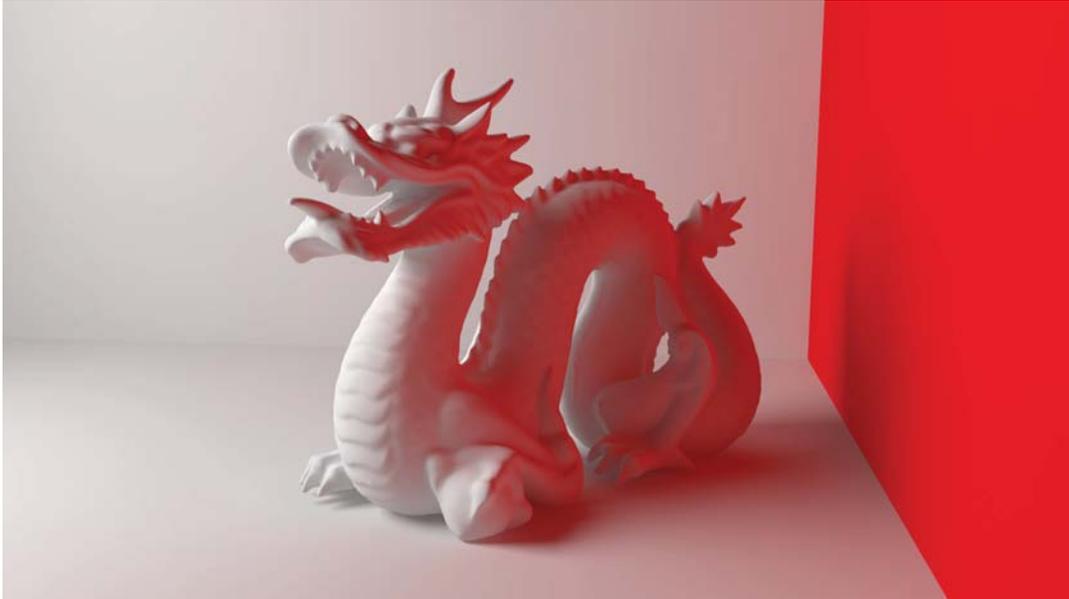
den hohen Qualitätsansprüchen gerecht zu werden, aber zugleich nicht unnötig Zeit und Rechenleistung zu verschwenden. Denn Renderzeit ist nichts anderes als Rechenleistung mal Zeit. Entweder benötigt man viel Zeit mit geringer Rechenleistung oder viel Rechenleistung in kürzester Zeit. Beides ist im Normalfall kostenintensiv und nie in einem unbegrenzten Umfang vorhanden. Das heißt es muss gleichzeitig eine Balance zwischen Qualität und Zeiteffizienz gefunden werden.

## 1.2 Problemstellung

Ein erster Faktor dieser Balance sind die Lichtquellen. Zur Beleuchtung computergenerierter Szenen gibt es mehrere Arten von Lichtquellen für unterschiedliche Anwendungsbereiche. Das Arealight, um Leuchtstoffröhren oder ähnliche Lichtquellen nachzubilden, oder das Spotlight, um Halogenstrahler oder äquivalente nachzuempfinden. Diese bringen dementsprechend unterschiedliche Beleuchtungseigenschaften mit sich und erzeugen dadurch auch verschiedene Fehler. Das heißt bereits die Kombination dieser Lichtquellen kann zu ersten Fehlern im Rendering führen.

Dazu kommen Materialien (sogenannte Shader) mit einer Vielzahl an Einstellungsparametern, wie Diffuse Color, Roughness Amount, Self-Illumination und Reflection Color, um nur einige zu nennen. Diese notwendig, um Materialien wie Holz, Beton oder Autolacke nach-

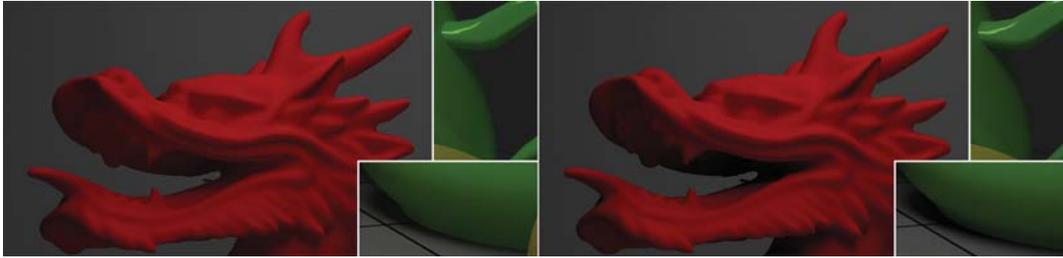
empfinden zu können. Parameter für „Roughness Amount“ oder eine Bump Map erzeugen eine minimale Veränderung der Oberflächenstruktur. Das heißt sehr feine Details, die durch unpräzise Beleuchtungsmethoden ebenfalls zu Fehlern führen können. Desweiteren bereiten oft Parameter, die Einfluss auf die Reflexionseigenschaften haben, Probleme, da sie das Licht noch einmal zusätzlich im Raum verteilen und somit die Fehlerwahrscheinlichkeit erhöhen.



**Abbildung 1.3:** Color Bleeding der roten Wand auf den weißen Drachen

Zu den bereits vielseitigen Wechselwirkungsmöglichkeiten zwischen Lichtquellen und Materialien kommen noch die unterschiedlichen Methoden zur Berechnung der globalen Beleuchtung hinzu. Zunächst wird zwischen Primary und Secondary Bounces unterschieden. Primary Bounces sind Punkte, die direkt sichtbar und somit direkter Bestandteil des finalen Bildes sind. Sie transportieren auch die meiste Lichtenergie und sind maßgeblich für Lichteffekte, wie Farbblutungen (sogenanntes Color Bleeding, siehe Abb. 1.3), wenn die Wandfarbe mit in die Farbe eines Objekts einfließt, verantwortlich. Der Einfluss von Secondary Bounces hingegen spiegelt sich nur noch in Nuancen wider und zeigt sich zum Beispiel in der Detailverbesserung von Schatten.

Oft sind sie nur im direkten Vergleich erkennbar, wenn ein Bild mit und ohne Secondary Bounces gerendert wurde. Hauptsächlich sind sie dazu da, Licht so oft wie möglich in der Szene aufprallen zu lassen, da sie dabei aber wenig an Details verändern, kann diese Berechnung deutlich ungenauer sein. Trotz ihrer geringeren direkten Sichtbarkeit wirkt das Bild ohne etwas unrealistischer. Jede Berechnungsmethode hat natürlich ihre Stärken und Schwächen. Die adäquate Kombination der Methoden für die aktuellen Anforderungen zu wählen bedarf daher eines gewissen Vorwissens um ein hochwertiges Endergebnis erzielen zu können. Oft gilt, je höher die Qualität sein soll, desto länger auch die Renderzeit. Im Umkehrschluss ist eine lange Renderzeit aber noch kein Garant für hohe Qualität. Bereits



**Abbildung 1.4:** Unterschied Primary (links) und Secondary Bounces(rechts)

kleine Änderungen der Werte können die Berechnungszeit in die Höhe schießen lassen, aber das Ergebnis nur marginal verändern. Das heißt, höhere Genauigkeiten bei der Berechnung oder noch präzisere Verfahren sind nicht unbedingt der Schlüssel zum Erfolg. Auch ist es sehr von der Szene abhängig, wie stark Rauschen oder Flickering auftritt. Die Problematik besteht darin, die richtigen Werte für die aktuellen Anforderungen der Szene in kürzester Zeit zu finden.

Die jeweiligen Auswirkungen der drei Oberbegriffe Lichtquellen, Shader und globale Beleuchtungsmodelle zueinander sind durch die komplexe Abhängigkeit voneinander nicht trivial. Zusätzlich sind sie vom Umfang und der Anzahl der Geometrien abhängig und ob es sich um eine Innen- oder Außenszene handelt. Das heißt, treten solche Probleme gegen Ende der Produktionsphase auf, kann es dazu führen, dass das Endergebnis nicht den erwarteten Qualitätsansprüchen genügt oder sich verzögert. Die Problemanalyse kann sich durch die komplexe Korrelation der verschiedenen Parameter als äußerst schwierig gestalten und dementsprechend viel Zeit kosten. Zwar bieten die Hersteller natürlich eine Dokumentation zu ihren Renderern an, aber diese befassen sich im Allgemeinen nur mit der Wirkung des einzelnen Parameters, aber nicht mit der Gesamtwirkung in der Szene. Man muss sich durch viel Probieren erarbeiten, welche Auswirkung der Parameter X auf das Gesamtbild hat.

## 1.3 Zielsetzung

Diese Arbeit soll zum einen die Auswirkungen und Effekte der Parameter für Lichtquellen und globale Beleuchtungsmodelle analysieren und zum anderen in einer Methodik zusammenfassen, dass man sie so einfach wie möglich auf weitere Projekte anwendbar sind. Um nicht nur gegen Ende der Produktionsphase Fehler leichter aufspüren zu können, sondern unter Umständen bereits von Beginn an schneller qualitativ zufriedenstellendere Ergebnisse mit einer nicht unerheblichen Zeitersparnis erzeugen zu können. Dazu sollen für den jeweiligen Renderer Testszene gebaut werden. Darin soll versucht werden, häufig auftretende Fehler nachzubilden und diese, unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln, zu beseitigen. Im Einzelnen bedeutet das zu analysieren, wann Effekte wie Blotches, Schattenflimmern, Flickern oder weißes Rauschen auftreten und deren Ursache zu ergründen. Also welche Parameter primär die Schuld dafür tragen und inwiefern man sie

verändern kann oder sollte ohne einen Qualitäts- oder Zeitverlust beim Rendern in Kauf nehmen zu müssen. Die Qualität und Korrektheit des Bildes sowie die Zeiteffizienz stehen dabei immer im Vordergrund. Diese Analyse und Methodikentwicklung soll jeweils für MentalRay und V-Ray durchgeführt werden. Die Übertragbarkeit der entwickelten Methodik soll anhand weiterer Szenen evaluiert und getestet werden, um eine umfangreichere Aussage über die Anwendbarkeit der Methodik treffen zu können. Das Ziel ist es damit ein methodische Grundlage zu bieten, mit der es möglich sein soll zeiteffizient störfreie Animationsfilme erzeugen zu können.

### 1.4 Aufbau und Zusammenfassung

Der Kern dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Problematik der Berechnung zur globalen Beleuchtung in Mental Ray und V-Ray für Animationen. Dazu wird jeweils eine Methodik entwickelt, die es ermöglichen soll störfreie Animationsfilme in kürzester Zeit produzieren zu können. Diese Entwicklungen werden anhand von weiteren Szenen aus Animationsprojekten evaluiert, um die erarbeiteten Ergebnisse bestätigen zu können.

Im zweiten Kapitel werden dazu, einige der bisherigen Arbeiten auf diesem Gebiet zusammengetragen. Neben Arbeiten zu Verbesserungen, Weiterentwicklungen oder Änderungen bestehender Verfahren zeigt sich bereits zu Beginn, dass der Fokus der Arbeiten auf diesem Gebiet selten auf Animationen liegen. Die Berechnungsmöglichkeiten in Echtzeit kompensieren zwar wenigstens die Bewegungen in der Szene, legen aber mehr Wert auf höhere Framezahlen als Qualität. Eine Ausnahme stellen die Animationsstudios mit ihren Veröffentlichungen dar. Sie fokussieren zwar speziell auf Animationen, aber generell für ihre Systeme und mit der Möglichkeit auf großen Renderfarmen diese zu berechnen.

Das dritte Kapitel wird dazu genutzt, um das notwendige Grundwissen zur globalen Beleuchtung zu vermitteln. Dabei wird mit den lokalen Beleuchtungsmodellen im Kleinen angefangen und sich bis zu den globalen Beleuchtungsverfahren der Renderer Mental Ray und V-Ray gesteigert. Dazu werden die in dieser Arbeit angesprochenen Verfahren genauestens beschrieben, um das Verständnis in den späteren Methodikkapiteln zu erleichtern. Falls in diesen Unklarheiten zu Attributen der Verfahren auftauchen, ist dieses Kapitel als eine Art Nachschlagemöglichkeit zu verstehen.

Die Kapitel vier und fünf beschäftigen sich mit der Methodikentwicklung für Mental Ray und V-Ray. Zunächst werden die möglichen Probleme der Verfahren analysiert und für V-Ray eine Auswahl getroffen, welche sich für die Methodik eignen. Im Abschnitt der Verfahrensentwicklung wird der Verlauf so präzise wie möglich beschrieben, um die Nachvollziehbarkeit zu vereinfachen. Dabei werden die Schritte häufig mit Bildern der Testszene unterstützt.

Im sechsten Kapitel werden die erarbeiteten Methodiken anhand von Szenen aus Animationsfilmen früherer Projekte evaluiert. Zum einen sollen damit die erarbeiteten Werte bestätigt werden und zum anderen die Übertragbarkeit auf weitere Projekte überprüft wer-

den. Die Variante für Mental Ray bestätigt dabei die hervorragenden Ergebnisse aus der Methodikentwicklung. V-Ray dagegen bestätigt zwar ebenfalls die Erkenntnisse des entwickelten Verfahrens, aber leider nicht zu Gunsten des Anspruchs dazu. Die Berechnung der globalen Beleuchtung zeigt sich als weniger zeitaufwändig und somit auch kaum optimierbar, als die anschließende Bildsynthese.

Das siebte Kapitel fasst die Ergebnisse der Methodiken und ihrer Evaluationen zusammen und zeigt noch einmal genutzte Vorteile und aufgetretene Schwachstellen auf. Am Ende wird ein Fazit über die entwickelten Methodiken gezogen und die für Mental Ray erreichten Optimierungsmöglichkeiten mit ihrem Zeitgewinn aufgezeigt.

Im achten und letzten Kapitel wird die gesamte Arbeit zusammenfassend in einem Kapitel nochmal prägnant wiedergegeben und mit einem Ausblick auf weitere Arbeiten abgeschlossen.



## Kapitel 2

# Stand der Technik

Im vorherigen Kapitel wurden die Motivation und das Ziel dieser Arbeit erläutert. Das Themengebiet der Computergrafik ist sehr komplex und bietet eine Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten. Die spezielle Problematik zwischen globaler Beleuchtung und Animation wurde bisher nur kaum thematisiert. Deshalb werden in diesem Kapitel einige Veröffentlichungen beschrieben, die das Thema umreißen oder zumindest ein gemeinsames Teilgebiet umfassen.

Falls man auf dem Gebiet der globalen Beleuchtung in der Computergrafik nicht sehr firm ist, kann es möglicherweise ratsamer sein zuerst das Grundlagen Kapitel 3 Beleuchtungsmodelle zu lesen, um Verständnisschwierigkeiten vorzubeugen.

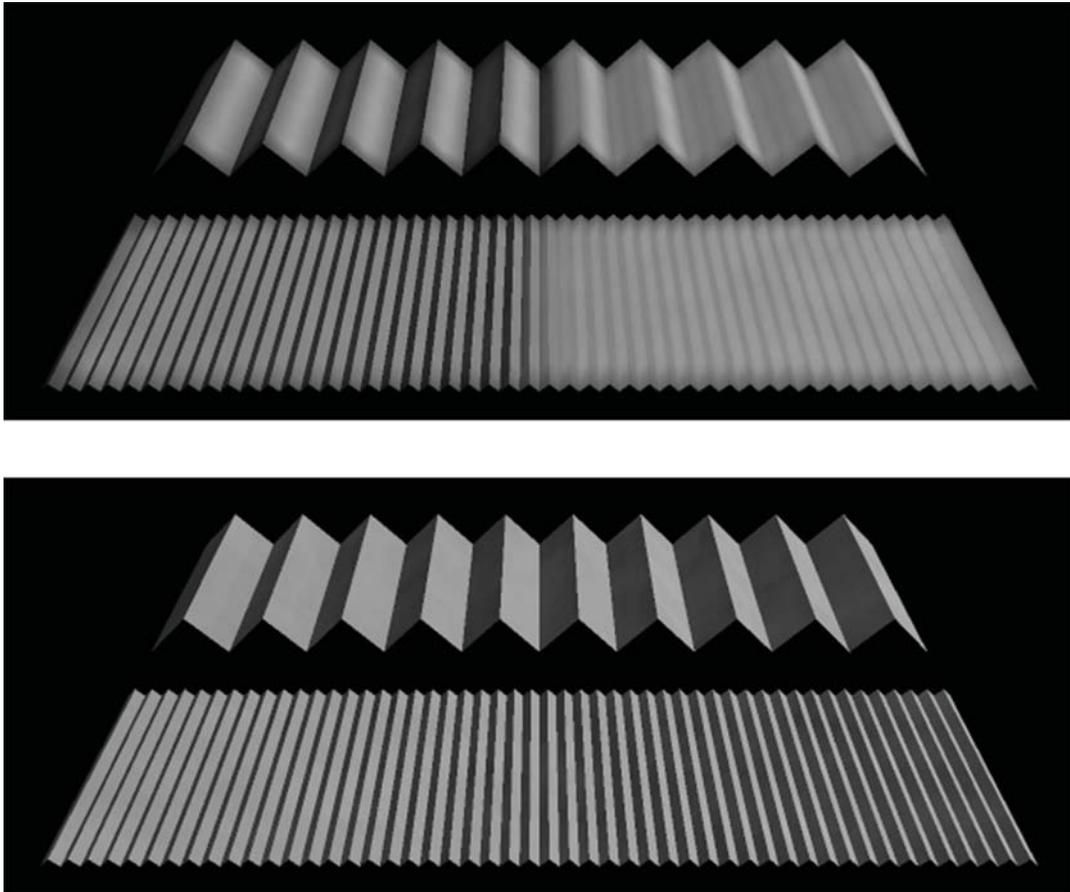
### 2.1 Globale Beleuchtung durch Photon Mapping

Viele Arbeiten beschäftigen sich mit dem Photon Mapping zur globalen Beleuchtung. Wie im Grundlagenkapitel 3.3.2 Photon Map beschrieben, wird eine bestimmte Zahl an Partikeln emittiert, um die globale Beleuchtung zu simulieren. Dieses Verfahren wurde 1996 von Henrik Wann Jensen veröffentlicht [Jen96]. Eine der Hauptstärken liegt in der effektiven Berechnung von Kaustiken. Daher wird es oft in Verbindung mit lichtdurchlässigen Objekten oder Wasser verwendet. Der Rechen- und Arbeitsspeicheraufwand ist sehr hoch, deshalb wird es meist für Still Renderings benutzt.

Einige Jahre später hielt Jensen auf der Siggraph 2001 einen Kurs zur Implementierung des Photon Mappings in einen klassischen Ray Tracer [Jen01], womit die globale Lichtberechnung beschleunigt werden konnte. Gleichzeitig hielten weitere Vorteile des Photon Mappings Einzug.

In den folgenden Jahren wurde das Verfahren immer wieder von verschiedenen Leuten aufgegriffen und weiterentwickelt oder modifiziert, um einen zeitlichen, rechnerischen oder qualitativen Vorteil zu erlangen. Heinrich Hey und Werner Purgathofer veröffentlichten 2002 eine neue Berechnungsmethode, mit der die Qualität maßgeblich gesteigert, aber die Berechnungszeit nahezu beibehalten werden kann [HP02]. Statt wie bisher anzunehmen, dass die nächsten Photonen in einem Kries um den zu berechnenden Punkt liegen, ziehen sie umliegende Geometrie zur Helligkeitsbeurteilung zu Rate. Ebenso erreichen sie eine De-

tailverbesserung dadurch, dass die Berechnung nicht mehr annimmt, umliegende Photonen müssten auf derselben Ebene wie der beleuchtete Punkt liegen, wie in der Abbildung 2.1 zu erkennen ist.



**Abbildung 2.1:** Detailverbesserung durch geometriebasierte Helligkeitsbestimmung  
Bild aus [HP02] entnommen

Mit dem Progressive Photon Mapping wurde es möglich, die Hardwarebeschränkungen der klassischen Photon Map zu eliminieren [HOJ08]. Der erste Pass ist ein Ray Tracing, danach kann eine beliebige Anzahl Photon Mapping Passes kommen. Mit jeder Iteration wird die Berechnung verfeinert und braucht dennoch kaum Arbeitsspeicher. Dabei ist es rauschfreier als Ray Tracing mit dem Monte Carlo Algorithmus und in der Berechnung von Kaustiken diesem sogar überlegen.

Zur weiteren Verbesserung dieser Methode wurde 2010 ein Framework zur Fehlerabschätzung veröffentlicht [HJJ10]. Dadurch kann das Rauschen reduziert und das Verfahren beschleunigt werden.

Zhe Fu veröffentlichte zusammen mit Henrik Wann Jensen 2012 eine weitere Arbeit zur Rauschreduzierung im Progressive Photon Mapping [FJ12]. Sie erweiterten das Verfahren

um eine adaptive Radiusreduzierung um Abtastpunkte. So können neben Rauschen auch Fehlberechnungen an Schattenkanten vermieden werden.

Unter einem ganz anderen Aspekt wird die Photon Map in der Arbeit „Globale Volumenbeleuchtung mit Photon Mapping und Path Tracing“ [Gro11] behandelt. Darin wird die Problematik der Beleuchtung von volumetrischen Daten, wie zum Beispiel Nebel, beschrieben. Neben der Photon Map wird auch das Path Tracing behandelt und die Verfahren wurden im Renderframework pbrt<sup>1</sup> implementiert.

Die Problematik globaler Beleuchtung in dynamischen Szenen wird kaum behandelt, „[...]da die meisten existierenden globalen Beleuchtungsalgorithmen für die Berechnung statischer Szenen konzipiert sind“ [Taw06]. Die zitierte Dissertation von Takehiro Tawara behandelt neben dem Photon Mapping auch weitere Verfahren wie Final Gathering und speziell die Lichtproblematik in sich schnell verändernden dynamischen Szenen. Dabei werden bereits bestehende Verfahren unter dem Schwerpunkt der globalen Beleuchtung und dem Gesichtspunkt der Animation erweitert.

Die meisten dieser Arbeiten befassen sich mit der reinen Verbesserung der Berechnungen zur Beschleunigung oder Rauschreduzierung des Photon Mappings. Der Fokus liegt dabei selten auf dynamischen oder animierten Szenen, auch sind es generell eher mathematische Arbeiten mit wenig Fokus auf der Anwendung selbst. Eine Ausnahme bildet dabei die Arbeit [Taw06], deren Fokus speziell auf der Animation liegt. Darin werden die entstehenden Probleme in Animationen aufgezeigt und eine eigene Erweiterung präsentiert, um dieser Herr zu werden. Wie man diese aber mit bestehenden Systemen, wie Mental Ray und V-Ray löst, ist nicht Teil der Arbeit.

## 2.2 DreamWorks und Pixar

Die großen Produktionsfirmen für computergenerierte Filme, wie DreamWorks und Pixar, sind natürlich auch an Verbesserungen und Beschleunigungen ihres Produktionsablaufs interessiert. Ihre Fortschritte veröffentlichen sie immer wieder auf großen Konferenzen. 2004 gab DreamWorks einen Einblick in ihr eigenes System, wie sie globale Beleuchtung annähern, um den Prozess zu beschleunigen und den Bedienkomfort zu erhöhen [TL04]. Dazu lösen sie aus Effizienzgründen und zu Gunsten der Rauschreduzierung die Rendergleichung nur teilweise, aber auch um die Bedienbarkeit und zugleich die Qualität zu verbessern.

Pixar setzt seine selbst entwickelte Software Renderman<sup>2</sup> ein und verbessert diese natürlich auch in Eigeninteresse. Dabei veröffentlichten sie in der Vergangenheit einige unterschiedliche Wege, wie sie ihre Ergebnisse verbessern oder die Berechnungen beschleunigen. Bereits 2002 zeigten sie eine Art Level of Detail System für komplexe Szenen. Dabei wird der zu berechnende Detailgrad der aktuellen Auflösung entsprechend gewählt. Somit ist es möglich sehr rechenintensive Szenen, wie zum Beispiel sehr große Massenanimationen, zeiteffizient rendern zu können [WS02]. Mit der wenige Jahre später entwickelten sogenannten „Brickmap“, einer Erweiterung der Photon Map, ermöglichten sie die volle Nutzung globaler Be-

---

<sup>1</sup><http://www.pbrt.org/>

<sup>2</sup><http://renderman.pixar.com>

leuchtung in Animationsfilmen, ohne Rücksicht auf die Komplexität der Szene oder Shader nehmen zu müssen [CB04]. Weitere zwei Jahre später veröffentlichten sie eine Methode, mit der sie stark rauschreduzierte Bilder in kürzester Zeit produzieren können. Dabei berechnen sie zunächst sehr verrauschte Bilder und rechnen durch eine Hauptachsentransformation (PCA)<sup>3</sup> die Variation über die Zeit aus dem endgültigen Bild wieder heraus [MA06]. Neben der Zeitersparnis werden dadurch auch störende Effekte wie Flickering entfernt. Einen anderen Weg gehen sie mit dem Multiresolution Radiosity Caching [CHS<sup>+</sup>12]. Dabei teilen sie die Shader Berechnung in blickabhängig und -unabhängig auf und verwenden die unabhängigen Teile wieder, um so unnötige Neuberechnungen zu vermeiden. Dadurch wird die Renderzeit bis zum Faktor 94 („Without radiosity caching the render times are 33, 41, and 94 times longer.“ [CHS<sup>+</sup>12]) verkürzt.

Die Anforderungen dieser Firmen würde man natürlich gerne erreichen. Jedoch stehen ihnen enorme Rechenzentren zur Verfügung und liegen damit weit außerhalb des für diese Bachelorthesis angedachten Leistungsspektrums. Immerhin betrachten sie das Thema unter dem Animationsaspekt, dabei aber leider nur für ihre eigenen proprietären Rendersysteme und nicht, wie in dieser Arbeit, für Mental Ray und/oder V-Ray.

### 2.3 Globale Beleuchtung in Echtzeit

Die Rechenleistung stieg in den vergangenen Jahren auf ein Level, das es mittlerweile möglich macht globale Beleuchtung in einem bestimmten Rahmen sogar in Echtzeit zu berechnen. Dabei macht man sich hauptsächlich die Rechenkapazitäten der Grafikkarten zu Nutze. Das „Image Space Photon Mapping“ rastert dazu die ersten Treffer der emittierten Photonen in einer „bounce map“ auf der GPU<sup>4</sup> und berechnet das weitere Photon Tracing klassisch auf der CPU<sup>5</sup> [ML09]. Somit ist es auch möglich das konventionelle Photon Mapping für Renderings zu beschleunigen. Eine weitere Möglichkeit ist die Nutzung von nVidias CUDA<sup>6</sup> Architektur um Photon Mapping interaktiv zu berechnen. Die globale Beleuchtung in jedem Frame neu zu berechnen und dabei die Lichtquelle und die Kamera frei bewegen zu können, wurde in der Arbeit „Interactive Global Photon Mapping“ [FD09] umgesetzt.

Die Berechnung von sehr verrauschten Bildern lässt sich mit sehr geringem Zeitaufwand erreichen. Damit kann man sehr schnell einen Eindruck der globalen Beleuchtung erhalten oder sie in Echtzeit darstellen. Statt an der globalen Beleuchtung selbst anzusetzen, setzte Pixar bereits 2006 in [MA06] auf nachträgliches Filtern von Rauschen und erreichte somit eine Reduzierung der Renderzeit. Dieses Verfahren wird in der Arbeit [CLC12] aufgegriffen und erweitert. Durch die Erweiterung der Hauptachsentransformation (PCA), werden die ursprünglichen Limitierungen eliminiert und die Berechnung auf der GPU ist nahezu in Echtzeit möglich.

---

<sup>3</sup><http://goo.gl/eXhzB>

<sup>4</sup>Graphics Processing Unit

<sup>5</sup>Central Processing Unit

<sup>6</sup>[http://www.nvidia.de/object/what\\_is\\_cuda\\_new\\_de.html](http://www.nvidia.de/object/what_is_cuda_new_de.html)

Der Fokus der Arbeiten in diesem Abschnitt liegt primär auf der Echtzeitanwendung. Demzufolge ist die Qualität der Bilder hinter dem Ziel, sie in Echtzeit zu erzeugen, angesiedelt und somit keine solide Grundlage zur Berechnung qualitativ hochwertiger Bilder für Animationsfilme. Ein positiver Nebeneffekt ist dabei, dass es teilweise möglich wäre, die Verfahren zur Beschleunigung konventioneller Renderings zu nutzen.

## 2.4 Zusammenfassung

Die Computergrafik entwickelt sich seit mehreren Jahrzehnten stetig weiter. Sicherlich trägt auch der kontinuierliche Anstieg der Rechenleistung dazu bei, dass immer präzisere Methoden zur globalen Beleuchtung umgesetzt werden können. Mittlerweile ist es sogar möglich mit physikalisch korrekten Verfahren die Beleuchtung zu errechnen. In der Vergangenheit war dies kaum machbar, da der Rechenaufwand dafür sehr hoch ist. Es gibt aber auch wahrnehmungsorientierte Ansätze, wie die Dissertation von Tobias Ritschel, die von der „... Suche nach Ausgewogenheit zwischen korrekter physikalischer Berechnung und der künstlerischen, durch die Gesetze der menschlichen Wahrnehmung motivierten Praxis“ [Rit09] handelt. Wenn es um das interaktive Bearbeiten von etwas geht, ist eine direkte Rückmeldung sehr wichtig. In der Computergrafik bedeutet das bei indirekter Beleuchtung sehr viel Rechenleistung um diese direkt visualisieren zu können. Auch diese Arbeit beschäftigt sich wieder mit selbst entwickelten schnelleren (teils GPU-basierten) Verfahren zur Berechnung oder Annäherung globaler Beleuchtung, aber mit dem zusätzlichen Augenmerk auf die menschliche Wahrnehmung physikalischer Gegebenheiten.

Um Bilder zu produzieren, die kaum von realen Fotos zu unterscheiden sind, kommt man kaum um physikalisch korrekte Berechnungen herum. Aber um Bilder mit ausreichender Qualität mit diesen Simulationen zu erzeugen, können mehrere Stunden an Renderzeit anfallen. Durch diesen hohen Rechenaufwand hielten erst in der jüngsten Vergangenheit physikalische Simulationen auch Einzug in der Filmbranche. Die dadurch motivierte Dissertation von Holger Dammertz zeigt die Weiterentwicklung bestehender Verfahren um physikalische Lichtberechnung zu beschleunigen und fotorealistic Bilder schneller erzeugen zu können [Dam11]. Dabei wird der gesamte Ablauf der Bildproduktion bis hin zu einer Filtertechnik für Vorschauzwecke umrissen. Hierfür wurden auch wieder eigene Erweiterungen entwickelt und implementiert. Dementsprechend war es nicht Bestandteil der Arbeit eine Methodik zur Umsetzung für bestehende Rendersysteme, wie Mental Ray oder V-Ray, zu erarbeiten.

In der Arbeit „Mixing Monte Carlo and Progressive Rendering for Improved Global Illumination“ [DJM12] wird zwar auch wieder ein eigener Algorithmus entwickelt, aber aus einer Kombination verschiedenster Verfahren zur Berechnung globaler Beleuchtung. Damit versuchen sie die negativen Eigenschaften des einen Verfahrens durch die Vorteile eines anderen zu überdecken. Beispielsweise, indem sie durch progressive Photon Mapping das starke Rauschverhalten von Monte Carlo Path Tracing reduzieren.

Die Idee verschiedene Verfahren miteinander zu kombinieren, um zeitlich und qualitativ einen Vorteil zu erlangen, liegt auch dieser Arbeit zugrunde. Die in diesem Kapitel angesprochenen Arbeiten behandeln primär Neuentwicklungen oder Erweiterungen bestehender Verfahren. Entweder wurden sie in Selbstentwicklungen oder in bestehende Systeme, wie Pi-

xars Renderman, implementiert. Dass es bisher keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Anwendung und Verbesserung in bestehenden Renderern, wie Mental Ray oder V-Ray, gibt und diese oftmals in mittelständischen Unternehmen oder Hochschulen eingesetzt werden, trug zur Motivation dieser Arbeit bei. Außerdem behandeln viele Arbeiten die Probleme nur unter dem Aspekt eines Still Renderings und nicht im Bezug auf Animationen. Daher ist es das Ziel eine Methodik zu entwickeln, mit der man zeiteffizient störfreie Animationsfilme erzeugen kann.

# Kapitel 3

## Beleuchtungsmodelle

Dieses Kapitel soll die fundamentalen Begrifflichkeiten für Beleuchtungsmodelle umfassen und dem Leser näher bringen. Zu Beginn gibt es einen kurzen Überblick über die grundlegenden lokalen Beleuchtungsmodelle. Dies soll dem späteren Verständnis für globale Beleuchtungsmodelle, und wie sie sich von den lokalen abgrenzen, dienen. Die globalen Modelle werden spezifisch für jeden Renderer einzeln aufgeführt, um die Nachvollziehbarkeit in der späteren Methodikentwicklung nicht unnötig zu erschweren. Dieses Kapitel beinhaltet keine vollständige Aufzählung aller Verfahren.

### 3.1 Lokale Beleuchtungsmodelle

Die grundlegenden lokalen Beleuchtungsmodelle in der Computergrafik sind Ambient, Lambert und Phong, deren Eigenschaften auch Bestandteil einer bidirektionalen Reflektanzverteilungsfunktion (engl. Bidirectional Reflectance Distribution Function, kurz BRDF<sup>1</sup>) sein können und somit in einer einzelnen Funktion beschrieben werden können. Die lokale Beleuchtung befasst sich nur mit dem Lichtverhalten auf dem Objekt selbst, die Beeinflussung von außen durch weitere Objekte wird gänzlich außen vor gelassen.

Das einfachste Modell ist die ambiente Beleuchtung. Sie dient dazu eine gleichmäßige diffuse Beleuchtung in der gesamten Szene zu erzeugen. Dabei fallen Lichtstrahlen aus allen Richtungen auf das Polygon. Die Normalvektoren sind bei der Berechnung irrelevant und es existiert keine örtliche Abhängigkeit der Lichtintensität, daher ist der Rechenaufwand sehr gering aber es entsteht auch keine plastische Darstellung der Geometrie (siehe links in Abbildung 3.1).

Das Lambert Beleuchtungsmodell basiert auf dem Lambertschen Kosinusgesetz und beschreibt einen ideal diffusen Reflektor. Das einfallende Licht wird von der Oberfläche in alle Richtungen gleichmäßig verteilt und unabhängig vom Standort des Betrachters sieht das Material dabei immer gleich aus. Die Lichtintensität verhält sich proportional zum Kosinus des Winkels zwischen dem einfallenden Licht und des Normalvektors auf dem Polygon. Das hat den Effekt zu Folge, dass parallel zur Oberfläche verlaufendes weniger und senkrecht strahlendes Licht mehr reflektiert wird. In der Computergrafik wird zur Berechnung der

---

<sup>1</sup><http://math.nist.gov/~FHunt/appearance/brdf.html>

Lichtintensitätsminderung über die Entfernung eine vereinfachtere Formel benutzt.



**Abbildung 3.1:** Lokale Beleuchtungsmodelle Ambient, Lambert und Phong

Das Beleuchtungsmodell nach Phong ist das komplexeste der drei aufgeführten. Es setzt sich aus einem ambienten, einem diffusen und einem glänzenden (specular) Bestandteil zusammen und ergibt so ein gerichtet diffus reflektierendes Material. Auch wenn es sich dabei an keine physikalischen Gesetze hält, kommt es der Natur am nächsten, da jedes Material einen diffusen und reflektierenden Anteil besitzt. Durch den glänzenden Anteil kommt es zu einem Blickwinkel abhängigen Glanzeffekt, ähnlich wie bei glänzendem Plastik.

## 3.2 Globale Beleuchtungsmodelle Mental Ray

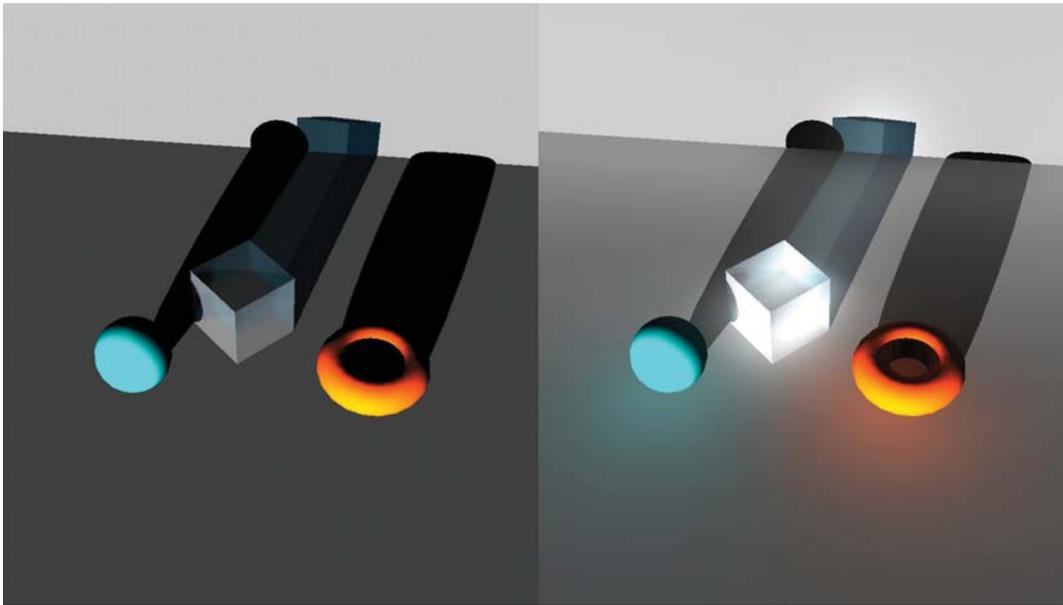
Im Gegensatz zur lokalen befasst sich die globale Beleuchtung mit der Wechselwirkung der verschiedenen Objekte untereinander und der damit verbundenen Schattierungsänderung, wie zum Beispiel durch farblich reflektiertes Licht von anderen Geometrien in der Nachbarschaft. Sie betrachtet jegliche Ausbreitung des Lichts, unter Berücksichtigung der Energieerhaltungsgesetze, auf die gesamte Szene. Erst damit ist es möglich sehr realitätsnahe Bilder zu erzeugen.

Dieser Abschnitt handelt speziell von den Verfahren, die von Mental Ray eingesetzt werden, um das Verständnis in der späteren Methodikentwicklung zu erleichtern. Das Wissen dafür stammt aus den Online Dokumentationen von Autodesk zu Maya [Aut12a] und Mental Ray [Aut12b].

### 3.2.1 Global Illumination

Die globale Beleuchtung dient dazu, jegliches indirektes Licht in einem Bild zu berechnen. Erst dadurch wirken gerenderte Bilder für den Betrachter realistisch. Die Abbildung 3.2 zeigt links nur direkte Beleuchtung, die Schatten sind zu stark, das Bild wirkt unrealistisch. Der rechte Teil zeigt dieselbe Szene mit *Global Illumination*, die Schatten sind nicht mehr ganz so dunkel und wirken insgesamt natürlicher, das Licht fängt sich in dem Würfel und auch

das Innere des Torus wird indirekt beleuchtet. Ebenso ist der „Color Bleeding“ Effekt sehr schön um die Kugel und den Torus auf dem Boden zu erkennen.



**Abbildung 3.2:** Nur direkte Beleuchtung & Global Illumination

In Mental Ray nennt sich diese Methode *Global Illumination* (GI). Im Gegensatz zum Final Gathering, welches Farbwerte der Oberflächen in der Umgebung nutzt, macht diese Gebrauch von Photonen. Diese können von jeder Lichtquelle emittiert werden, sofern es in den Attributen aktiviert wurde. Sehr wichtig an dieser Stelle, emittiert keine Lichtquelle Photonen, so ergibt sich auch kein Unterschied im gerenderten Bild, egal ob *Global Illumination* an oder aus ist. Die Photonen beinhalten Informationen zu Lichtfarbe und Intensität. Die Kombination aus diesen Informationen und den Materialeigenschaften der Shader führt zu einer realistischen Beleuchtung der Gesamtszene. Die Photonen prallen einige Male in der Szene umher bevor sie „sterben“. Die Anzahl, wie oft ein Photon abprallt, kann in den Rendereinstellungen definiert werden. Mit jedem Aufprall verliert es dabei an Energie und liefert Beleuchtungsinformationen für die getroffene Oberfläche, die dann in das Endergebnis eingehen. Es werden natürlich auch weiterhin die direkten Beleuchtungen berechnet, kontrollierbar durch die Intensity jeder Lichtquelle. Das Gesamtbild besteht also aus einer Kombination der beiden Berechnungen und es ist wichtig, diese beiden in Einklang zu halten, um ein realitätsnahes Ergebnis zu erhalten.

Die wichtigste Rolle spielen die Lichtquellen, welche die Photonen überhaupt ausstrahlen. An sich kann fast jeder Typ benutzt werden, ob Point, Spot oder Area Light. Das Point und Spot Light sind punktförmige Lichtquellen und erzeugen daher sehr scharfe Schatten. Die besten Ergebnisse liefert ein Area Light mit seinen weichen Schatten. Natürlich ist es auch immer eine Frage dessen was gewünscht ist oder die Anforderungen verlangen. Es ist auch möglich die unterschiedlichen Lichtquellen miteinander zu kombinieren, um zum Beispiel eine

Bühne mit Spot Lights zu beleuchten und die Zuschauer mit Area Lights, als Fülllichtern, aufzuhellen.

Jedes Licht, was in die globale Beleuchtung mit eingehen soll, muss eine bestimmte Menge Photonen emittieren. Diese lassen sich in den jeweiligen Attributen für jedes Licht einzeln definieren. Wenn ein Photon ein Polygon trifft, beleuchtet es dies und verliert bei diesem Vorgang einen bestimmten Anteil seiner Energie, vorausgesetzt der Diffuswert des Materials beträgt nicht null. Wie viel absorbiert oder reflektiert wird ist von den Eigenschaften des Shaders abhängig. Der übrig gebliebene Teil wird reflektiert und verteilt sich weiter in der Szene. Bei diesem Vorgang kann sich die Farbinformation verändern und trägt somit einen farblichen Akzent weiter zum nächsten Aufprall. Neben der Anzahl kann auch die Farbe und die Energie der Photonen bestimmt werden. Die Photonenfarbe ist standardmäßig auf Weiß gesetzt, weicht die Lichtfarbe davon ab, sollte man auch hier denselben Farbwert wählen. Die Energie, Photon Intensity genannt, gibt die Gesamtmenge der emittierten Lichtmenge an, das heißt, wie viel Licht durch indirekte Beleuchtung der Szene hinzugefügt werden soll. Dieser Wert wird auf alle Photonen der Lichtquelle aufgeteilt. Die Lichtenergie nimmt in der Natur quadratisch über die zurückgelegte Strecke ab, diesen Exponenten kann man ebenfalls angeben. Der Wert zwei ist nah an der Realität, kann aber je nach Anforderung adäquat gewählt werden. Maßgeblich für die Qualität ist der Wert der *Global Illumination Photons* verantwortlich. Zu Beginn liegt der Wert bei 10.000, das bedeutet, die Lichtquelle emittiert solange Photonen, bis 10.000 auf Geometrien trafen. Diese Tatsache sollte man bei der Positionierung von Lichtern im Hinterkopf behalten. Steht ein Licht zum Beispiel so gerichtet, dass es auf gar keine Geometrie leuchtet, wird die Berechnung der Photon Map unter Umständen nie beendet. Der Standardwert ist für viele Szenen zumindest ein guter Startwert, sollte aber in den meisten Fällen angepasst werden. Ist dieser zu niedrig gewählt, entstehen Kreise und Lichtflecken im Rendering. Die indirekte Beleuchtungsqualität ist daher sehr eng mit dieser Zahl verbunden. Je nach Szenengröße sind Werte von mehreren Millionen nicht unvorstellbar. Jedoch steigt damit auch die benötigte Zeit zur Berechnung.

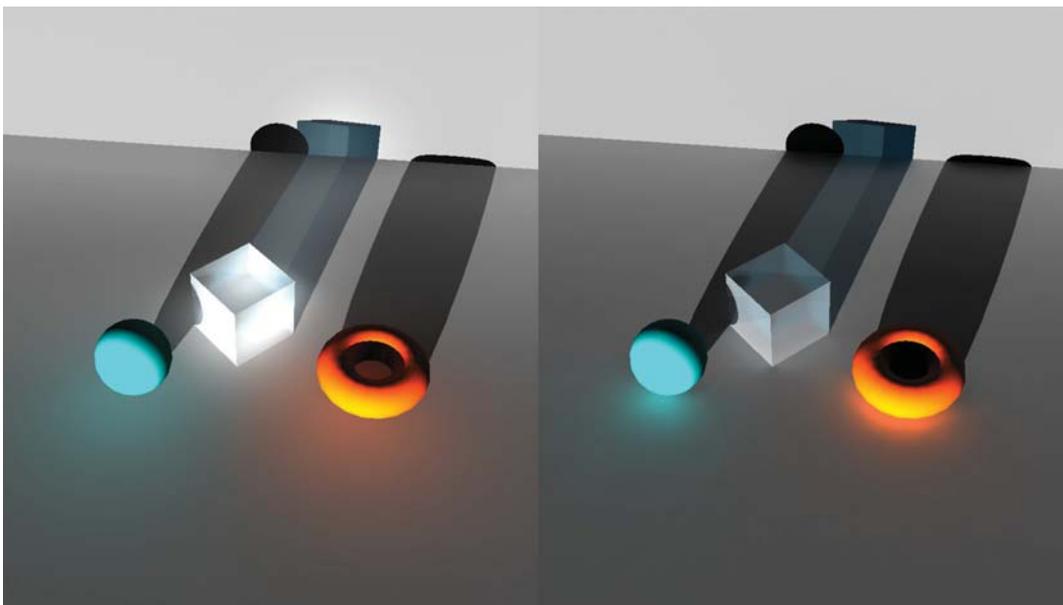
Neben den individuellen Einstellungen für die einzelnen Lichtquellen, gibt es weitere globale Einstellungsmöglichkeiten in den Render Settings. Für die *Global Illumination* gibt es dort folgende Werte: Accuracy, Scale, Global Illumination Radius und Merge Distance. Die *Accuracy* bestimmt die Anzahl der Photonen, die zur Beleuchtung eines jeden Punktes verrechnet werden. Ein höherer Wert führt zu einem weicherem Ergebnis, zu hoch für die Anzahl der Photonen kann es aber zu lichtleeren Flecken führen und die benötigte Renderzeit sehr schnell steigen lassen. Als Faustregel sollte sich dieser Wert zwischen einem Tausendstel und einem Zehntausendstel der Gesamtphotonen in der Szene bewegen. Die Interpretierung der Lichtwerte kann mit dem *Scale-Wert* manipuliert werden. So könnte der Einfluss der indirekten Beleuchtung gesteigert oder herabgesetzt werden. Es ist aber nicht empfehlenswert den Standardwert von eins zu ändern. Der *Global Illumination Radius* bestimmt den Radius für die *Accuracy* und nimmt so direkt Einfluss auf das Ergebnis. Belässt man den Standardwert von Null, so errechnet Maya selbst einen Wert basierend auf der Szenengröße. Wenn das Ergebnis trotzdem zu verrauscht wird, kann man diesen Wert vorsichtig erhöhen. Dadurch kann das Bild aber verschwommener oder fleckiger werden, dann sollte stattdessen die Photonenzahl erneut angepasst werden. Den letzten Wert, die *Merge Distance*, braucht man im Normalfall gar nicht zu ändern. Er bestimmt den Abstand zwischen einzelnen Photonen,

die zu einem zusammengefasst werden. Das ist hilfreich wenn Maya, respektive Mental Ray, zu viel Arbeitsspeicher beansprucht oder bei einer sehr ungleichmäßigen Photonenvverteilung.

Das *Photon Tracing* der *Global Illumination* beschränkt die Aufpralliterationen der einzelnen Photonen. Es wird zwischen *Photon Reflections*, reflektierten, und *Photon Refractions*, refraktierten (durch transparente Objekte geschossenen) Photonen unterschieden. Mit der *Max Photon Depth* wird die Gesamtzahl der Kollisionen (reflektierte + refraktierte) begrenzt und somit Berechnungen mit Lichtintensitäten nahe null vermieden.

Die Global Illumination ist Mental Rays erste Methode zur Kalkulation der globalen Beleuchtung. Die besondere Stärke liegt in der effizienten Berechnung von Kaustiken und ist somit für realistisch wirkende Renderings, zum Beispiel mit viel Glas oder Wasser im Architekturbereich, essenziell. Seine vollen Möglichkeiten schöpft Mental Ray aber in der Kombination mit dem Final Gathering aus.

### 3.2.2 Final Gathering



**Abbildung 3.3:** Links Global Illumination - Rechts Final Gathering

Neben der Global Illumination stellt Mental Ray mit dem *Final Gathering* (FG) eine weitere Methode zur Berechnung der globalen Beleuchtung zur Verfügung. Die primäre Stärke des *Final Gatherings* liegt in der effizienten Berechnung diffuser Reflexionen. Das bedeutet, wenn ein Lichtstrahl auf eine nicht reflektierende Oberfläche trifft, streut es in alle Richtungen (diffuse Reflexion, siehe dazu auch Lambert in Lokale Beleuchtungsmodelle) und illuminiert somit indirekt seine Umgebung. Das *Final Gathering* versucht eine Annäherung an reelle diffuse Reflexionen und dabei trotzdem die Renderzeiten so gering wie möglich zu halten. Seine größte Stärke liegt in Interieur sowie Exterieur Tageslicht Szenen, im Beson-

deren, wenn das Licht über eine große Fläche einfällt. In der Abbildung 3.3 ist links noch ein Mal das Bild nur mit Global Illumination zu sehen und den Photonen, die sich im Würfel fangen. Das rechte Bild wurde nur mit Final Gathering gerendert. Es zeigt einen Schatten im Torus, die Photonen im Würfel fehlen und das Color Bleeding um die Kugel und den Würfel ist stärker und gleichzeitig nicht mehr so weitläufig geworden.

Der Algorithmus benutzt genauso, wie die Global Illumination im vorherigen Kapitel 3.2.1, eine berechnete Kombination aus direktem und indirektem Licht. Im Gegensatz dazu, nutzt es aber keine Photonen zur indirekten Beleuchtung, sondern verfolgt Strahlen, sogenannte Final Gather Rays. Diese werden von jedem möglichen Punkt der Szene ausgestrahlt und die Farbwerte, in der Hemisphäre um diesen Punkt herum, werden zum Farbwert der direkten Beleuchtung des Ursprungs addiert. Dieses Verfahren ist die wahre Stärke des Final Gatherings und macht es erst möglich eine Szene beispielsweise mit einer weißen Oberfläche zu „beleuchten“.

Durch diese Unabhängigkeit von Lichtquellen wird es ausschließlich in den Render Settings konfiguriert. Die meisten sind ziemlich selbsterklärend und es gibt einige Ähnlichkeiten zu den Werten in der Global Illumination, wie die *Accuracy*. Diese bestimmt die Anzahl ausgesendeter Strahlen zur Farbbestimmung eines Punktes. Ein höherer Wert verfeinert das Ergebnis, aber führt auch direkt zu höheren Renderzeiten und mehr Arbeitsspeichernutzung. Für den Anfang sollte man mit geringen Werten um die 20, zum Beispiel, starten. Später für Produktionsergebnisse können es bis zu 500 werden, dies ist aber stark szenenabhängig. Mental Ray bestimmt heuristisch die Anzahl zur Berechnung benötigter Punkte, mit der *Point Density* lässt sich dies beeinflussen. Um eine höhere Gesamtqualität zu erreichen, sollte dieser Wert erhöht werden. Final Gathering kann mit der *Point Interpolation* bestimmen, wie viele Punkte interpoliert werden sollen, um das Ergebnis weicher zu machen. Dies ist nicht so genau, aber um ein Vielfaches schneller, als die Erhöhung der *Accuracy*. Besonders für Rendertests sollte man eher diesen Wert erhöhen und erst für finale Bilder die *Accuracy*. Der *Final Gather Scale* kann Einfluss auf die Gesamthelligkeit nehmen. Es ist aber nicht ratsenswert, da dieses Vorgehen direkte negative Auswirkungen auf den Realitätsgrad haben kann. Um diffuse Lichtkollisionen mit in das Ergebnis einrechnen zu lassen, muss man den *Secondary Diffuse Bounces* einen Wert größer null geben. Das ist insbesondere dann sinnvoll, wenn man viel Wert auf indirekte diffuse Beleuchtung legt oder auf sie angewiesen ist. Die Anzahl dieser Kollisionen wird nur durch die *Max Trace Depth* beschränkt.

Final Gathering kann durch reflektierte Lichtstrahlen „ungewollte“ weiße Flecken erzeugen. Um diesem Effekt entgegen zu wirken gibt es das *Filter*attribut, von dem man aber nur Gebrauch machen sollte, falls diese Flecken wirklich auftreten und sich absolut nicht anderweitig entfernen lassen. Bei sehr schwach beleuchteten Szenen kann dieser Wert zu Problemen führen, da er Maxima in der Lichtintensität weg filtert und somit indirekt zur Abdunkelung des Bildes beiträgt.

Die Strahlen, die durch die Szene geschossen werden, verlieren mit der Entfernung an Energie. Mit den *Fall Off* Werten, kann man diese Entfernung zusätzlich begrenzen. Das heißt, erreicht ein Strahl diesen Maximalwert, wird er an dieser Stelle zu einer Art Lichtquelle und emittiert seine Restintensität in den Raum, statt als reflektierte Energie Einfluss auf den nächsten Punkt zu nehmen auf den er trifft. Insgesamt wird das Bild damit heller, kann aber zu unrealistischen Effekten führen. Im Normalfall belässt man *Fall Off* Start und Stop bei

seinem Standardwert von null. Wie schon für die Photonen kann man auch beim Final Gathering die Anzahl der reflektierten und refraktierten Strahlen angeben. Bei einer Szene mit sehr vielen Spiegelungen kann es Sinn machen die *Reflections* zu erhöhen und bei einer Szene mit sehr viel Glas, Wasser oder anderen (semi-)transparenten Geometrien, die *Refractions*. Wenn man möchte, dass diffuse Kollisionen davon auch beeinflusst werden, muss man den Wert für die oben bereits genannten *Secondary Diffuse Bounces* erhöhen. In deren Kontext bereits die *Max Trace Depth* erwähnt wurde. Diese limitiert die Anzahl an Reflexionen und Refraktionen der Strahlen, um die Berechnung nicht ins Unendliche ausufern zu lassen.

Es klingt zwar, als würde Final Gathering nur noch wenig am Bild verändern, aber der Effekt ist im direkten Vergleich sehr gut zu erkennen. In der Computergrafik sind es oft die Details, die man kaum wahrnimmt, die das Ergebnis abrunden. Es fällt einem weniger auf, wenn sich etwas wie gewohnt verhält, als wenn es auf einmal fehlt. Daher sollte man den Einfluss durch Final Gathering auf das Endergebnis nicht unterschätzen, wie die Abbildung 3.4 doch sehr deutlich zeigt.



Abbildung 3.4: Links nur GI - rechts GI mit FG

### 3.3 Globale Beleuchtungsmodelle V-Ray

Die Firma Chaos Group entwickelte mit V-Ray einen Renderer, der physikalisch korrekt arbeiten soll. Im Gegensatz zu Mental Ray bietet einem V-Ray eine freiere Auswahl der Algorithmen zur Berechnung der primären und sekundären Lichtkollisionen. Um es nochmal kurz zusammenzufassen, unter Primary Bounces versteht man Punkte, die direkt durch die Kamera, durch Reflexionen oder Refraktionen sichtbar sind (erster Aufprall des Lichtstrahls). Diese sind maßgeblich an der Qualität des Bildes beteiligt, da sie direkt sichtbar sind und das Licht noch die meiste Energie besitzt. Als sogenannte Secondary Bounces fasst man alle weiteren Lichtkollisionen zusammen, die danach in der Szene entstehen. Physikalisch bedingt haben sie bereits weniger Energie und müssen nicht mehr so akkurat berechnet werden wie die Primären. Daher bietet es sich an zwei unterschiedlich präzise Methoden zu benutzen. Dennoch bietet V-Ray die Möglichkeit an ein und dieselbe Methode für Primary sowie Secondary Bounces zu nutzen.

Dieser Abschnitt erklärt die einzelnen globalen Beleuchtungsmethoden für V-Ray, um das spätere notwendige Verständnis für die Methodikentwicklung besser gewährleisten zu

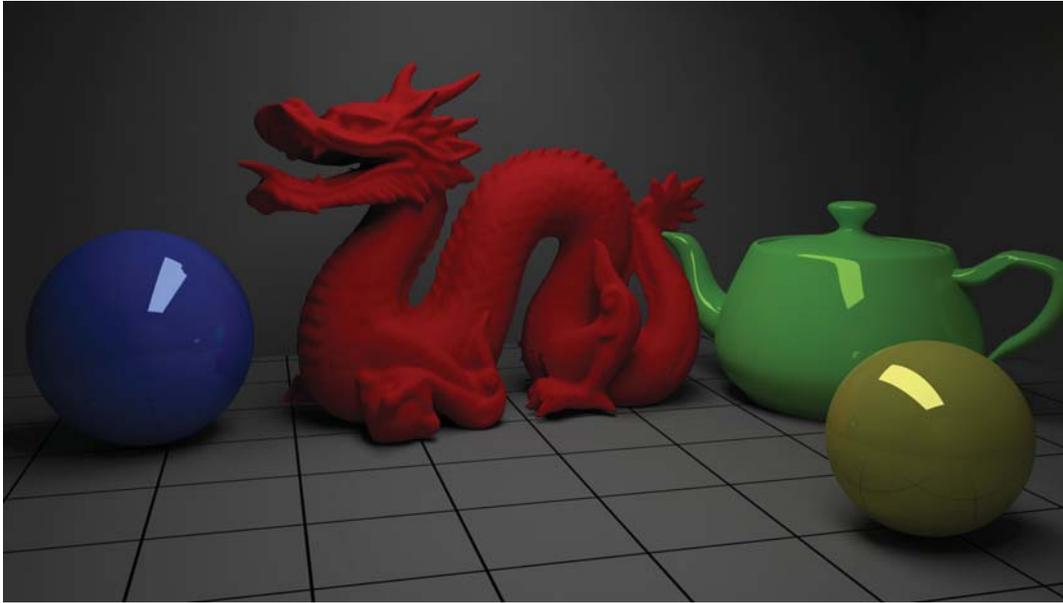
können. Es beschränkt sich auf die meist verwendeten Methoden und stellt somit keine vollständige Funktionsübersicht dar. Das dargestellte Wissen stammt aus der Online Dokumentation [spo12].

#### 3.3.1 Irradiance Map

Die *Irradiance Map* (IM) ist als einzige Methode ausschließlich für die Berechnung der Primary Bounces verfügbar. Die Irradiance (Bestrahlungsdichte) beschreibt das Licht an allen Punkten und aus jeder Richtung kommend. Es ist eine effiziente Methode zur Ermittlung der Oberflächenbeleuchtung. Da nicht an jeder Stelle derselbe Detailgrad gefragt ist, ermittelt das Verfahren adaptiv die notwendige Dichte der Abtastpunkte. Zum Beispiel benötigt eine große ebene Fläche nur wenige, zwei sehr nahe bei einander liegende Objekte, die sich somit gegenseitig anstrahlen, deutlich mehr Abtastwerte. Die notwendige höhere Auflösung an den speziellen Stellen wird durch mehrere Iterationsschritte erreicht. Die Idee dahinter ist, erst eine sehr grob aufgelöste Punktwolke zu erstellen, zum Beispiel mit einem Achtel der Bildauflösung, und mit jedem Durchgang (Pass genannt) diese zu verdoppeln bis zur maximalen Auflösung. Diese Punktwolke hält die Informationen für die indirekte Beleuchtung, wie Beleuchtungsstärke, -richtung und -farbe. Wird ein Punkt während der Berechnung getroffen, schlägt V-Ray in diesen Daten nach, ob bereits Werte mit ähnlicher Orientierung um diesen Ort herum existieren. Somit kann ermittelt werden wie schnell die globale Beleuchtung an dieser Stelle variiert und eine Entscheidung darüber treffen, ob dieser Punkt zu einem Abtastwert wird oder ob es möglich ist, diesen später aus vorhandenen Werten zu interpolieren. Die Abbildung 3.5 zeigt zur Veranschaulichung die mit der Irradiance Map gerenderte Testszene. Insgesamt ist nur sehr wenig Rauschen zu erkennen und das Bild macht bereits einen sehr sauberen Eindruck.

Dazu bietet einem V-Ray einige *Presets* an, mit denen man einen einfacheren Einstieg finden kann. Mit diesen kann man sehr schnell zwischen Vorschau- und Produktionseinstellungen wechseln. Desweiteren sind bereits Möglichkeiten zur Reduzierung von Flickering in Animationen in zweien (Medium & High animation) integriert. Im Detail werden die folgenden Parameter größtenteils unveränderbar gesetzt. Mit dem *Custom Preset* sind aber alle wieder frei wählbar.

Die *Min* und *Max rate* bestimmen die Auflösungen über die iteriert wird, wobei -1 der halben Auflösung entspricht. Je nachdem wie viele Werte dazwischen liegen, ergibt sich respektive natürlich die Anzahl der Passes. Die sogenannten *Subdivs* kontrollieren die Qualität der globalen Beleuchtungsabtastung (*Samples*). Dieser Wert zum Quadrat ist proportional zur Anzahl der ausgesendeten Strahlen. Ein kleiner Wert führt zu sehr schnellen aber möglicherweise fleckigen Ergebnissen. Umgekehrt natürlich ein höherer Wert zu besseren aber langsameren. Das Pendant dazu sind die *Interpolation Samples*. Diese bestimmen über wie viele Abtastpunkte interpoliert wird. Ein hoher Wert beschleunigt das Rendering, lässt es aber auch verschwommener wirken. Ein zu kleiner Wert kann Flecken oder Artefakte verursachen, falls die Subdivs ebenfalls ziemlich klein gewählt wurden. Um bei Animationen das Auftreten von Flickering zu reduzieren, kann die Irradiance Map über mehrere Frames interpoliert werden. Wie viele dazu benutzt werden sollen gibt man mit dem Wert *Interpolation Frames* an. Dabei multipliziert sich der *Interpolation Samples* Wert mit der Anzahl zu interpolierender



**Abbildung 3.5:** Nur Irradiance Map als Primary Bounces

Frames, was sich negativ in der Renderzeit auswirken kann. Dem entgegen zu wirken würde den erhofften Effekt aber zunichtemachen. Mit den *Thresholds Color*, *Normal* und *Distance* kann man unterschiedliche Schwellwerte der Empfindlichkeit des Algorithmus bestimmen. Der *Color Threshold* bestimmt wie empfindlich die Berechnung auf Farbveränderungen in der globalen Beleuchtung reagiert. Mit dem *Normal* kann kontrolliert werden wie präzise Änderungen der Normalvektoren berücksichtigt werden und somit Details herausgearbeitet oder eher verwaschen werden. Der Schwellwert für die Entfernung (*Distance*) ermittelt den Einfluss nahe gelegener Objekte, mit dem Wert null wird der Abstand zweier Oberflächen zueinander in der Berechnung irrelevant. Um Details noch besser herausarbeiten zu können, gibt es die Option *Enhance Details*. Diese wendet eine hoch präzise *Brute Force* Methode an. Damit können auch Flickering und Fleckenbildung in Animationen reduziert werden. Man kann den Radius für diese Methode entweder in Pixeln oder der gewählten Einheit für die Szene angeben. Zusätzlich kann man über einen Multiplikator bestimmen wie viele Subdivs für diese Methode benutzt werden sollen. Wurde eine Irradiance Map mit dieser Option berechnet, sollte sie nicht ohne angewandt werden.

In der *Options* Sektion befinden sich primär Attribute zur Veranschaulichung. Man kann sich die Abtastpunkte (Samples) im gerenderten Bild als einzelne helle Flecken oder das direkte Licht mit in der Berechnungsphase anzeigen lassen, beziehungsweise die Iterationsschritte überhaupt visualisieren lassen (standardmäßig an). Die Option *Use Camera Path* dient dazu die gesamte Kamerabewegung bei einem Kameraflug, ohne animierte Geometrie, bereits in einer einzelnen Irradiance Map zu speichern und somit nicht die gesamte Animation vorberechnen zu müssen. Außerdem bietet es die Möglichkeit bei Szenen mit animierter Geometrie in Verbindung mit einem Kameraflug Flickering zu reduzieren, da Abtastpunk-

te auf statischen Geometrien ihre Position bei behalten. Der Haken für *Use Current Pass Samples* ist standardmäßig an (und sollte es auch sein) und bringt einen großen positiven Effekt mit sich. Da zur Berechnung der aktuellen Iteration nicht nur die bisherigen Abtastpunkte benutzt werden, sondern auch die des aktuellen Schrittes, sind deutlich weniger Abtastpunkte notwendig und die Berechnung wird dadurch beschleunigt. Die Option *Randomize Samples* vermeidet primär die Artefaktbildung durch regelmäßige Abtastung. Kleiner Nachteil dabei ist, dass ein nachgerendertes Bild unter Umständen nicht mehr exakt der vorherigen Berechnung entspricht, was im Normalfall aber kein Problem darstellt.

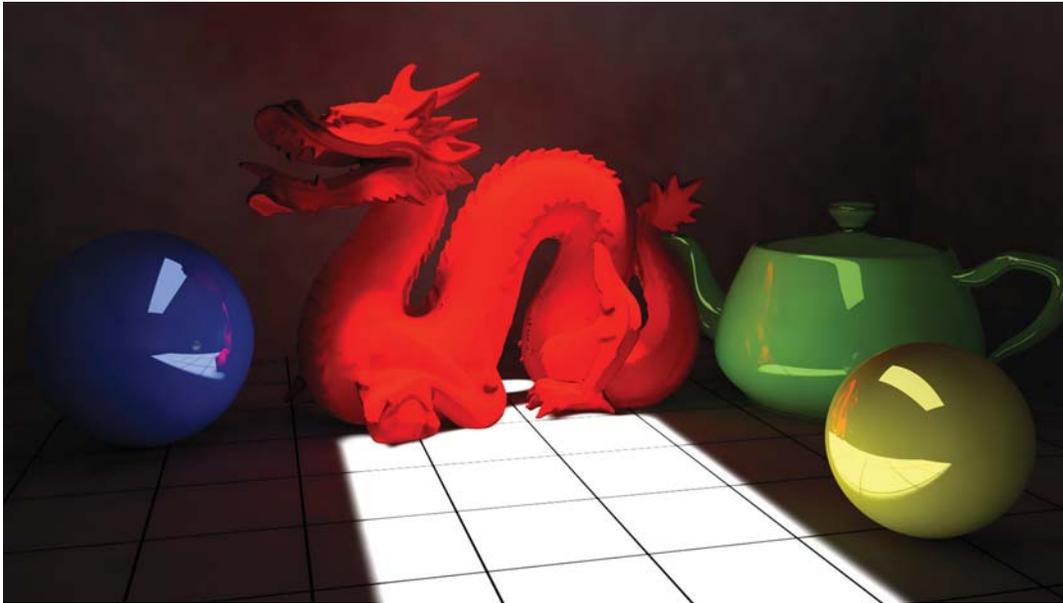
Um die Berechnungen für verschiedene Anwendungszwecke auch speichern zu können, bietet V-Ray eine einige Modi an. Bei *Single Frame* wird für jeden Frame eine einzelne Irradiance Map in einer Datei gespeichert. Zum Beispiel für Kameraflüge gibt es die Funktion *Multiframe Incremental*, da wird beim ersten Mal eine gesamte Map berechnet und daraufhin immer weiter verfeinert, wo es notwendig ist. *Add To Current Map* berechnet hingegen immer eine gesamte Punktwolke und fügt sie der bestehenden im Arbeitsspeicher hinzu. Das ist sinnvoll, wenn man verschiedene Kameras mit unterschiedlichen Positionen in einer Szene hat und diese vorberechnen möchte. Eine Mischung aus diesen beiden Möglichkeiten stellt das *Incremental Add To Current Map* dar. Es verfeinert die Daten im Arbeitsspeicher an den Stellen, wo es notwendig ist, um mehrere Perspektiven oder einen Kameraflug zu berechnen. Diese vorberechneten Dateien lassen sich mit dem Modus *From File* natürlich auch wieder einlesen. Bei Animationen erkennt dieser selbstständig welche die darauffolgende Datei ist. Ein Spezialfall sind die *Animation* Modi. *Animation (prepass)* ist extra zur Vorberechnung für Animationen gedacht, sprich Kameraflüge und/oder animierte Geometrien. Es speichert für jeden Frame eine Datei ab. Dabei können keine Frames übersprungen werden und es deaktiviert automatisch die Berechnung des finalen Bildes, um ausschließlich die Beleuchtung vorzuberechnen. Das Pendant dazu ist *Animation (rendering)*, das anhand der vorberechneten Wolken nur das finale Bild rendert. Speziell an dieser Stelle macht die bereits genannte Option *Interpolation Frames* Sinn, um Flickering durch Interpolation über mehrere Dateien zu reduzieren. Die jeweils anzuwendende Methode sollte je nach Anwendungszweck gewählt werden.

#### 3.3.2 Photon Map

Die Photon Map (PM) kann sowohl als primäre Beleuchtungsmethode als auch sekundäre benutzt werden. Sie ist ähnlich wie die Irradiance Map eine 3D Punktwolke, die das Licht repräsentiert. Im Gegensatz dazu benutzt sie aber Partikel, sogenannte Photonen, die von Lichtern emittiert werden, um die globale Beleuchtung zu errechnen. Ebenso unterscheidet sich die Rekonstruktion der Beleuchtung dadurch, dass die Abtastpunkte nicht interpoliert werden sondern die Photonendichte am zu berechnenden Punkt ermittelt wird. Diese Photonendichte ist auch die zentrale Idee hinter der Photon Map.

Die Irradiance Map ist durch die adaptive Detailberechnung etwas im Vorteil. Der größte Nachteil der Photon Map ist die *Boundary Bias*, das heißt, sie berechnet Kanten oder Ecken zu dunkel. Des Weiteren kann sie keine Beleuchtung durch Himmelslicht berechnen, da sie eine photonenausstrahlende Oberfläche benötigt. In V-Ray zumindest ist das *Skylight* keine Geometrie und somit auch keine Oberfläche.

Aber die Photon Map bietet auch Vorteile gegenüber der Irradiance Map. Im Gegensatz dazu ist sie Blickwinkel unabhängig und schnell berechenbar. Das macht sie in Verbindung mit präziseren Verfahren sehr gut anwendbar. Ihre Qualität ist dabei aber nicht nur von den globalen Rendereinstellungen abhängig, sondern auch von den Photoneneinstellungen der einzelnen Lichtquellen. Jede Lichtquelle bietet Kontrolle über die *Subdivs* der Photonen und der durch sie erzeugten Kaustiken. Dazu soll die Abbildung 3.6 veranschaulichen, wie ein Rendering mit der Photon Map aussieht. Am ehesten fällt neben dem starken Color Bleeding an der Wand die mäßige Detailtreue auf dem Drachen auf. Die Berechnung dieses Bildes war zudem sehr RAM intensiv (bis zu 22GB).



**Abbildung 3.6:** Nur Photon Map als Primary Bounces

In den Rendereinstellungen finden sich globale Einstellungsmöglichkeiten für die Photon Map. Mit den *Bounces* beschränkt man die Anzahl der Photonenkollisionen. Ein höherer Wert macht das Ergebnis zwar realistischer aber auch rechen- und speicherintensiver. Die maximale Anzahl der Photonen zur Berechnung eines Punktes lässt sich durch *Max Photons* beschränken. Je höher die Zahl, desto weicher aber auch verschwommener wird das Ergebnis durch die Approximation über mehr Werte und somit auch langsamer. Ein zu kleiner Wert führt hingegen zu mehr Rauschen und mit null werden jegliche Daten innerhalb des Suchradiuses zu Rate gezogen. Ist die Option *Convex Hull Estimate* deaktiviert, so benutzt V-Ray einen simplen Algorithmus zur Berechnung eines Punktes in dem es über den Abstand der entferntesten Photonen approximiert. Dadurch kann der Effekt der Boundary Bias hervorgerufen werden und dunkle Ecken und Kanten entstehen lassen. Durch die Aktivierung kann der Effekt dementsprechend reduziert werden, es verlangsamt die Berechnung aber und ist nicht sehr robust. *Retrace Bounces* wird dazu benutzt die Anzahl der Kollisionen zu bestimmen, um Ecken nach zu vollziehen. Dieser Wert sollte mit dem der *Bounces* übereinstimmen.

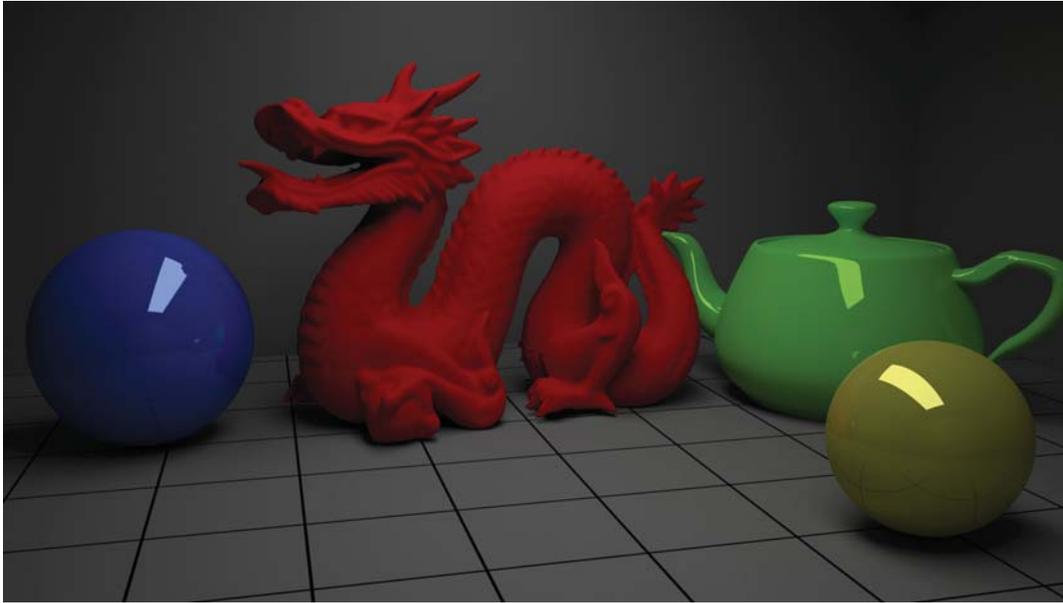
Um den Prozess der Berechnung bei Szenen mit vielen Lichtern zu beschleunigen, kann es hilfreich sein *Store Direct Light* zu aktivieren. Damit werden die direkten Lichtstrahlen der Lichtquellen mit in der Photon Map gespeichert. Ansonsten werden nur die notwendigen Strahlen verfolgt, was bei sehr vielen Lichtquellen aber länger dauern kann. Wenn man die *Auto Search Distance* aktiviert, bestimmt V-Ray den Suchradius für Photonen selbstständig. Es kann aber passieren, dass der Radius zu groß, somit wird der Renderprozess verlangsamt, oder zu klein ist, damit wird das Ergebnis sehr verrauscht. Ist dies der Fall sollte die Option deaktiviert werden und der Parameter in *Search Distance* selbst bestimmt werden. Dieser Parameter kann sich von Szene zu Szene sehr unterscheiden, da er direkt von der Szenengröße abhängig ist. Durch den *Multiplier* lässt sich die Helligkeit der gesamten Photon Map anpassen. Da die Photon Map durch ihren Algorithmus dazu neigt Details zu verwaschen, gibt es die Möglichkeit mit *Retrace Threshold* detailliertere Stellen und Ecken anhand der Brute Force Methode berechnen zu lassen und somit auch die Artefaktbildung an diesen Stellen zu dezimieren. Diese Methode ist aber deutlich rechenintensiver und verlangsamt den Prozess damit natürlich. Falls die Auflösung der Photon Map nicht präzise genug ist, man aber auch gleichzeitig an die Grenzen des Arbeitsspeichers stößt, empfiehlt es sich den Parameter *Max Density* zu benutzen. Damit ist es möglich die maximale Anzahl Photonen, die gespeichert werden, zu limitieren, jedoch kann eine viel höhere Zahl emittiert werden. Das heißt, trifft ein neues Photon auf einen Punkt und es gibt bereits ein Photon in der Nähe, so wird die Energie zu diesem addiert statt ein weiteres zu speichern. Dadurch erhöht sich die Qualität der Beleuchtung ohne die Photon Map im Arbeitsspeicher zu groß werden zu lassen.

#### 3.3.3 Brute Force

Die Brute Force (BF) Methode wird auch als direkte Berechnung der globalen Beleuchtung beschrieben. Im Gegensatz zu den übrigen Methoden in diesem Kapitel interpretiert diese nicht, sondern berechnet jeden einzelnen Punkt für sich und unabhängig von anderen. Daher hat sie einen enormen Vorteil bei der Berechnung kleinster Details. Durch diese Präzision ist der Rechen- und Zeitaufwand aber auch dementsprechend hoch. Um die Berechnung zu beschleunigen, kann es sinnvoll sein als sekundären Algorithmus die Photon Map oder den Light Cache zu verwenden. Die Abbildung 3.7 zeigt ein nahezu rauschfreies Ergebnis. Der Zeitaufwand dafür liegt bei einem vielfachen der Irradiance Map. Wenn man die Berechnungszeit auf einem ähnlichen Level halten möchte, muss man mit dem Brute Force ein sehr stark verrauschtes Ergebnis in Kauf nehmen. Da die Beleuchtung und Schattierung für jeden Punkt einzeln berechnet wird, ist sie zwar die präziseste aber auch zeitaufwändigste Methode. Zugleich sind Vorberechnungen dadurch unmöglich.

Die Strahlen werden von der Kamera ausgehend verfolgt, um die zu berechnenden Punkte zu ermitteln, daher ist die Brute Force Methode blickwinkelabhängig. Wie viele Strahlen ausgesendet werden ist, wie schon bei der Irradiance Map, quadratisch proportional von der Zahl der *Subdivs* abhängig. Die sekundären Lichtkollisionen werden nur berechnet, sofern Brute Force dafür auch ausgewählt wurde. Pro sekundäre Kollision wird nur ein Strahl weiter verfolgt, somit wächst der Rechenaufwand nicht exponentiell.

Die Anzahl der Parameter ist sehr übersichtlich, da durch die direkte Berechnung keine



**Abbildung 3.7:** Nur Brute Force als Primary Bounces (Renderzeit 95 Minuten)

Attribute zur Interpolation notwendig sind. Neben den bereits genannten Subdivs, gibt es nur noch die *Depth*, mit der man die Anzahl der Kollisionen bestimmt.

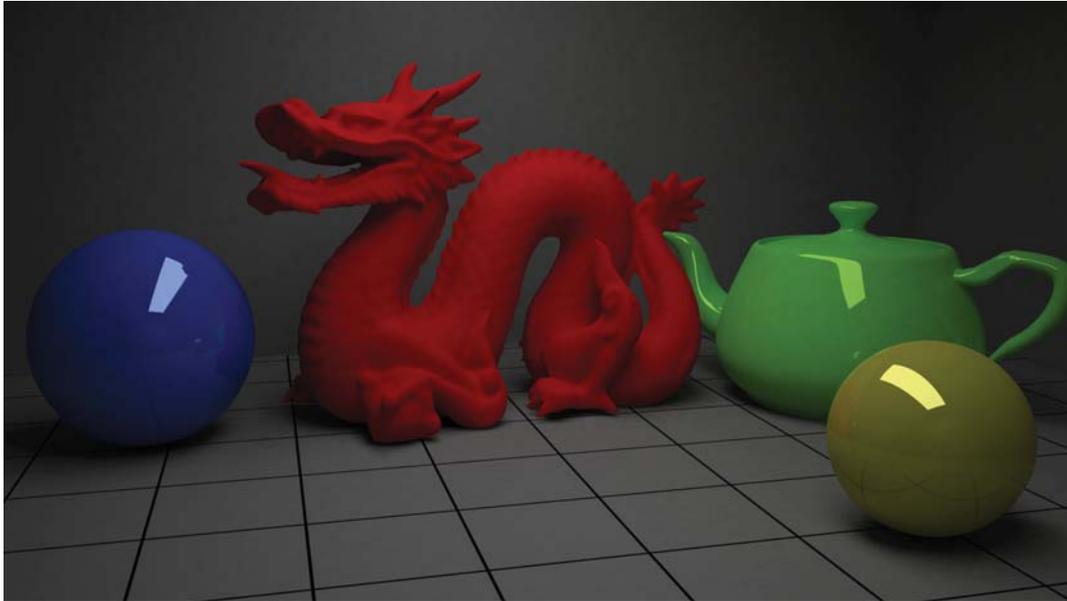
### 3.3.4 Light Cache

Der Light Cache (LC) ist eine von Chaos Group selbst entwickelte Methode zur Approximation der globalen Beleuchtung. Sie hat einige Ähnlichkeiten mit der Photon Map aber ohne ihre Limitierungen. Statt Photonen zu verfolgen, baut sich der Light Cache auf, indem er Strahlen aus der Kamera durch die Szene verfolgt und in einer 3D Punktwolke speichert. Auch wenn der Aufbau simpler ist, ergeben sich einige Vorteile. Er ist einfacher einzurichten, da Strahlen aus der Kamera verfolgt werden und nicht jede Lichtquelle einzeln eingestellt werden muss. Des Weiteren kann die Methode mit jeglicher Art von Lichtern umgehen, selbst mit Skylights oder selbstleuchtenden Geometrien. Der größte Vorteil liegt wohl darin, schnell eine Vorschau der Beleuchtung anzeigen zu können. Natürlich ist diese Methode auch nicht perfekt und hat ihre Grenzen. Sie ist blickwinkelabhängig, wie die Irradiance Map, nicht adaptiv und hat Probleme bei der korrekten Berechnung von Bump Maps.

In der Abbildung 3.8 sind im Vergleich zur Abbildung 3.7 die Blotches und Flecken an der Wand und auf dem Utah Teapot<sup>2</sup> gut zu erkennen. Ebenso büßt die Methode auch Detailtreue auf dem Drachen, primär an den Schuppen, ein.

Die ersten Parameter dieses Algorithmus kontrollieren nur die Berechnungsphase und haben keinen Einfluss auf das spätere Rendering. Die *Number Of Passes* bestimmt die Anzahl der parallel berechneten Punktwolken, die am Ende zu einem Light Cache zusammengefasst

<sup>2</sup><http://goo.gl/AAgZA>



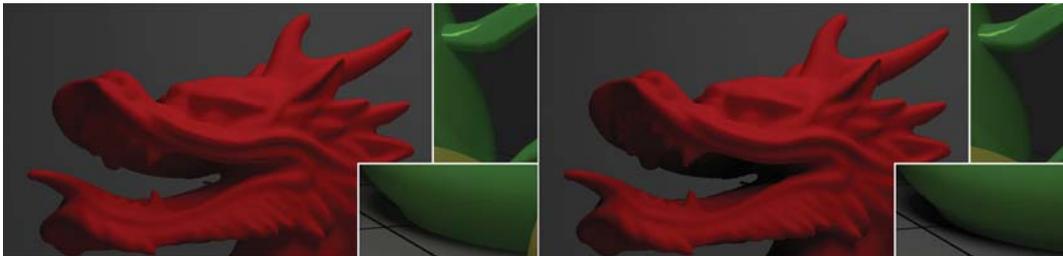
**Abbildung 3.8:** Nur Light Cache als Primary Bounces

werden. Damit wird die Konsistenz über Rechner mit unterschiedlich vielen CPUs gewährleistet. Aus *Subdivs* zum Quadrat ergibt sich die reelle Anzahl der Strahlen, die verfolgt werden. Daher sollte man mit der Wahl großer Zahlen relativ vorsichtig sein. Die Größe der Lichtkollisionen wird durch die *Sample Size* bestimmt. Das bedeutet, je kleiner dieser Wert ist, desto feiner können Details herausgearbeitet werden, aber auch Rauschen verursachen. Dieser Wert kann sich entweder nach der Bildgröße oder den Welteinheiten richten, das ist von der Aktivierung der *World Scale* Option abhängig. Mit *Show Calc Phase* ist es möglich bereits während der Berechnung einen groben Eindruck der Beleuchtung zu bekommen. Auch der Light Cache kann die Berechnung des direkten Lichtes übernehmen. Das ist besonders sinnvoll bei sehr vielen Lichtquellen und wenn man die Irradiance Map oder den Brute Force als primäre Methode benutzt.

Hinter der Option *World Scale* versteckt sich etwas mehr, als sich auf den ersten Blick vermuten lässt. Deaktiviert repräsentiert *Sample* und *Filter Size* einen Bruchteil des Bildes (eins heißt, ein Abtastpunkt ist so groß wie das Gesamtbild). Dadurch ergibt sich der Effekt, dass nahe Punkte kleiner sind und entfernte größer. Durch das Aktivieren dieser Option erhält man entfernungsunabhängig überall dieselbe Größe für die Abtastpunkte. Das kann einen positiven Effekt auf nahe Punkte haben, da sie öfter abgetastet werden, entfernte neigen dabei eher zu Rauschen. Mit dem *Adaptive Sampling* werden zusätzliche Informationen für jedes Sample gespeichert, um mehr Abtastwerte entgegen der Lichtrichtung zu konzentrieren. Dadurch lässt sich wieder das Rauschen reduzieren und kann besonders die Qualität von Kaustiken verbessern. Wie bereits bei der Irradiance Map, berechnet *Use Camera Path* auch beim Light Cache alle Kamerablickwinkel der Kamerafahrt in einem einzigen Frame.

Die nun folgenden Parameter sind dafür zuständig, wie die berechneten Daten während des Renderprozesses rekonstruiert werden. Man kann zum Beispiel über den *Filter Type* die Art der Interpolation auswählen, anhand dessen die Pixel des Bildes aus den Daten der 3D Punktwolke berechnet werden. Zusätzlich ist es möglich mit *Prefilter* bereits vor dem Rendering die Daten aufzubereiten. Dabei werden die Abtastwerte geglättet, was weniger Rauschen zur Folge haben kann. Wie großflächig das geschehen soll bestimmt man durch die *Prefilter Samples*. Falls die Szene über sehr viele „glossy reflections“ verfügt, kann es helfen diese durch *Use Light Cache For Glossy Rays* ebenfalls durch den Light Cache berechnen zu lassen. Auch bei diesem Algorithmus ist die Länge der Strahlen limitiert, diese lässt sich mit dem Parameter *Depth* bestimmen. Durch den rekursiven Aufbau ergeben sich längere Pfade im Endresultat. Um Berechnungsfehler durch Interpolation in Ecken und Hochglanzreflexionen zu dezimieren, bietet V-Ray die Option *Use Retrace Threshold* an. Basierend auf der Oberflächeneigenschaft und dem Abstand, entscheidet es dabei dynamisch den Light Cache zu benutzen oder nicht.

Natürlich bietet auch diese Methode an, die Berechnungen zu speichern. Wie bereits bei der Irradiance Map, gibt es die Möglichkeit die Berechnung mit *Single Frame* für jedes Bild neu aufzubauen oder mit *From File* aus einer Datei wieder auszulesen. Mit *Fly-Through* kann man reine Kameraflüge vorberechnen, vorausgesetzt es gibt keinerlei sonstige animierte Geometrie in der Szene. Ansonsten können dadurch Fehler und Artefakte entstehen. Eine Ausnahme, die nur der Light Cache besitzt, ist das *Progressive Path Tracing*. Dabei tastet der Algorithmus bis zum finalen Bild zunehmend ab.



**Abbildung 3.9:** Unterschied Primary und Secondary Bounces

Zusammenfassend für dieses Kapitel kann festgehalten werden, dass die Primary Bounces den stärksten Effekt auf die globale Beleuchtung haben. Mit den Secondary Bounces lassen sich Details, besonders in Schatten, noch besser herausarbeiten und das Bild weniger künstlich wirken, wie in der Abbildung 3.9 zu erkennen ist. Im linken Bildteil sind Vergrößerungen aus einem Rendering ausschließlich mit Primary Bounces zu sehen. Der rechte Teil zeigt dieselben Ausschnitte mit Secondary Bounces, die deutlich realistischer wirkende Schatten zum Vorschein bringen. Ohne diese beiden Ansätze wären realistische Bilder nur sehr schwer zu verwirklichen. Alle Methode, bis auf den Brute Force, benutzen Algorithmen zur Annäherung der indirekten Beleuchtung, primär um zeitnahe und damit recheneffiziente Ergebnisse liefern zu können.

### 3. BELEUCHTUNGSMODELLE

---

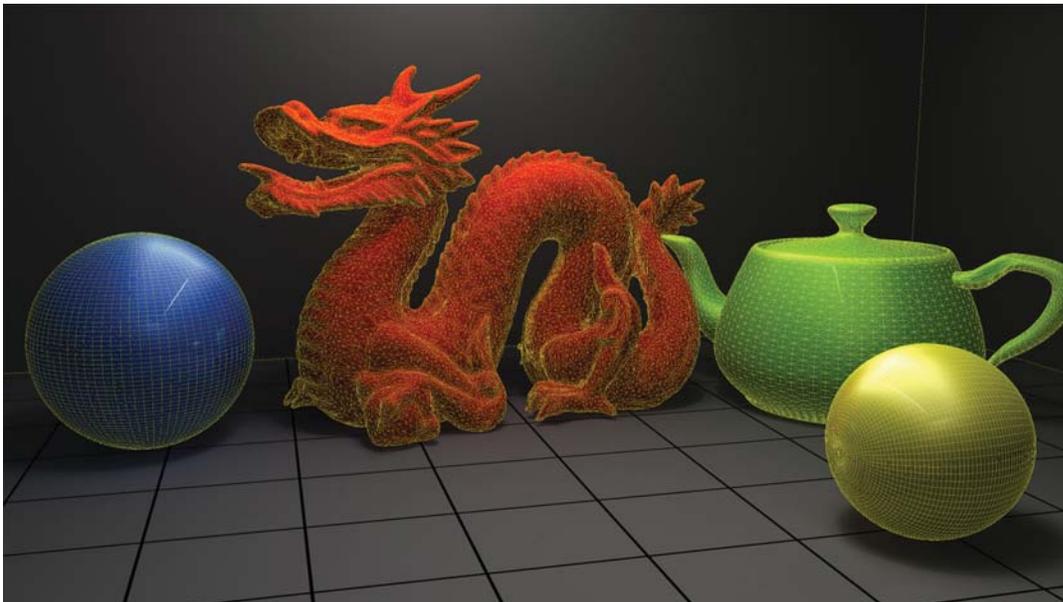
Da nun die grundlegenden Funktionen und Methoden der einzelnen Verfahren dargestellt wurden, geht es in den folgenden Kapiteln um die Methodikentwicklung diese in Animationen effizient nutzen zu können.

## Kapitel 4

# Methodikentwicklung für Mental Ray

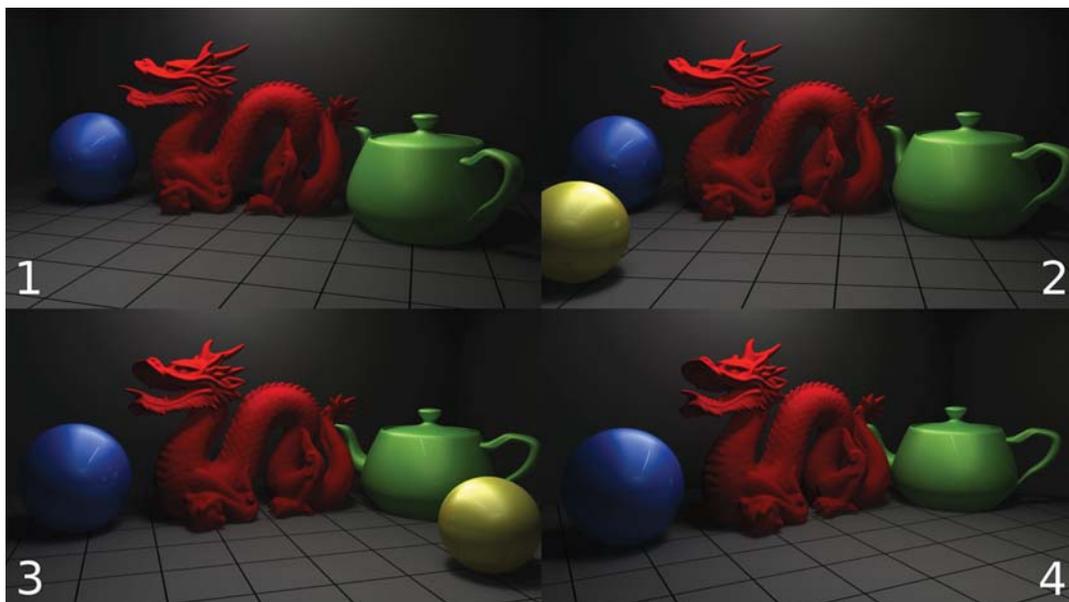
Nachdem die notwendigen Grundlagen über Beleuchtungsmodelle und der Stand der Technik in den jeweiligen Kapiteln behandelt wurden, folgt zum Einstieg ein Überblick über die Testszene, die eingesetzte Software und das System. Darüber hinaus werden häufig auftretende Probleme behandelt und im Anschluss folgt die Methodikentwicklung, welche eine solide Grundlage bieten soll, um zeiteffizient störfreie Animationsfilme zu erzeugen.

### 4.1 Aufbau der Szene



**Abbildung 4.1:** Testszene mit Wireframe

Die Abbildung 4.1 zeigt die für diese Arbeit benutzte Testszene. Sie besteht aus einer modifizierten Cornell Box<sup>1</sup> mit einem Grid (Gitternetz) auf dem Boden, zur besseren Orientierung während der Animation, einer blau glänzenden Sphere (Kugel), einem roten diffusen Stanford Dragon<sup>2</sup>, einem grünen spiegelnden Utah Teapot<sup>3</sup> und einer animierten rollenden Kugel in Gelb. Die Cornell Box wurde ursprünglich zur Evaluation von physikalisch korrekten Rendersystemen benutzt und hat sich mittlerweile in der Computergrafik als Testszenario für Renderer etabliert. Die Stanford Modelle (Dragon, Bunny und Buddha) sind 3D Scans der Stanford University und mit dem Utah Teapot ebenfalls zu weit verbreiteten Testmodellen geworden. Mit dem Aufbau der Testszene wurde versucht einen sehr hohen Anspruch an die globale Beleuchtung zu setzen, da die Lichtstreuung fast nur indirekt stattfindet. Die Modelle sollten dabei mit low-poly bis high-poly die Eventualitäten einer reellen Animation abdecken. Zudem wurde diese Gesamtgruppe um den Faktor 100 vergrößert, daraus resultieren in einigen Fällen sehr hohe Werte in skalierungsabhängigen Parametern. Des Weiteren beinhaltet sie einen Kameraflug durch die Cornell Box mit dem Stanford Dragon im Fokus (siehe Abbildung 4.2). Insgesamt ergeben sich somit 138.358 Polygone (Quads). Zur Beleuchtung wird ein Arelight eingesetzt dessen Lichtabfall auf quadratisch gesetzt und die Intensity dementsprechend angepasst wurde. Zudem emittiert es 1Mio. Photonen für die Global Illumination.



**Abbildung 4.2:** Übersicht der Animation

---

<sup>1</sup><http://www.graphics.cornell.edu/online/box/>

<sup>2</sup><http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>

<sup>3</sup><http://goo.gl/AAgZA>

Die genutzte Software ist Autodesk Maya 2013<sup>4</sup> mit dem integrierten Mental Ray 3.10 und Chaos Group V-Ray 2.30<sup>5</sup> auf einem 6-Kern Intel i7-970<sup>6</sup> mit 24GB Arbeitsspeicher. Alle Zeitangaben zu gerenderten Bildern beziehen sich auf eine Auflösung von 1680x944.

## 4.2 Problemanalyse

Zunächst müssen die Probleme analysiert werden, die mit Standardwerten auftreten können. Bevor es dabei überhaupt an Einstellungsmöglichkeiten von Mental Ray geht, ist generell die Zeit das erste Problem. Es wäre natürlich einfach die Parameter auf ein Maximum zu drehen und auf ein sauberes Ergebnis zu hoffen. Aber selbst das ist kein Garant für störfreie Bilder. Dabei können immer noch Probleme durch die Animationen auftreten, die behandelt werden müssen. Zudem würde die Renderzeit darunter unnötig leiden. Aber es geht ja darum eine Balance zwischen Zeit und Qualität zu finden und auf diesem Wege würde diese Balance vollkommen kippen. Denn Zeit, genauso wie Rechenleistung, ist immer eine sehr begrenzte Ressource. Daher ist die Zeit ein allgemeines Problem, das für die Methodikentwicklung stets im Auge behalten wird. Als Beispiel zwei Bilder (siehe Abbildung 4.3), die sich optisch kaum unterscheiden aber durch unterschiedliche Rendereinstellungen in der Renderzeit sehr weit auseinander liegen.



**Abbildung 4.3:** Identische Bilder mit großem zeitlichen Unterschied

Neben der globalen Beleuchtung ist das sogenannte Image Sampling (in Mental Ray in den Rendersettings unter Quality zu finden) maßgeblich mit an der Qualität des Bildes und der damit verbundenen Rechenzeit verantwortlich. Für diese Arbeit wurde lediglich der *Anti-Aliasing Contrast* von 0.1 auf 0.05 verändert. Damit sind deutliche Verbesserungen am Grid zu erkennen, aber nahezu keine Veränderung in der Renderzeit. Die Bildabtastung selbst ist nochmal ein großes Themengebiet und würde den Rahmen sprengen, daher ist sie nicht Bestandteil dieser Arbeit. Es wurde für diese Arbeit speziell Fokus auf die beiden Verfahren Global Illumination und Final Gathering gelegt.

Das Photon Mapping in Mental Ray bringt anfangs ein paar Hürden mit sich. Es reicht nicht nur in den Rendersettings den Haken für Global Illumination zu setzen, man muss

<sup>4</sup><http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=403786&id=14657512>

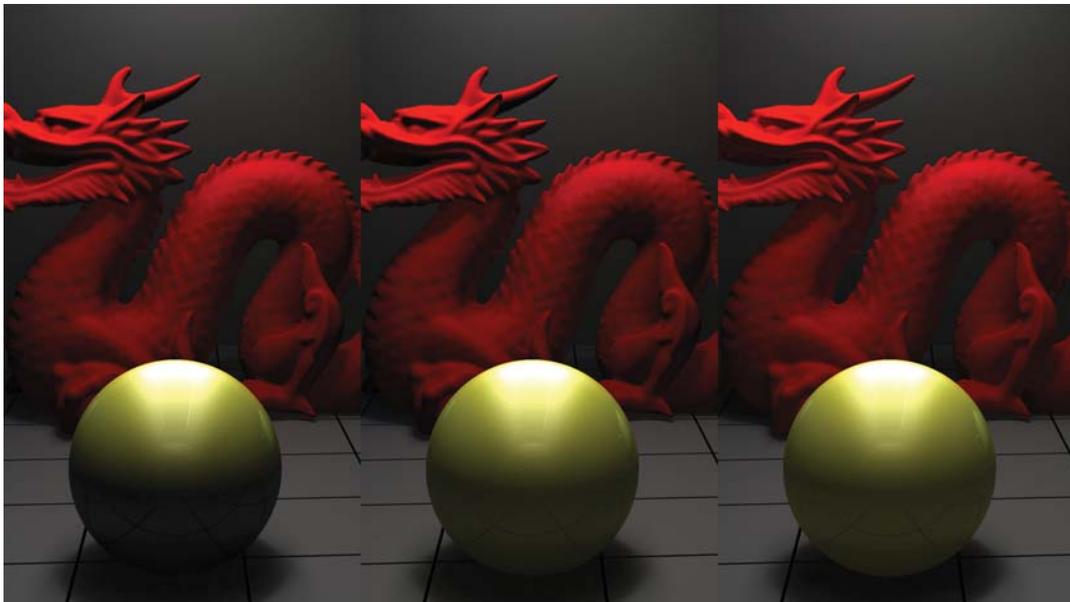
<sup>5</sup>[http://www.chaosgroup.com/en/2/vray\\_maya.html](http://www.chaosgroup.com/en/2/vray_maya.html)

<sup>6</sup><http://ark.intel.com/products/47933/>



**Abbildung 4.4:** Keine und zu starke Photonintensität

zusätzlich für jede Lichtquelle einzeln die Photonen aktivieren. Ansonsten funktioniert das Verfahren nicht und die Einstellungsmöglichkeiten zeigen keinerlei Effekt. Desweiteren muss man dann die richtige Photonenzahl und Intensität für jede Lichtquelle finden. Das kann bereits frustrierend wirken, wenn man an Reglern über mehrere Hunderter Schritte was einstellt und sich keinerlei Veränderung zeigt. Dieses und das andere Extrem, dass „zu viel“ passiert, zeigt sich in der Abbildung 4.4.

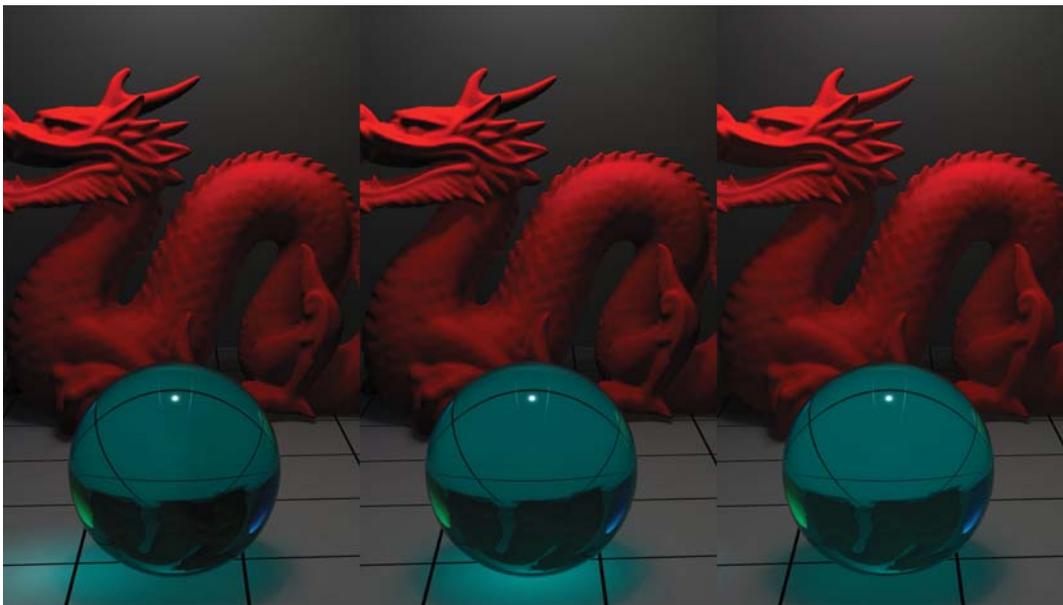


**Abbildung 4.5:** PM Cache aus anderem Frame - PM Rebuild On - PM Cache + Final Gathering

Das Finden der richtigen Werte kann viel Zeit in Anspruch nehmen, denn die Skalierung der Szene selbst spielt eine tragende Rolle. Das Photon Mapping ist zwar blickwinkelunabhängig, aber durch die Größenabhängigkeit ergeben sich neue Probleme. Und selbst wenn das eine Testrendering in geringer Auflösung gut aussieht und man sich am Ziel glaubt, kann

die benötigte Zeit zum Rendern in der Produktionsauflösung doch wieder sehr lange sein. Aber auch an dieser Stelle gibt es noch Verbesserungspotential und darüber hinaus muss man die Photon Map auch nicht in jedem Frame neu berechnen lassen, um so auch wieder Zeit sparen zu können.

Sofern die Szene nur einen Kameraflug beinhaltet, stellt das vorberechnen und wiederverwenden der Photon Map auch keinerlei Problem dar. Selbst in der Verbindung mit Animationen kann es noch gut gehen. Die Abbildung 4.5 zeigt links eine vorberechnete Photon Map aus dem Frame 0, wo die Kugel noch gar nicht im Bild zu sehen ist (zur Orientierung siehe dazu Abbildung 4.2). Das mittlere Bild wurde mit einer neu berechneten PM gerendert und weist eine deutlich bessere indirekte Beleuchtung der Unterseite der Kugel auf. Dieses Problem lässt sich durch Final Gathering aber kaschieren, wie im rechten Bildteil zu erkennen ist.

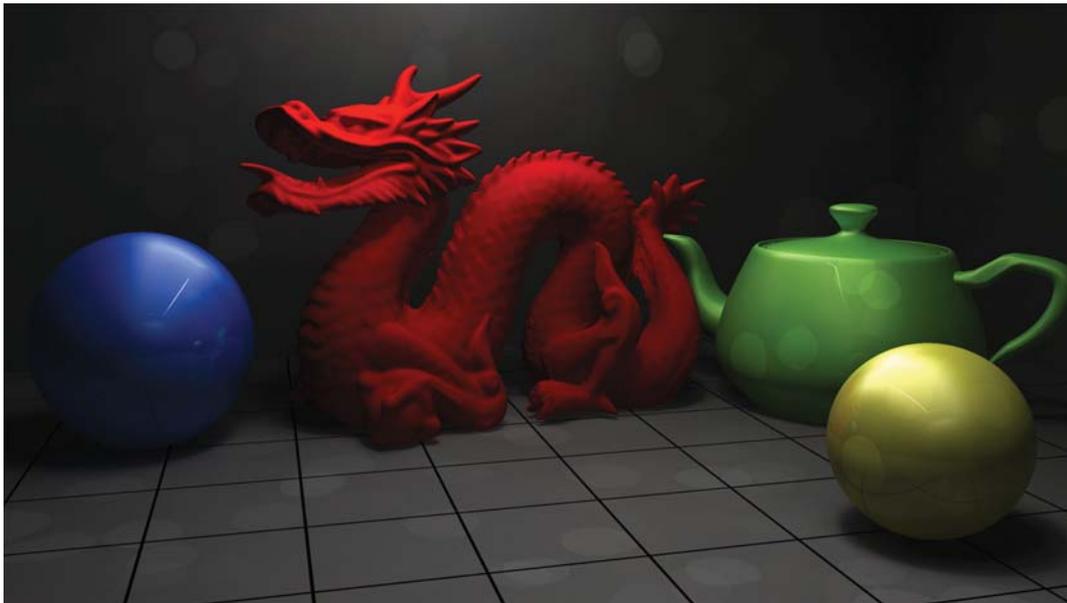


**Abbildung 4.6:** Problem vorberechnete PM in Verbindung mit Kaustiken

Eine Ausnahme stellen dabei die Kaustiken dar. Lässt man diese mit berechnen und das Glas oder Wasser, welche diese erzeugt, bewegt sich, wird die Neuberechnung unumgänglich. Der „glückliche Zufall“ in Abbildung 4.5 trifft dann nicht mehr zu, da Final Gathering dies nicht berechnen kann. Die Abbildung 4.6 verdeutlicht das Problem anhand der rollenden Kugel, diesmal mit einem Glas Shader darauf. Der linke Teil zeigt eine PM nur wenige Frames vor dem aktuellen berechnet, dadurch fällt die Kaustik links neben der Kugel auf den Boden. Für das mittlere Bild wurde die PM neu berechnet. Somit sitzt die Kaustik korrekt unterhalb der Kugel. Der rechte Bildteil zeigt eine vorberechnete PM aus einem weiter entfernten Frame, dadurch liegt die Kaustik außerhalb des Bildausschnitts. Zusätzlich wurde das Bild mit Final Gathering gerendert. Hier ist deutlich zu erkennen, dass das FG die falsche Kaustikberechnung nicht retten kann. Außerdem ist die Kaustik immer an derselben

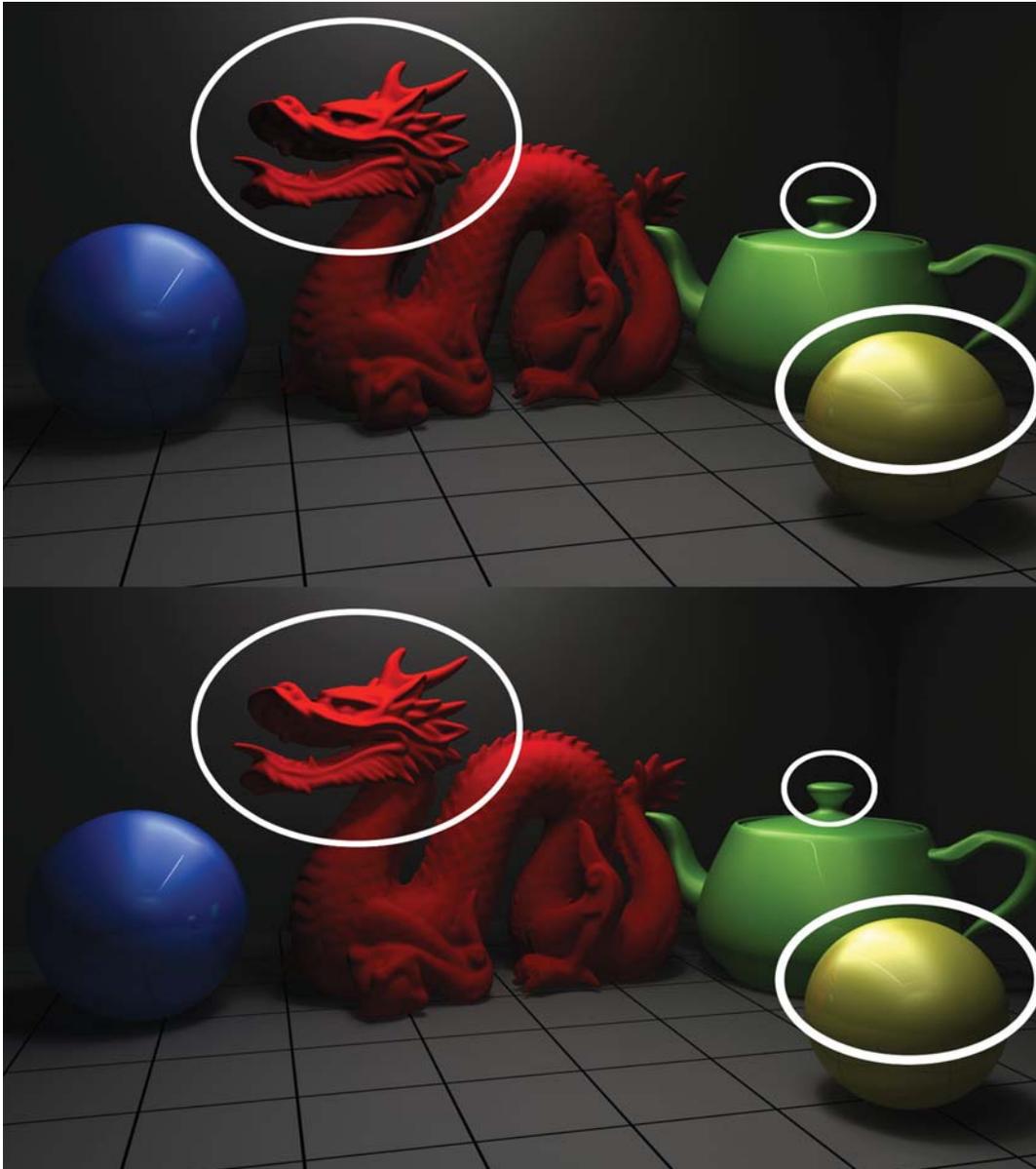
Stelle in der Animation zu sehen, das heißt es entsteht ein irritierender Lichtpunkt auf dem Boden. Sofern die Szene keine Wasserbewegung oder animierte Glasobjekte besitzt, ist es kein Problem eine vorberechnete Photon Map auch für die Animation zu benutzen.

Wie schon im Grundlagenkapitel 3.2 Globale Beleuchtungsmodelle Mental Ray beschrieben, stellt Mental Ray neben der Global Illumination noch das Final Gathering zur Verfügung. Durch die Blickwinkel- und Auflösungsabhängigkeit stellt es einen vor ganz andere Probleme. Es besteht zwar keine Abhängigkeit mehr von Lichtquellen, was zumindest den Teil des Einrichtens etwas erleichtert, dafür offenbaren sich neue Probleme bei Animationen. Zunächst einmal sind die Standardwerte ziemlich zeitintensiv und sollten unbedingt angepasst werden. Durch etwas extreme Werte, kann es zu solchen Ergebnissen, wie in Abbildung 4.7, kommen. Hinzu kommt, dass wenn man die FG Map in jedem Frame neu berechnen lässt, diese Punkte auch noch zusätzlich durchs Bild wandern. Man hat das Gefühl, dass eine Discokugel in die Szene gehängt wurde und es macht nicht den Eindruck noch viel mit indirekter Beleuchtung zu tun zu haben. Näheres zu diesem Problem und dessen Lösung findet sich im folgenden Abschnitt 4.3 Verfahrensentwicklung.



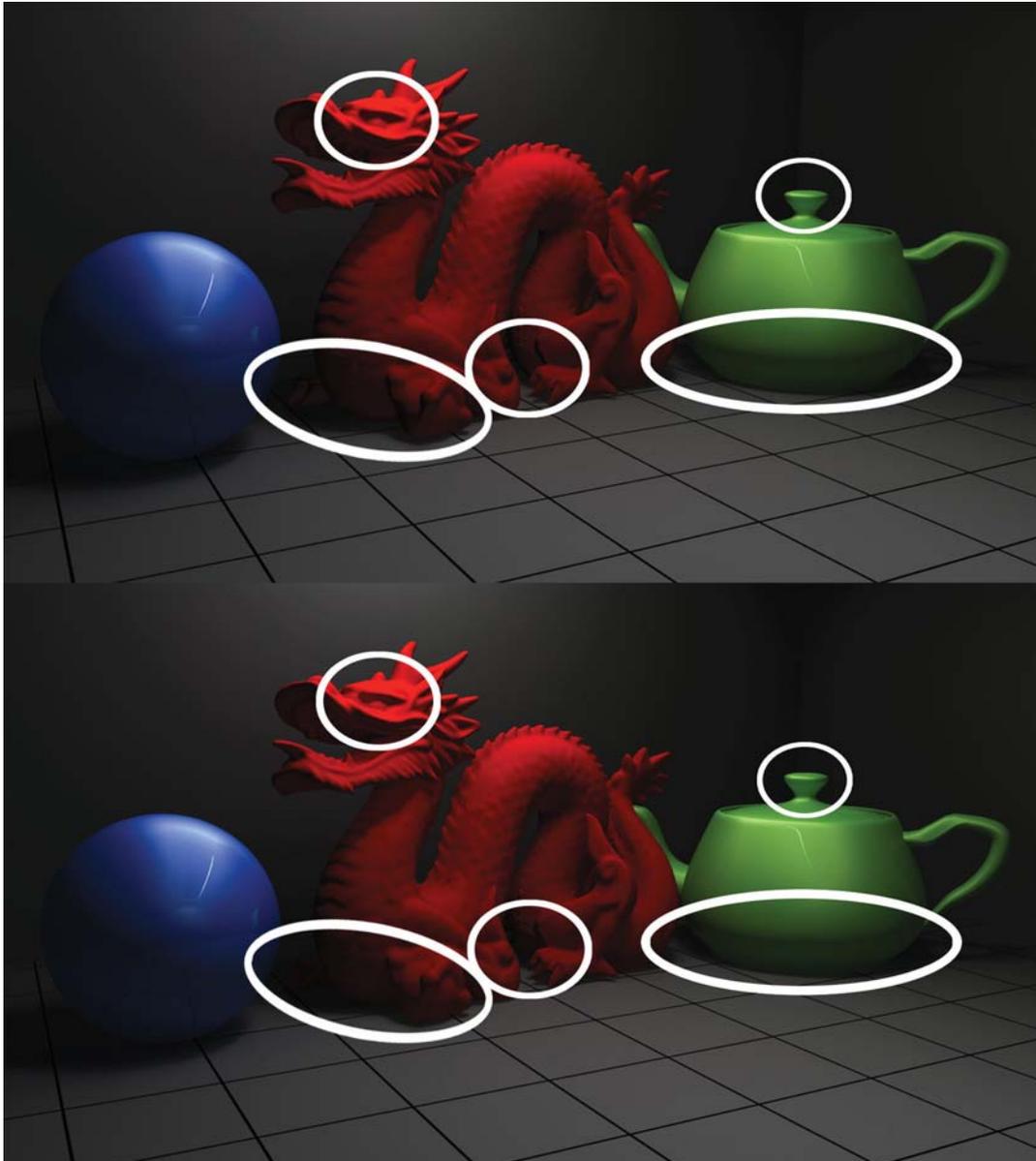
**Abbildung 4.7:** Final Gathering mit sehr geringen Werten

Im Gegensatz zur Photon Map, ist es wichtig die Final Gathering Map in der korrekten Auflösung vorzuberechnen. Ansonsten können durch fehlerhafte Berechnungen Artefakte entstehen, wie in der Abbildung 4.8 zu sehen ist. Genauso ist auf die richtige Kamera zu achten, da die Strahlen aus der Kamera in die Szene geschossen werden, woher auch die Blickwinkelabhängigkeit rührt. In Abbildung 4.8 sind die Stellen markiert, wo sich Artefakte durch die zu gering aufgelöste Final Gathering Map bildeten. Zum einen sieht man am Kopf des Drachens deutliche Helligkeitsunterschiede, genauso wie am Griff des Deckels auf



**Abbildung 4.8:** Final Gathering Map bei 210x118 berechnet und bei 1680x944 verwendet, zum Vergleich eine saubere Berechnung im unteren Bild

dem Utah Teapot. Auf der gelben Kugel hingegen bilden sich ringförmige Artefakte. Im Vergleichsbild darunter sind klar die sauberen Berechnungen, besonders auf der Kugel, zu erkennen. Auch wirkt die indirekte Beleuchtung, speziell im Maul des Drachens, deutlich natürlicher. Wie schon angesprochen spielt die Wahl der richtigen Kamera bei der Berechnung eine tragende Rolle. Wenn man die FG Map aus Kamera2 berechnet und mit Kamera1



**Abbildung 4.9:** Final Gathering Map in Frame 000 berechnet und in Frame 100 verwendet, zum Vergleich eine saubere Berechnung im unteren Bild

rendert, ist das im Grunde dasselbe, wie wenn man eine Map im falschen Frame berechnet (sofern diese mit einem Kameraflug animiert ist). Zur Veranschaulichung zeigt die Abbildung 4.9 die Auswirkungen, die auftreten können. Der Effekt ist zwar nicht ganz so stark wahrzunehmen, wie bei der falschen Auflösung in Abbildung 4.8, aber im direkten Vergleich, wenn man die beiden Bilder übereinander legen würde, ganz gut zu erkennen. Die Schattierungen

gerieten besonders an den markierten Stellen zu stark oder zu schwach und die Kralle des Drachens sticht „leuchtend“ aus dem Schatten hervor. Auch wenn es den Eindruck macht, man könnte diese geringfügigen Fehler hinnehmen und so einen Zeitvorteil erlangen, ist es nicht ratsam. Stattdessen ist es wichtig, dass die FG Map jeden möglichen Blickwinkel abdeckt und eine gute Punktabdeckung in der Szene vorhanden ist. Genauer dazu wird im kommenden Abschnitt 4.3 behandelt.

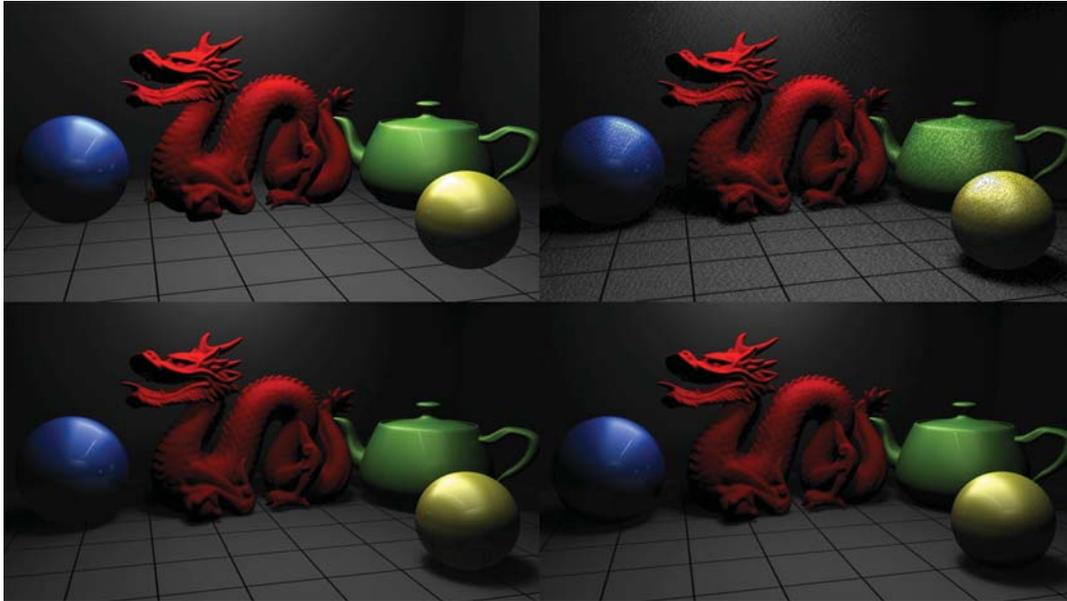
Zusammenfassend kann man über eine Vielzahl kleinerer Steine stolpern, die sich teilweise gegenseitig so versperren können, dass man frustriert vor seiner 3D Szene sitzt und nicht so recht weiter weiß. Die Standardwerte der Verfahren können teilweise schon enorme Renderzeiten beanspruchen und trotzdem noch keine zufriedenstellende Ergebnisse zu Tage fördern. Der naheliegende Gedanke, dass die Werte dann zu gering sind, kann aber genau entgegengesetzt der eigentlichen Lösung liegen. Je nach Szeneninhalte oder -größe können die Probleme abweichen oder andere auftreten. Auch die Skalierung und eingestellte Einheitsgröße in Maya können eine Rolle spielen. Die im kommenden Abschnitt 4.3 beschriebene Methodik soll die hierfür notwendigen Arbeitsschritte klarer machen und den Arbeitsablauf erleichtern.

### 4.3 Verfahrensentwicklung

Die zu entwickelnde Methodik für Mental Ray soll weder gigantische Rechenleistung voraussetzen noch viel Zeit zur Berechnung in Kauf nehmen. Die Animation über 200 Frames soll dabei auf dem Testsystem (siehe Abschnitt: 4.1 Aufbau der Szene) innerhalb von maximal 8-10 Stunden, inklusive möglicher Vorberechnungen gerendert werden können, sodass man diese ohne Arbeitszeitverlust über Nacht berechnen lassen kann. Außerdem sollen in der gerenderten Sequenz keinerlei Bildstörungen wie Blotches oder Flickering vorhanden sein, die den Betrachter von der eigentlichen Animation ablenken.

Zunächst sollte man die Szene soweit aufgebaut haben, dass sie bereits etwa dem finalen Zustand entspricht. Außerdem sollten in Maya keine Warnungen oder gar Fehler während dem Rendern auftauchen, wie beispielsweise leere UV Layouts. Sofern dies gegeben ist, kann man den Objekten ihre unterschiedlichen Materialien zuweisen und erste grobe Einstellungen für Color, Reflectivity, etc. machen. Es ist nicht zwangsläufig notwendig, aber es kann hilfreich sein, wenn bereits die Animationen in einem finalen Zustand in der Szene vorhanden sind. Wenn alle dieser Arbeitsschritte abgeschlossen sind, hat man eine solide Basis, um die direkte und globale Beleuchtung anzugehen.

Als Erstes sollte mit der direkten Beleuchtung begonnen werden, um eine gute Grundhelligkeit für die Szene zu finden. Dafür werden zunächst die Raytrace Shadows des Arealights aktiviert, damit überhaupt Schatten berechnet werden. Ansonsten kann ein falscher Helligkeitseindruck entstehen und man muss die Intensity erneut anpassen. Die Abbildung 4.10 zeigt vier gerenderte Bilder mit unterschiedlichen Schatteneinstellungen. Links oben ohne jegliche Schatten, rechts daneben mit den Standardwerten für Shadow Rays und Ray Depth mit jeweils 1. Der Bildteil links unten zeigt bereits 180 Shadow Rays, um das Schattenrauschen zu reduzieren und unten rechts mit Rays Depth auf zwei, damit auch Schatten in



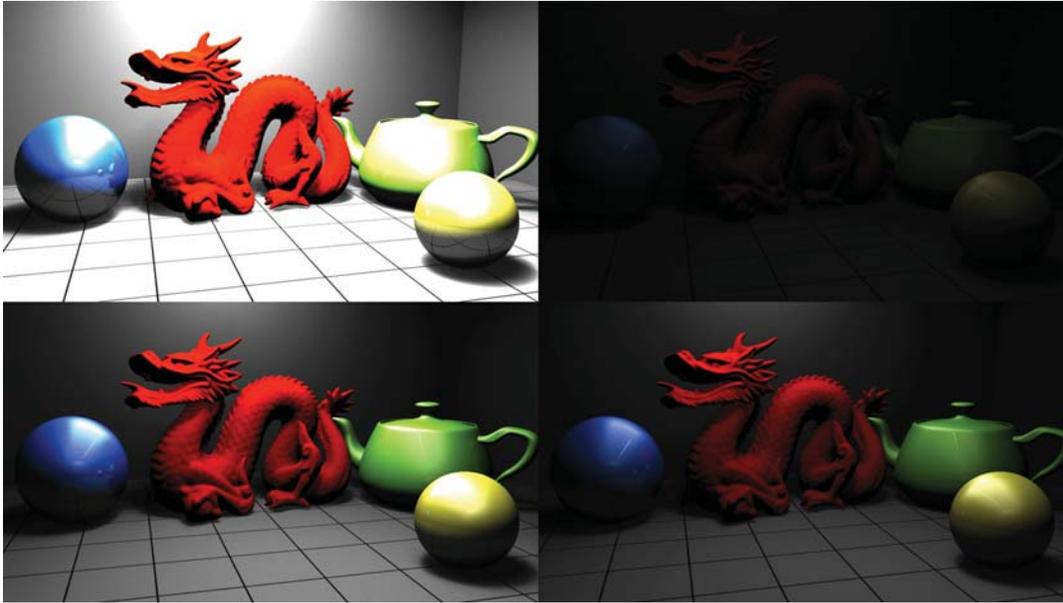
**Abbildung 4.10:** Verschiedene Werte der Schattenberechnung

Reflexionen berechnet werden. Da wir eine an die Realität angelehnte Beleuchtung erhalten möchten, muss man den Lichtabfall des Arealights zunächst auf quadratisch stellen, da es der Natur am nächsten kommt.

Die Abbildung 4.11 demonstriert die Effekte der verschiedenen Intensity Werte auf die Szene. Links oben zunächst mit dem Standardwert eins und noch ohne Abfall, mit quadratischem Abfall und dem Standardwert bleibt das Bild komplett schwarz. Das rührt durch den, mit 5.840 Einheiten in Maya, sehr hohen Abstand zwischen der Lichtquelle und dem Boden der Box. Am einfachsten ist es in dem Fall ruhig in Zehnerpotenzen die Intensity nach oben zu stellen, bis man sich der gewünschten Helligkeit angenähert hat. Rechts daneben ist dieselbe Szene bereits mit einer Intensity von 1 Million, die bereits wieder den Inhalt der Szene erkennen lässt. Eine weitere Zehnerpotenz (unten links) überstrahlt das Bild, ist also bereits zu hoch. Der Bildteil unten rechts zeigt die genau in der Mitte, bei 5 Millionen liegende Intensity mit einer guten Ausleuchtung der Szene. Es verschwinden keine Details mehr in Bodennähe oder weiter oben durch Überbelichtung. Die Renderzeit für die direkte Beleuchtung beläuft sich auf 73 Sekunden.

Um zwischenzeitlich für etwas Orientierung zu sorgen, hier an dieser Stelle eine kurze Übersicht, was bereits erledigt wurde und was noch aussteht.

- ✓ Szene mit Geometrien und finaler Skalierung
- ✓ Materialien mit ungefähren Eigenschaften den Geometrien zugewiesen
- ✓ Szene ist fehlerfrei
- ✓ Direkte Beleuchtung



**Abbildung 4.11:** Verschiedene Intensity Werte des Arealights

✗ Global Illumination

✗ Final Gathering

Soweit besteht jetzt schon eine solide Basis, auf der man mit der globalen Beleuchtung aufbauen kann.

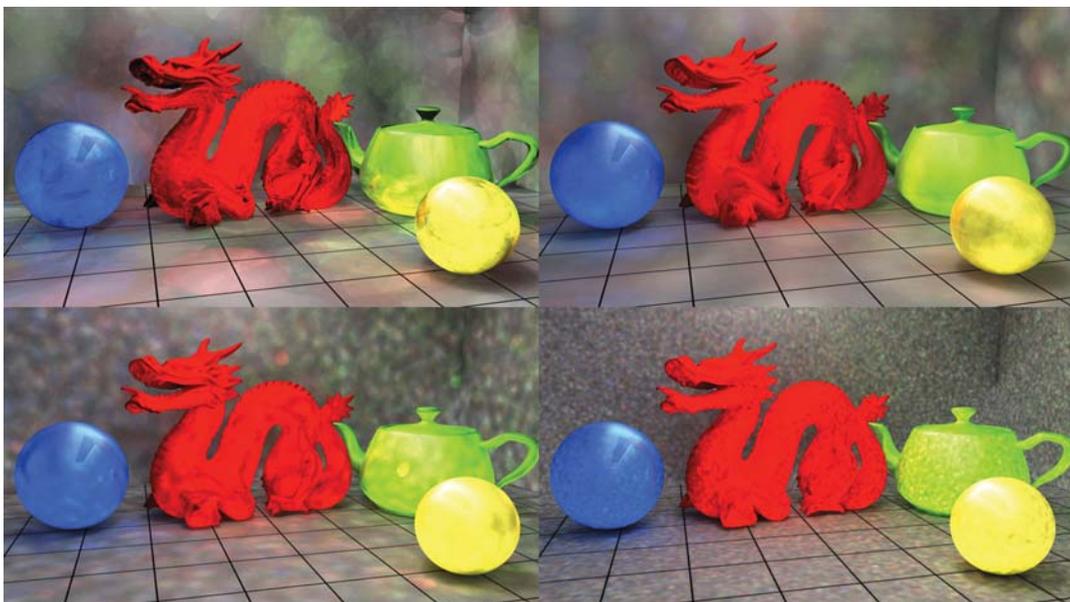
Als nächste Schritte werden dazu die Photonen in der Lichtquelle, in dem Fall dem Arealight, und die Global Illumination in den Rendersettings aktiviert. Hier muss der Haken für Rebuild Photon Map gesetzt sein. Das Aktivieren des Enable Map Visualizer ist hilfreich, da er einem direkt in der Szene die Photonenverteilung anzeigt. Die weiteren Einstellungen finden zunächst in der Lichtquelle selbst statt. Unter Emit Photons sind primär die beiden Werte Photon Intensity und Global Illum Photons wichtig. Der Exponent wurde bei zwei belassen, da er relativ nahe an der Natur liegt. Dadurch dass die Szene keine Kaustiken beinhaltet, wurden die Caustic Photons außen vor gelassen. Falls man aber lichtdurchlässige Materialien in der Szene hat und Kaustiken wünscht, muss auch der Parameter Caustic Photons in der Lichtquelle eingestellt und die Caustics in den Rendersettings aktiviert werden.

Mit den Standardeinstellungen der Photon Intensity zeigte sich zunächst überhaupt kein Unterschied. Die Abbildung 4.12 zeigt die Testszene mit 800 Millionen Photon Intensity (Faktor 100.000 gegenüber dem Standardwert) und es sind die ersten hellen Stellen wahrzunehmen und der erste deutliche Unterschied zur direkten Beleuchtung. Rechts daneben wurde die Intensity um eine weitere Zehner Potenz erhöht und demonstriert ein sehr übertriebenes buntes Colorbleeding durch die Szene. Dieser Effekt ist zwar nicht wünschenswert, für den Moment des Aufbaus aber akzeptabel.



**Abbildung 4.12:** Photon Intensity

Die überall klar zu erkennenden Photoneneinschläge sind nicht über die Accuracy in den Rendersettings behandelbar. Stattdessen muss an dieser Stelle die Anzahl emittierter Photonen in der Lichtquelle selbst angepasst werden. Der Vorteil hier ist, dass sich die Photonen die Intensity teilen. Erhöht man also die Anzahl der Photonen um den Faktor 10, erhöht sich damit nicht die Intensität. In der Abbildung 4.13 wurden von links oben nach rechts unten die Global Illum Photons von 10.000 bis 10 Millionen jeweils um den Faktor 10 erhöht. Es ist klar zu erkennen, wie die Photoneneinschläge in der Szene immer kleiner werden und der bunte fleckige Effekt etwas abnimmt. Die anfängliche Renderzeit von 80 bis 100 Sekunden liegt mittlerweile bei 190 Sekunden, also etwa dem Doppelten. Das ist an dieser Stelle noch nicht alarmierend, aber es sollte einem klar sein, dass die Zeiten bereits während der Entwicklung über das geplante Maß hinausgehen können.



**Abbildung 4.13:** Zehnerpotenzen der Global Illum Photons - 10k bis 10M

Der adäquate Weg an dieser Stelle führt über die Accuracy in den Rendersettings. Damit lassen sich die fleckigen Einschläge glätten und das Ergebnis wirkt ruhiger. Die Abbildung 4.14 zeigt links das Anheben des Wertes von 100 auf 1.000, was auch einen positiven Effekt auf die Renderzeit zeigte. Diese fiel von ursprünglich 190 auf 124 Sekunden. Da immer noch klar Flecken zu erkennen sind, wurde der Wert weiter auf 10.000 erhöht, dadurch stieg die Renderzeit wieder auf 225 Sekunden an. Da die Renderzeit mit über drei Minuten um den Faktor drei über der Zeit für die direkte Beleuchtung liegt, sollte an dieser Stelle erneut daran erinnert werden, dass die Photon Map blickwinkelunabhängig ist. Das heißt, selbst wenn die Berechnung der Photon Map selbst relativ lange dauert, kann sie einmal für die gesamte Animation vorberechnet werden und fällt somit insgesamt nicht mehr so schwer ins Gewicht. Der qualitative und an dieser Stelle wichtigere Punkt ist aber, es sind eindeutig keine Flecken mehr auf der Geometrie sichtbar, was besonders gut an der Wand zu erkennen ist.



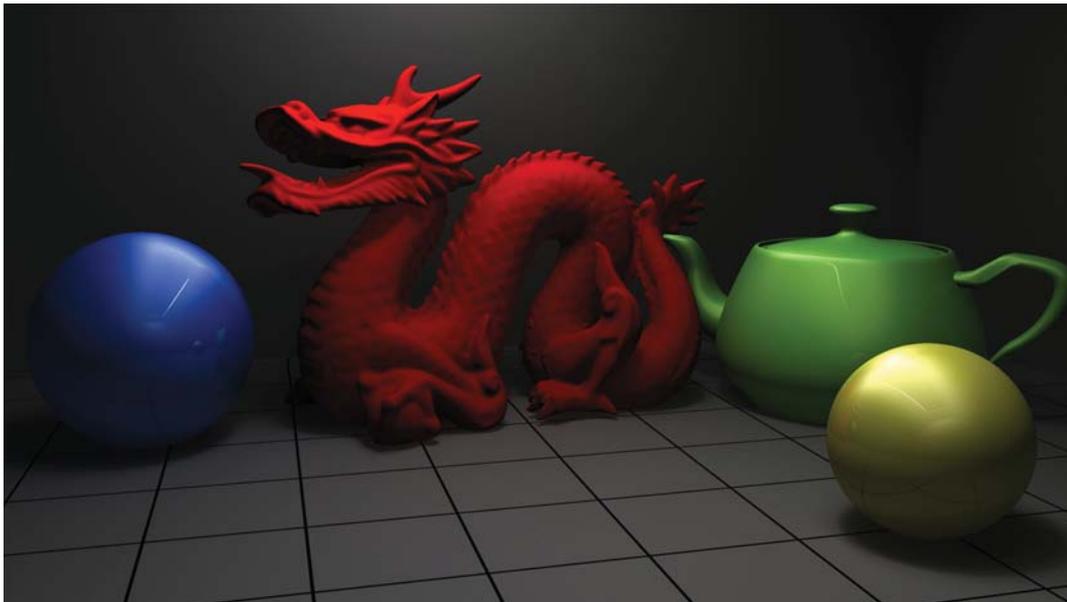
**Abbildung 4.14:** Accuracy Auswirkung auf Photon Map

Nun da das Bild keine störenden Flecken mehr aufweist, fällt doch umso mehr auf, dass es zu hell ist. Besonders wenn man bedenkt, dass sich die Szene innerhalb einer Box befindet, die ausschließlich durch ein Loch in der Decke beleuchtet wird. Zum Start des Photon Mappings stimmte die Helligkeit in der Szene, das heißt, nicht die Intensität der Lichtquelle selbst ist plötzlich zu hoch, sondern die Photon Intensity muss angepasst werden. Die Abbildung 4.15 zeigt den Wandel von der Testintensität bis hin zur finalen Helligkeit. Dabei wurde die Intensität jeweils halbiert, auf 4 Mio. und 2 Mio. Das finale Ergebnis mit 1 Mio. ist in Abbildung 4.16 zu sehen. Diese Anpassung zeigte keinerlei Auswirkung auf die Renderzeit und liegt somit immer noch stabil bei 225 Sekunden.

Das derzeitige Ergebnis ist bereits mehr oder minder akzeptabel. Es sind keine Flecken zu erkennen, es entstehen keine störenden Effekte und zeitlich beläuft es sich auch noch in einem akzeptablen Rahmen. Vorausgesetzt jedes Bild benötigt 225 Sekunden, dann würde die gesamte Animation in 12,5 Stunden renderbar sein. Somit wäre der Anspruch zu Beginn dieses Abschnitts bereits nicht mehr erreicht, dies in unter 10 Stunden zu schaffen. Daher ist es notwendig an dieser Stelle bereits zu optimieren. Da es sich bereits zeigte, dass die Photon Intensity keinerlei Auswirkung auf die Renderzeit hat, kann diese außen vorgelassen werden. Ebenso machten sich Variationen der Accuracy kaum bemerkbar, stattdessen wurden Artefakte sichtbar bei einer Zeitersparnis von weniger als fünf Prozent. Somit bleiben noch die Global Illum Photons übrig, die optimiert werden könnten. Diese zeigten auch den



**Abbildung 4.15:** Nachträgliche Photon Intensity Anpassung



**Abbildung 4.16:** Nachträgliche Photon Intensity Anpassung

erhofften Effekt, wie in Abbildung 4.17 zu erkennen ist. Mit 1Mio. statt 10Mio. ist kaum ein Qualitätsverlust zu erkennen, aber die Renderzeit fiel von 225 Sekunden auf etwa 90 und brachte somit über 50% Zeitersparnis. Ein weiterer Schritt zurück auf 100.000 zeigte bereits Artefakte speziell in den Schattenbereichen, die zu dem zu hell wurden, und mit knapp 10 Sekunden auch keinen herausragenden zeitlichen Vorteil mehr.

Die zu Beginn angesprochene Option Enable Map Visualizer kann besonders an dieser Stelle sehr hilfreich sein. Damit lässt sich sehr schnell und einfach ein Eindruck gewinnen, wie die Photonenverteilung innerhalb der Szene aussieht. In der Abbildung 4.18 ist oben links der Standardwert 10.000 zu sehen, rechts davon die 10Mio. und unten die finalen 1 Million, die eine präzise Abdeckung der Szene und eine gute Balance zwischen Qualität und Zeitaufwand erreichen.

Sofern man keine Kaustiken im Bild wünscht, sollte man immer im Hinterkopf behalten,



**Abbildung 4.17:** Optimierung der Global Illum Photons

dass es nicht notwendig ist, die Photon Map beim Rendern in jedem Frame zu berechnen. Die PM mit den hier angegebenen Einstellungen benötigt gerade mal sechs Sekunden zur Berechnung. Dazu muss man in Maya in den Rendersettings eine Datei bestimmen, in die diese gespeichert werden soll. Danach entfernt man den Haken Rebuild On und ab sofort werden die Informationen aus der vorberechneten PM genutzt. Daraus ergibt sich über 200 Frames immerhin ein Zeitvorteil von 20 Minuten.

An dieser Stelle wieder eine zusammenfassende Übersicht, was bereits für die Szene erreicht wurde.

- ✓ Szene mit Geometrien und finaler Skalierung
- ✓ Materialien mit ungefähren Eigenschaften den Geometrien zugewiesen
- ✓ Szene ist fehlerfrei
- ✓ Direkte Beleuchtung
- ✓ Effekte der indirekten Beleuchtung hinzugefügt
- ✓ Flecken- und störfreie Photon Map
- ✓ erste Zeitersparnis durch Vorberechnung der PM
- ✗ Final Gathering

Damit steht als Letztes nur noch das Final Gathering auf dem Plan. Zunächst wurde dafür die Global Illumination wieder ausgeschaltet, um nicht durch mögliche Wechselwirkungen irritiert zu werden. Zudem sind so auch beide Verfahren unabhängig voneinander einrichtbar.

Zunächst nochmal eine kurze Exkursion zu Raytracing und Glas. Die vom Raytracing ausgesendeten Strahlen haben keine unendliche Länge. Mental Ray hört bei Erreichen eines bestimmten Limits an Reflexionen oder Refraktionen auf, sie weiter zu berechnen. Einmal generell für Mental Rays Raytracing in den Rendersettings unter Quality und unter Indirect Lighting für das Final Gathering zu finden, wie in der Abbildung 4.19 zu sehen ist. Die Auswirkungen dieser Einstellungen lassen sich in der Abbildung 4.20 betrachten. Links sind die

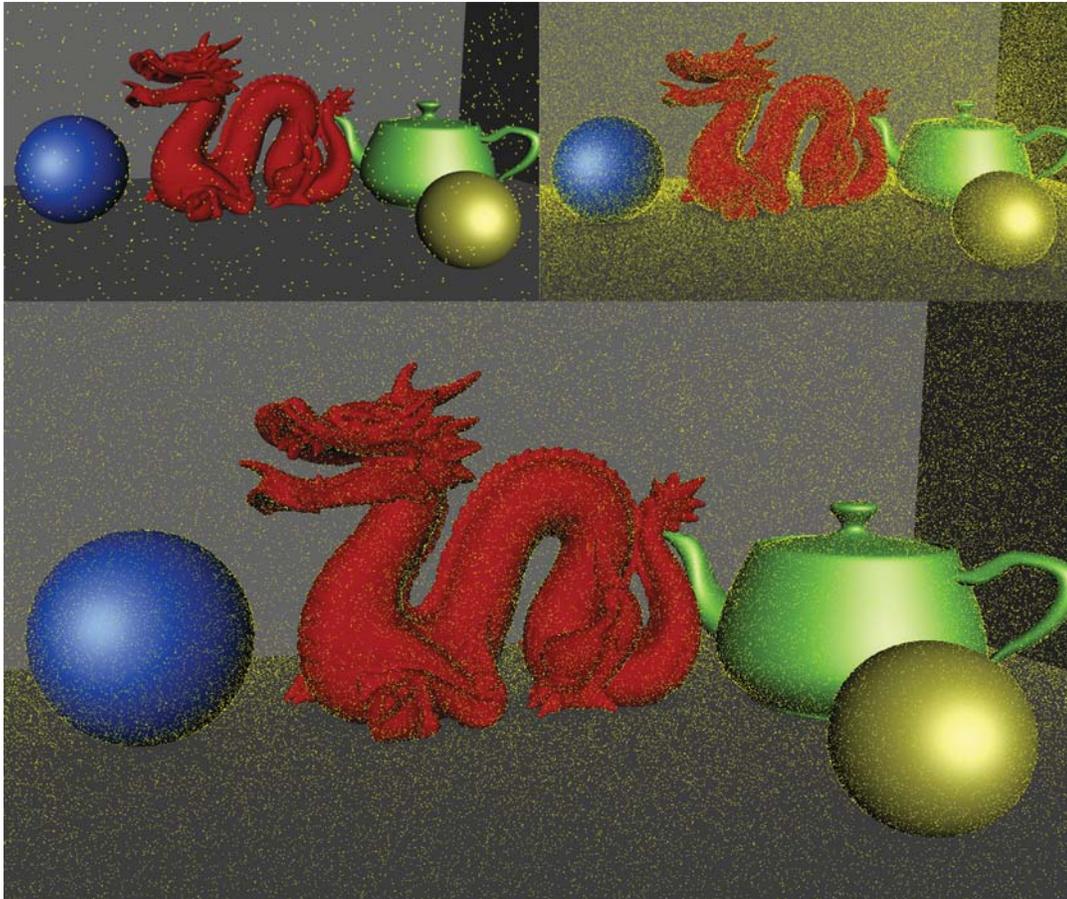


Abbildung 4.18: Map Visualizer in Maya

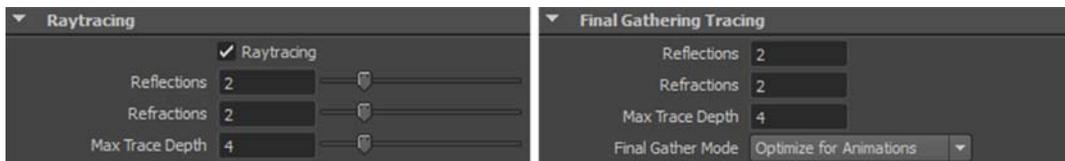
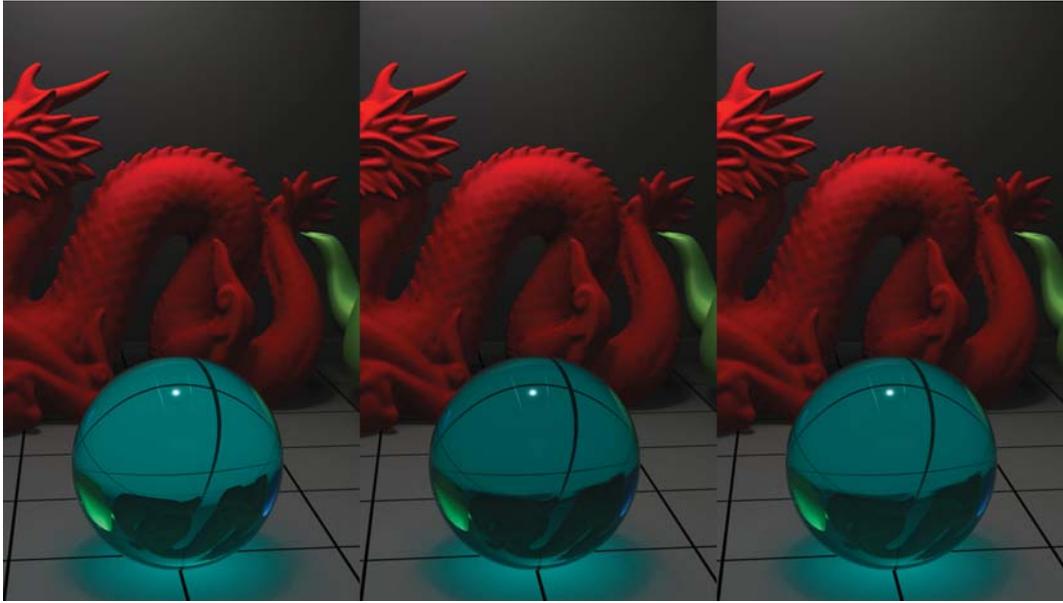


Abbildung 4.19: Raytracing Limits in den Rendersettings

Standardeinstellungen zu sehen. Man erkennt deutlich, dass das „innere“ der Kugel sehr hell ist und der Schatten unter dem Drachen fehlt. In der Mitte wurden die Limitierungen für das Raytracing allgemein angehoben, daher ist nun der Schatten des Drachens in der Kugel zu sehen und sie ist insgesamt dunkler geworden. Für den rechten Bildteil wurden dieselben Werte auch für das Final Gathering übernommen, was zur Folge hat, dass die Kugel wieder etwas aufgehellt wird. Dies entspricht auch den Einstellungen aus der Abbildung 4.19. Über dieses Verhalten sollte man sich primär beim Arbeiten mit lichtdurchlässigen Materia-

lien im Klaren sein. Neben den Limitierungen bietet das Final Gathering Tracing noch mit dem Final Gathering Mode die Möglichkeit an, anzugeben wie mit den berechneten Daten umgegangen werden soll. Für Animationen ist es ratsamer diesen auf Optimize for Animations zustellen, damit interpoliert es auch zwischen vorberechneten Frames und Lichttreffer auf statischen Geometrien behalten ihre Position bei. Dadurch werden mögliche Flickering Effekte in Animationen bereits stark reduziert.



**Abbildung 4.20:** Veranschaulichung der Reflection- und Refractionlimits

Wenn man Final Gathering einschaltet, startet es mit ziemlich heftigen Standardwerten (Accuracy 100, Point Density 1.0 und Point Interpolation 10). Mit diesen Einstellungen brauchte die Szene zunächst über 16 Minuten zum Rendern. Damit ist es kaum möglich vernünftig zu arbeiten. Daher wurden die Standardwerte alle durch Zehn geteilt und die Renderzeit somit auf 96 Sekunden verkürzt. Die Qualität des Ergebnisses leidet natürlich dementsprechend darunter. Es tauchten Blotches auf und fehlerhafte Schatten waren zu erkennen. Da man nun wenigstens zeitlich auf einem Niveau liegt mit dem es angenehm ist zu arbeiten, kann man sich langsam mit dem anpassen einzelner Werte an die erhoffte Qualität herarbeiten. Zunächst wurde die Point Interpolation um eine Zehnerpotenz angehoben. Daraufhin wurden die ersten sehr hellen Blotches an der Wand weniger, also war ein positiver Effekt zu verzeichnen. Ein weiterer Zehnerschritt nach oben, auf 100, ließ die Blotches beinahe verschwinden. Bei genauerem Betrachten hat man aber noch schemenhaft fleckige Stellen erkennen können. Zudem veränderte sich das Schattenverhalten an einigen Stellen, zum Beispiel die eigentlich im Schatten liegende Krallen des Drachens stach leuchtend hervor. Die Werte eins und 100 für die Point Interpolation sind in der Abbildung 4.21 zu sehen. Die Renderzeit stieg dabei nur marginal von 96 auf 103 Sekunden.

Offensichtlich ist der Wert 100 für die Point Interpolation etwas zu hoch. Daher wurde er



**Abbildung 4.21:** Point Interpolation 1 und 100

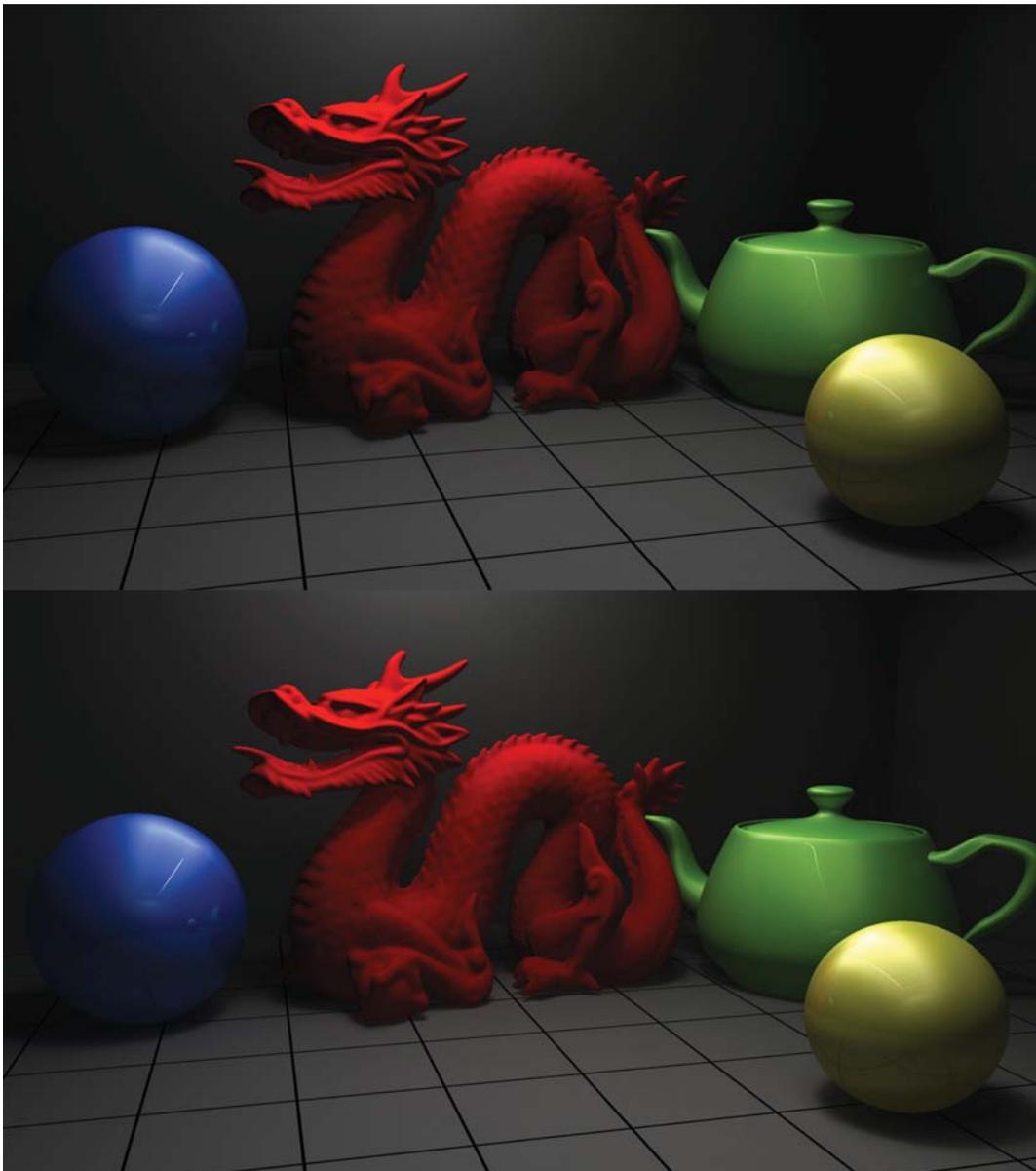
wieder auf 10 reduziert und stattdessen die Accuracy wieder auf 100 erhöht. Das Ergebnis wurde zwar sauberer aber die benötigte Zeit stieg auf 193 Sekunden. Durch den hohen Zeitaufwand wurde die Accuracy wieder auf 10 belassen, dafür diesmal die Point Density auf 0.5 angehoben. Die Zeit betrug mit 181 Sekunden ähnlich lange, dafür waren wieder Blotches zu erkennen, diesmal aber deutlich kleiner. Mit der Point Density wurde weiter experimentiert, ob man mit dem Wert eins sie nicht so dicht bekommen kann, dass sie in einander übergehen. Das Ergebnis und für die 0.5 ist in Abbildung 4.22 zu sehen.



**Abbildung 4.22:** Links Point Density von 0.5 und rechts 1.0

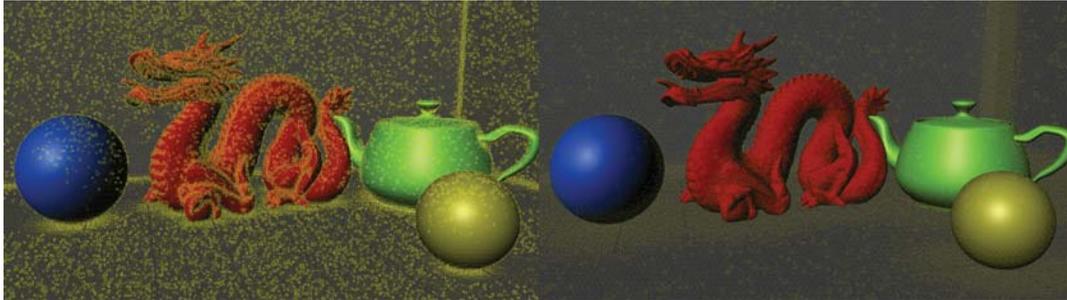
Das Experiment zeigte keinen Erfolg, stattdessen stieg die Renderzeit auf 272 Sekunden und das Bild erhielt lauter kleine Punkte. Soweit sei festzuhalten, dass die Accuracy sich sehr zeitaufwändig äußert, die Point Density ebenso und die Point Interpolation sich ziemlich im Rahmen hält. Also wieder zurück zu einer Variante, wo Accuracy und Point Density geringere Werte haben und die Point Interpolation dafür höhere. Ein neuer Ansatz mit Accuracy 10, Point Density auf 0.2 reduziert und Point Interpolation bei 10, die Renderzeit betrug genau 120 Sekunden, also wieder angenehmer zum Arbeiten. Wie erwartet wieder ein relativ fleckiges Bild mit teils zu hellem Verhalten in Schattenbereichen. Da die Point Interpolation bei 100 bereits zu Beginn ein ziemlich gutes Ergebnis erzielte, wurde an der Stelle wieder angesetzt. Die Accuracy bei 50 liefert zumindest endlich mal ein sauberes Ergebnis, wenn auch mit 238 Sekunden ein ziemlich teures. An dieser Stelle, man vermutet es wahrscheinlich bereits, hilft leider nicht mehr als Probieren. Je nach Szene, Detailgrad oder Inhalt, können die unterschiedlichsten Werte zum Erfolg führen. Die besten Ergebnisse wurden für

diese Testszene mit den Werten Accuracy 30, Point Density 0.2 und Point Interpolation 150 erzielt. Die dafür benötigte Zeit lag bei 182 Sekunden. An dieser Stelle zeigt sich leider, dass Qualität manchmal nicht ohne Rechenzeit zu erzielen ist. Die Abbildung 4.23 zeigt das Endergebnis des Final Gatherings oben und zusammen mit der Global Illumination unten. Die Balance zwischen Zeit und Qualität ist gegeben, eine störfreie Animation zu erhalten in möglichst kurzer Zeit.



**Abbildung 4.23:** Oben finales FG Ergebnis - unten kombiniert mit GI

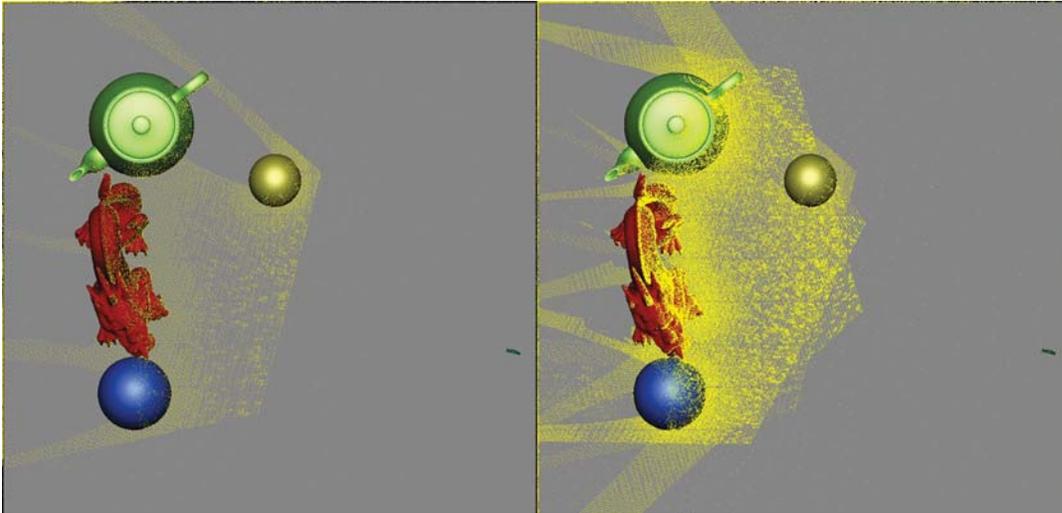
Aber an dieser Stelle ist noch nicht Schluss mit Optimierungsmöglichkeiten. Da das Final Gathering blickwinkelabhängig ist und die Testszene eine Kombination aus Kameraflug und animierter Geometrie besitzt, muss jeder Blickwinkel über die 200 Frames abgedeckt sein. Zunächst zeigt die Abbildung 4.24 den Unterschied zwischen den Standard- und den finalen Einstellungen. Links ist klar zu erkennen, dass die Punktdichte sehr hoch ist, die geringere Dichte rechts aber für ein sauberes Ergebnis ausreicht und somit auch visuell verdeutlicht, woher der Unterschied in der Rechenzeit rührt.



**Abbildung 4.24:** Links Defaultwerte - rechts finale Einstellung

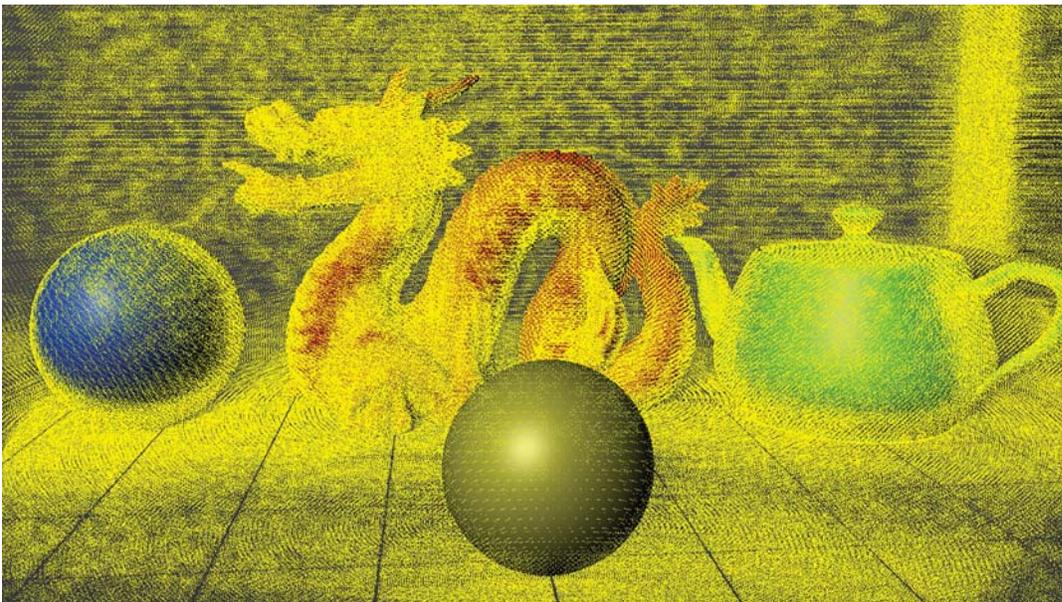
Diese Abbildung zeigt aber nur die Punktabdeckung für einen Frame. Für die gesamte Animation muss die Blickwinkeländerung durch die Kamera Animation abgedeckt werden, ebenso wie die sich bewegende Geometrie in der Szene selbst. Ansonsten können, wie schon im Abschnitt 4.2 Problemanalyse beschrieben, unter anderem durch Berechnungsfehler Artefakte entstehen (siehe Abb. 4.9). Daher ist es notwendig die Szene aus allen Blickwinkeln abzudecken. Die Abbildung 4.25 zeigt links den Unterschied zwischen einer Final Gathering Map mit nur einem Frame und rechts zusammengefügt über mehrere Frames. Jeweils am rechten Bildrand ist die Kamera der Szene in grün zu erkennen.

Um flickerfreie Animationen zu gewährleisten, ist es nahezu unumgänglich die Final Gathering Map vorzuberechnen. Dazu muss man in den Rendersettings, wie bei der Photon Map, eine Datei angeben, in der die FG Map gespeichert werden soll und die Option Rebuild auf Off gestellt werden. Das bedeutet, dass die Map nicht in jedem Frame komplett neu gebaut wird, sondern nur fehlende Punkte hinzu addiert werden. Somit werden nach und nach alle Blickwinkel abgedeckt. Es ist nicht zwangsläufig notwendig die gesamte Animation, in dem Fall über 200 Frames, zu berechnen. Für dieses Testszenario reichte es aus nur alle fünf Frames eine weitere Iteration hinzuzufügen. Wenn man dazu in den Rendersettings im Tab Common die Option By Frame auf fünf stellt und im Tab Features den Render Mode auf Final Gathering only, kann man mit dem Batch Renderer automatisch nur die FG Map berechnen. Ist dies geschehen, sollte man diese zwei Optionen wieder auf eins und Normal stellen, damit man wieder jeden Frame normal gerendert bekommt. Außerdem ist es wichtig die Rebuild Option nun auf Freeze zu stellen, dadurch werden ausschließlich die vorhandenen Daten aus der Datei zur Berechnung benutzt, und unter Final Gathering Tracing den Mode auf Optimize for Animations. Das bedeutet, man spart die Final Gathering Berechnung von 80% der Frames und erhält trotzdem ein flickerfreies Ergebnis in kürzester Zeit. Die Abbildung 4.26 zeigt den Map Visualizer nochmal aus der Perspektive der Kamera. Auf dem



**Abbildung 4.25:** Links FG Map für einzelnen Testframe - rechts über mehrere

Boden um den Drachen herum ist die kreisförmige Bewegung der Kamera sehr gut an den Punkten zu erkennen.



**Abbildung 4.26:** Map Visualizer aus Kameraperspektive

Abschließend ist zuzusagen, dass jede Szene für sich sehr unterschiedliche Probleme mit sich bringen kann. Die Berechnungszeit kann durch die unterschiedlichsten Materialien sehr stark variieren und es ist wichtig sich genügend Zeit dafür zu nehmen, um herauszufinden wo

die zeitaufwändigen Probleme liegen. Man sollte immer mit sehr geringen Werten starten, um nicht zu lange auf ein Testrendering warten zu müssen. Auch die Hälfte oder gar ein Viertel der Produktionsauflösung kann für den Anfang genügen. Genauso ist es außerordentlich wichtig, die aufwändigsten Frames zu identifizieren und genauer zu betrachten, denn diese sind meist die kritischsten. Wenn der einzelne Testframe sauber aussieht, sollte man unbedingt testweise eine Animation über einige Frames rendern, um beurteilen zu können, wie blotches- und flickerfrei das Ergebnis wirklich wird. Die gesamte Berechnungszeit für die Animation betrug 314 Minuten (5 Stunden 14 Minuten) und setzte sich aus gerade mal sechs Sekunden für die Photon Map, 71 Minuten für die Final Gathering Map und anschließend 243 Minuten für das Rendering an sich zusammen. Zum Vergleich, die Gesamtrenderzeit mit Standardwerten lag bei über 63 Stunden (19 Minuten pro Bild) und wies keineswegs ein flickerfreies Ergebnis auf. Es rentiert sich also für die Qualität, genauso wie die Zeitersparnis, die Zeit zu investieren und für die Szene die passenden Werte zu ermitteln.

Zum Abschluss auch nochmal zusammenfassend, was alles auf den letzten Seiten erreicht wurde.

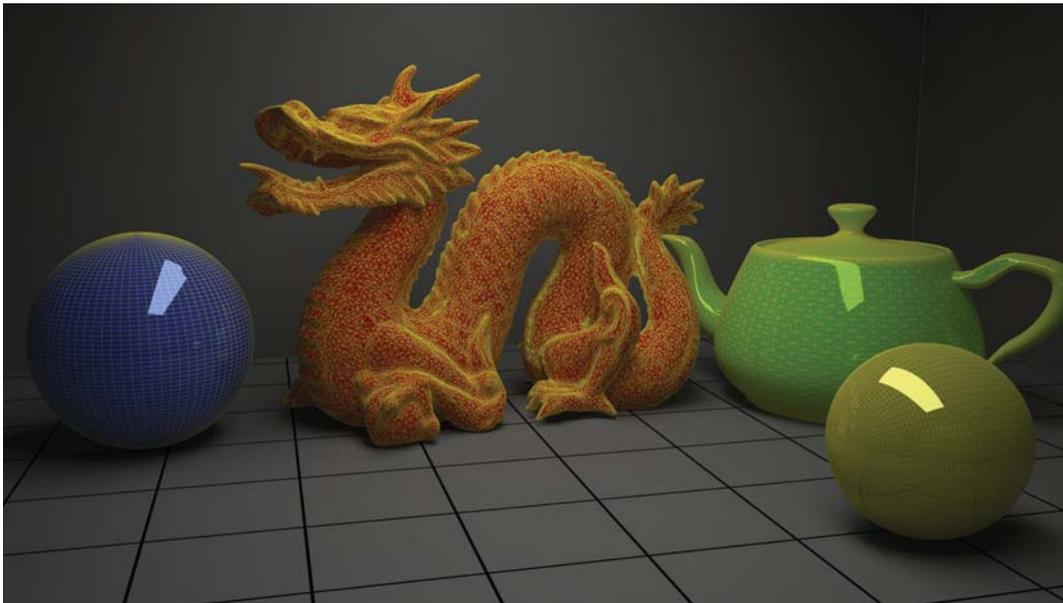
- ✓ Szene mit Geometrien und finaler Skalierung
- ✓ Materialien mit ungefähren Eigenschaften den Geometrien zugewiesen
- ✓ Szene ist fehlerfrei
- ✓ Direkte Beleuchtung
- ✓ Effekte der indirekten Beleuchtung hinzugefügt
- ✓ Flecken- und störfreie Photon Map
- ✓ erste Zeitersparnis durch Vorberechnung der PM
- ✓ flickerfreie Final Gathering Map für Animation
- ✓ hohe Zeitersparnis gegenüber den Standardwerten
- ✓ Anspruch Renderzeit unter 10 Stunden zu halten erreicht
- ✓ Gesamtqualität deutlich verbessert
- ✓ Zeitersparnis insgesamt bei Faktor 12

## Kapitel 5

# Methodikentwicklung für V-Ray

Analog zur Methodikentwicklung für Mental Ray wurde ebenfalls eine für V-Ray angefertigt. Da es mehr Auswahlmöglichkeit zur Berechnung bereitstellt, wurde zunächst in der Problemanalyse eingegrenzt welche sich denn eignen. Auf dieser Entscheidung basierend wurde die Methodik für V-Ray entwickelt. Diese soll, wie bereits für Mental Ray, eine solide Grundlage gewährleisten, um zeiteffizient störfreie Animationsfilme erzeugen zu können.

### 5.1 Aufbau der Szene



**Abbildung 5.1:** Aufbau der V-Ray Testszene mit Gitternetz

Der Aufbau der V-Ray Testszene entspricht im Grunde dem für Mental Ray im Abschnitt 4.1 Aufbau der Szene. Es wurden lediglich die Maya Shader gegen V-Ray Materialien aus-

getauscht und das Arealight wurde durch ein vrayLightRect ersetzt, da V-Ray damit besser arbeitet.

### 5.2 Problemanalyse

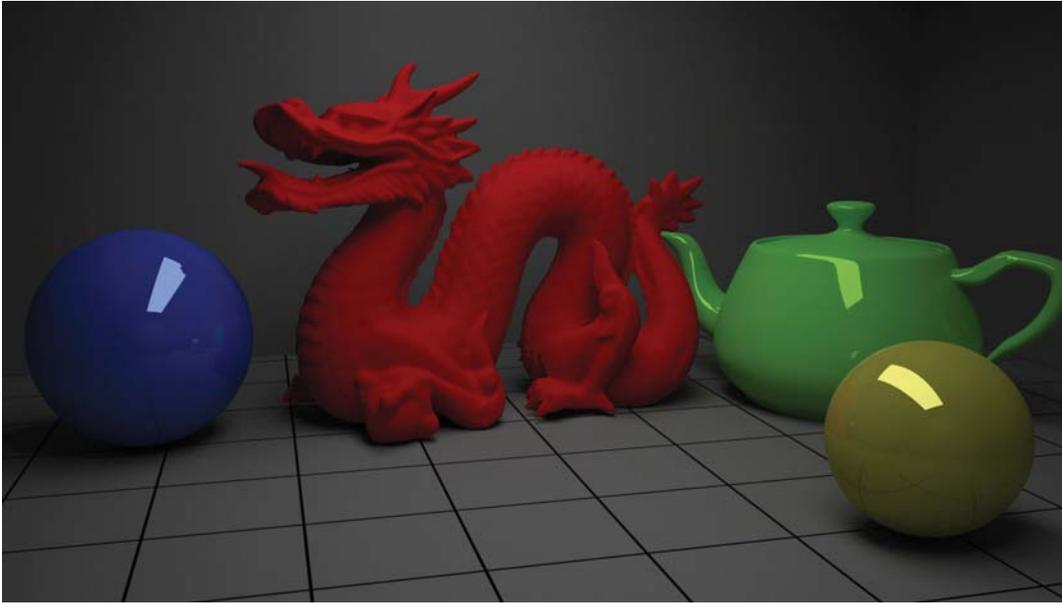
Die Probleme mit V-Ray sind, im Gegensatz zu denen mit Mental Ray, eher zeitlicher Natur und der Rechenleistung. Es traten während der Methodikentwicklung weniger extreme Anwendungsprobleme auf, wie Flickering oder Blotches, wie zum Beispiel die hellen Flecken mit Final Gathering. Die Verfahren von V-Ray sind sehr präzise und weniger fehleranfällig in Verbindung mit Animationen. Stattdessen stellt der Anspruch an die Rechenleistung für rauschfreie Bilder ein größeres Problem dar. Zunächst wird anhand der Probleme, die hier zusammengetragen wurden, entschieden welches oder welche Verfahren sich am ehesten eignen.

- Brute Force
- Photon Map
- Irradiance Map
- Light Cache

Mit der Brute Force Methode lassen sich nicht allzu schnell Bilder visualisieren und zudem auch noch mit relativ schlechter Qualität. Die Abbildung 5.2 zeigt die Szene mit den Standardeinstellungen der Brute Force gerendert. Es ist stark verrauscht und benötigte 449 Sekunden. Um das Rauschen zu dezimieren müsste man die Subdivs des Verfahrens erhöhen und erhält somit sehr stark ansteigende Berechnungszeiten. Zum Vergleich, das im Grundlagenkapitel im Abschnitt 3.3 Globale Beleuchtungsmodelle V-Ray unter Brute Force zusehende Bild benötigte 95 Minuten. Somit ist es nicht tragbar zum Rendern einer Animation über 200 Frames. Für ein stark rauschendes Ergebnis mit Standardeinstellungen wären bereits 25 Stunden notwendig, bei 95 Minuten pro Bild bereits unzumutbare 316 Stunden.

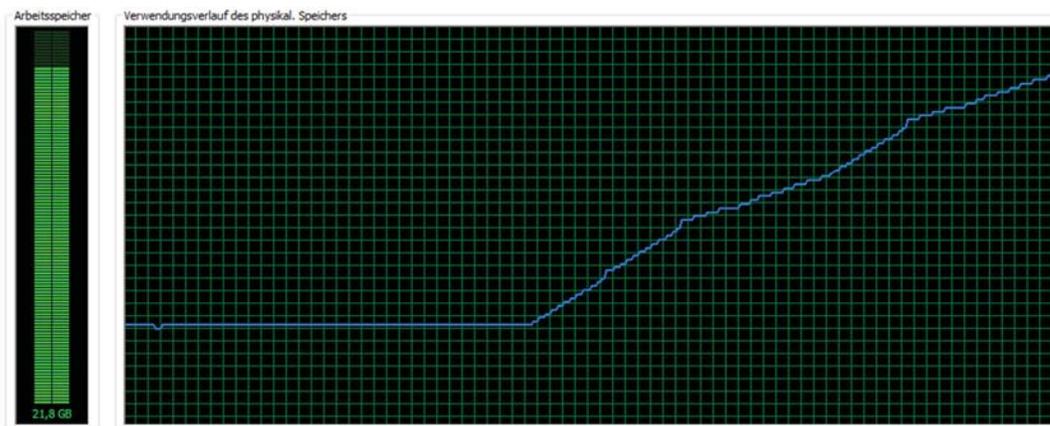
Zudem lässt sich, Algorithmus bedingt, dieses Verfahren nicht vorberechnen, daher sind auch keine Glättungsmöglichkeiten vorhanden, um zum Beispiel Flickering in Animationen zu reduzieren. Durch die sehr hohen Renderzeiten und durch die fehlende Möglichkeit die Berechnung der globalen Beleuchtung für Animationen interpolieren zu können, wurde dieses Verfahren schon aus dem Kreis der engeren Wahl gestrichen.

- ~~X~~ Brute Force
- Photon Map
- Irradiance Map
- Light Cache



**Abbildung 5.2:** Bild mit Brute Force Verfahren gerendert, 449 Sekunden

Als Nächstes wurde die Photon Map näher betrachtet. Die Einrichtung ist aufwändiger als die der anderen Verfahren, da nicht nur die richtigen Parameter in den Rendereinstellungen ermittelt werden müssen, sondern auch für die Lichtquellen. Bei Szenen mit sehr vielen Lichtquellen kann das darüber hinaus sehr komplex und somit zeitaufwändig werden. Im Falle der Testszene mit nur einer Lichtquelle war der Aufwand dementsprechend nicht all zu hoch. Die Berechnung der Photon Map selbst ging mit maximal 30 Sekunden auch noch relativ zügig von statten. Sollte diese jedoch mit der Option Prefilter noch geglättet werden, fielen je nach Einstellung bis zu 30 Minuten zusätzlich an. Das Verfahren an sich



**Abbildung 5.3:** Arbeitsspeicherauslastung während der Photon Map Berechnung

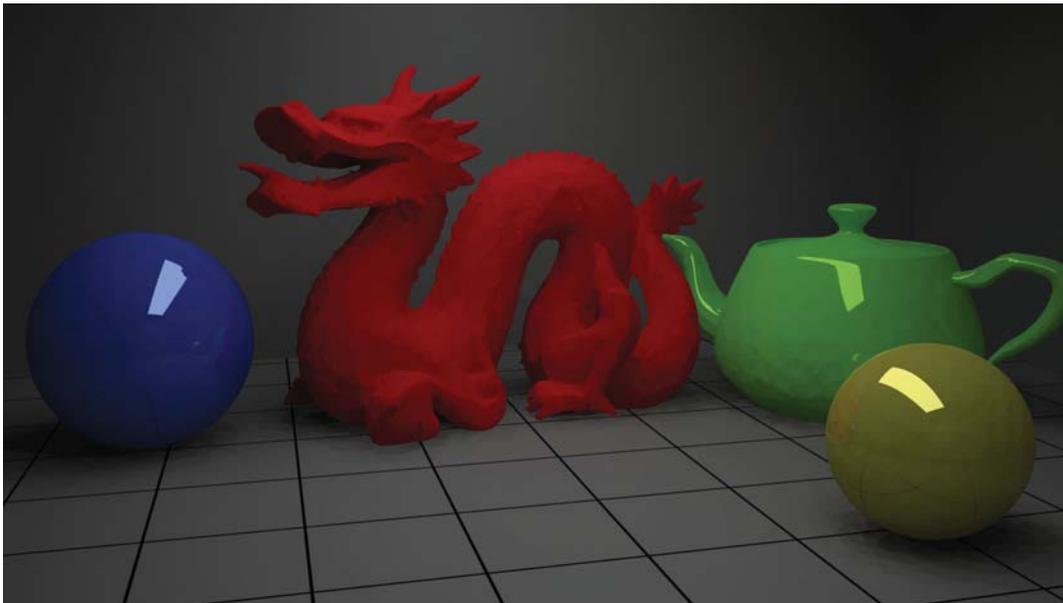
ist zusätzlich dafür bekannt sehr hohe Hardwareanforderungen zu haben, in erster Linie an den Arbeitsspeicher. In der Entwicklungszeit entstanden Dateien zwischen 500MB und 3GB je Photon Map, bedenkt man dass pro Frame eine Map notwendig ist, sind zwischen 100GB und 600GB Festplattenspeicher für die Testanimation, über 200 Frames, nötig. Dadurch stieß selbst das Testsystem mit seinen 24GB Arbeitsspeicher stellenweise an Grenzen. Für einen reinen Kameraflug ist nur eine einzige PM notwendig, da das Verfahren blickwinkelunabhängig ist. Die Rekonstruktion zum Rendern des Bildes verläuft dann sehr schnell und ist somit sicherlich eine sehr gute Lösung für Szenen ohne animierte Geometrie. Aber durch die teilweise sehr lange benötigte Zeit, die sehr hohen Hardwareanforderungen und damit verbundenen Datenmengen, ist auch dieses Verfahren nicht tragfähig für eine schnelle Visualisierung einer Animation und scheidet somit auch aus.

- ✗ Brute Force
- ✗ Photon Map
  - Irradiance Map
  - Light Cache

Das dritte Verfahren, was zu Rate gezogen wurde, ist die Irradiance Map. Sie ist sehr schnell einzurichten, da sie wieder ausschließlich über die Rendersettings konfiguriert wird. Zudem bringt sie direkt einige außerordentlich praktische Voreinstellungen (Presets) mit sich, die unter anderem bereits Optimierungen für Animationen beinhalten. Darüber hinaus ist auch die Mode Option bereits komfortabel auf Animationen ausgelegt. So lässt sich mit dem Mode Animation prepass und Animation rendering das Problem der Blickwinkelabhängigkeit sehr angenehm lösen. Dabei ist es nicht möglich, wie beim Final Gathering, Frames zu überspringen (siehe dazu auch Abschnitt Verfahrensentwicklung im Kapitel 4 Methodikentwicklung für Mental Ray), dadurch entstehen Artefakte und Fehlberechnungen der Schattierungen. Die Auflösung stellt ebenfalls kein Problem dar, denn mit Min und Max rate kann direkt ein Bruchteil oder Vielfaches dieser zur Berechnung angegeben werden. Somit ist die Vorberechnung mit einer zu geringen Auflösung ebenfalls kein Problem. Die Präzision und Geschwindigkeit der Vorberechnung zeigten sich auch in einem außerordentlich zufriedenstellenden Rahmen und die Dateigrößen beliefen sich auch nur auf wenige Megabytes. Durch die insgesamt sehr positiven Eigenschaften hat dieses Verfahren überzeugt und wurde zur Methodikentwicklung heran gezogen.

- ✗ Brute Force
- ✗ Photon Map
- ✓ Irradiance Map
  - Light Cache

Als letztes Verfahren ist noch der Light Cache auf der Liste übrig. Für schnelle Visualisierungen von Lichtstimmungen ist dieses Verfahren nahezu unschlagbar. Mit den Standardeinstellungen konnte ein Bild in unter 12 Sekunden gerendert werden (zum Vergleich, die Irradiance Map benötigt dafür bereits über 2 Minuten). Leider entsteht dieser Geschwindigkeitsvorteil zu Lasten der Qualität. Wie in der Abbildung 5.4 zu sehen ist, ist das Bild sehr fleckig und somit als Primary Engine tendenziell weniger zu gebrauchen. Aber die Stärken liegen definitiv in der Unterstützung bei der Einrichtung der Beleuchtung, durch die enorm schnelle Visualisierbarkeit, und als Secondary Engine, durch die kurze Berechnungszeit und durch das ausgeprägte Color Bleeding Verhalten. Da der Einfluss auf das Gesamtbild durch die Secondary Bounces, wie in den Grundlagen bereits erwähnt, nicht sehr groß ist, ist der Geschwindigkeitsvorteil umso positiver diesem Verfahren zu Gute zu halten.



**Abbildung 5.4:** Light Cache als Primary und Secondary Engine

Durch diese positiven Eigenschaften qualifizierte sich auch der Light Cache für die Methodikentwicklung und wurde gemeinsam mit der Irradiance Map näher betrachtet.

- ✗ Brute Force
- ✗ Photon Map
- ✓ Irradiance Map
- ✓ Light Cache

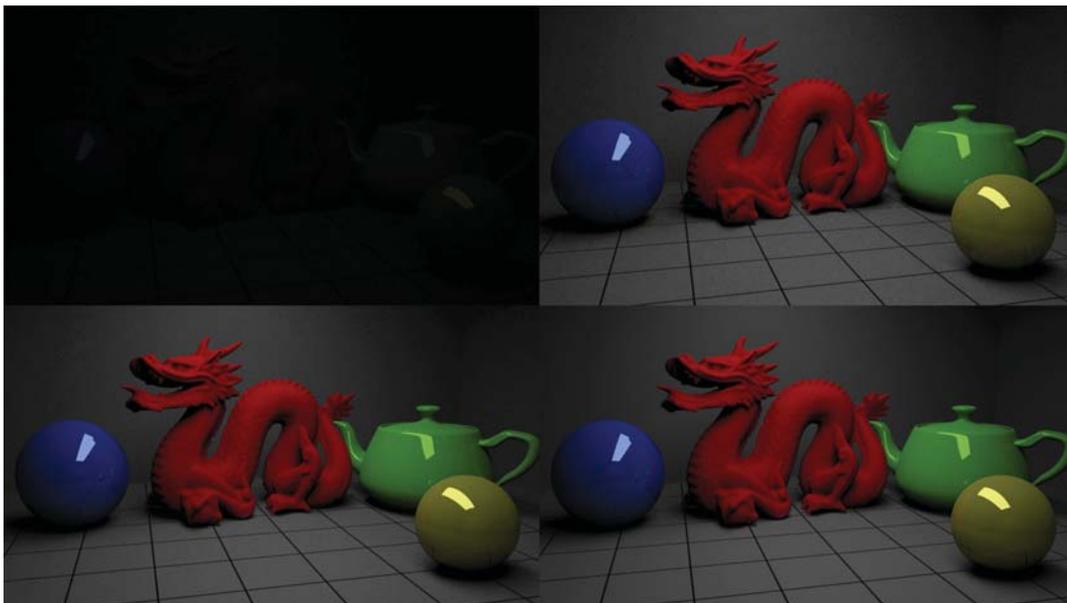
Der hohe Rechenaufwand der Brute Force und Photon Map Algorithmen schließen diese förmlich schon von vornherein aus für Animationen effektiv anwendbar zu sein. Zudem zeigten die Irradiance Map und der Light Cache neben sehr kurzen Berechnungszeiten auch

qualitativ sehr gute Ergebnisse. Besonders die Irradiance Map zeigt sich mit einigen Einstellungsmöglichkeiten speziell auf Animationen ausgelegt, nahezu prädestiniert dafür.

### 5.3 Verfahrensentwicklung

Für diese Methodik gelten dieselben Anforderungen, wie schon für Mental Ray im vorherigen Kapitel. Es werden weder gigantische Rechenleistung vorausgesetzt noch soll viel Zeit zur Berechnung in Kauf genommen werden. Die Animation über 200 Frames soll dabei auf dem Testsystem (siehe Abschnitt: 4.1 Aufbau der Szene) innerhalb von maximal 8-10 Stunden, inklusive möglicher Vorberechnungen, gerendert werden können. Außerdem sollen in der gerenderten Sequenz keinerlei Bildstörungen, wie Blotches oder Flickering, vorhanden sein, die den Betrachter von der eigentlichen Animation ablenken.

Zunächst sollte man die Szene soweit aufgebaut haben, dass sie bereits etwa dem finalen Zustand entspricht. Außerdem sollten in Maya keine Warnungen oder gar Fehler während dem Rendern auftauchen, wie zum Beispiel leere UV Layouts. Sofern dies gegeben ist, kann man den Objekten ihre unterschiedlichen Materialien zuweisen und erste grobe Einstellungen für Color, Reflectivity, etc. machen. Es ist nicht zwangsläufig notwendig, aber es kann hilfreich sein, wenn bereits die Animationen in einem finalen Zustand in der Szene vorhanden sind. Wenn all diese Arbeitsschritte abgeschlossen sind, hat man eine solide Basis um die direkte und globale Beleuchtung an zu gehen.



**Abbildung 5.5:** Übersicht der direkten Beleuchtung während der Einrichtung

Zuallererst sollte die direkte Beleuchtung eingerichtet werden. Durch die Szenenskalierung um den Faktor 100 war mit dem Standardwert der Intensity von eins nicht sehr viel sichtbar. Die Abbildung 5.5 zeigt den Fortschritt von oben links nach unten rechts während

der Einrichtung der direkten Beleuchtung. Wie bereits angesprochen, ist im ersten Bild mit dem Intensitywert eins nicht viel zu erkennen. Oben rechts mit 100 sieht man die sehr körnigen Schatten sehr gut. Die Szenenskalierung half an dieser Stelle sehr beim Finden des richtigen Wertes. Unten links wurde der Standardwert von 8 Subdivs auf 16 angehoben und rechts auf die finalen 32. Die Szene mit direkter Beleuchtung benötigte nur 43 Sekunden zum Rendern.

Durch physikalische Korrektheit von V-Ray bringt jedes Licht bereits einem der Natur nachempfundenen Lichtabfall mit sich und es ist nicht nötig, wie in Mental Ray, das zusätzlich noch anzupassen. Zusammenfassend wurde bisher sichergestellt, dass die Szene fehlerfrei ist, die Materialien zumindest schon ungefähre Eigenschaften haben und soweit keine Änderungen an den Geometrien mehr in der Szene notwendig sind. An diesem Punkt hat man bereits eine sehr gute Ausgangsbasis, um die globale Beleuchtung einzurichten.

- ✓ Szene mit Geometrien und finaler Skalierung
- ✓ Materialien mit ungefähren Eigenschaften den Geometrien zugewiesen
- ✓ Szene ist fehlerfrei
- ✓ Direkte Beleuchtung
- ✗ Irradiance Map
- ✗ Light Cache

Die Irradiance Map ist ausschließlich als Primary Engine nutzbar und da der Light Cache dafür zu ungenau ist, kommt nur die Kombination aus Irradiance als Primary und Light Cache als Secondary Engine in Frage. Zunächst wird die Einrichtung der Irradiance Map behandelt. Dazu wählt man in den Rendersettings unter Indirect Illumination diese als Primary Engine aus. Die IM bringt bereits einige Voreinstellungen, sogenannte Presets, mit sich. Diese ermöglichen schnelle Wechsel zwischen Vorschauvisualisierungen und Produktionseinstellungen. Darunter befinden sich sogar zwei speziell für Animationen, die bereits Flickering reduzieren. In der Testphase der Entwicklung konnten nur kaum bemerkbare Unterschiede, speziell in Verschattungen an kleinen Details, festgestellt werden. Hingegen der zeitliche Unterschied war mit 190 Sekunden zu 166 Sekunden spürbar. Dadurch schied das Preset High Animation bereits aus und es wurde sich für Medium Animation entschieden. In der Dokumentation<sup>1</sup> zu V-Ray findet sich die Anmerkung, dass die Min und Max rate für eine Auflösung von 640x480 ausgelegt sind und für höhere Auflösungen diese geringer gewählt werden können. Um diese Werte überhaupt verändern zu können, muss man als Preset Custom auswählen. Die bisherigen Einstellungen werden übernommen und die gesperrten Einstellungen editierbar. Die Presetwerte wurden von -3 (Min rate) und -1 (Max rate) auf -4 und -3 angepasst und machten es somit möglich weitere 15 Sekunden einzusparen. Weitere Verringerungen dieser Werte brachten keine zeitlichen Vorteile mehr, nur die Details weiter verwaschen und Beleuchtungsfehler in Schatten produziert. Natürlich ergaben sich daraus

<sup>1</sup>[http://www.spot3d.com/vray/help/maya/150R1/render\\_params\\_advancedimap.htm](http://www.spot3d.com/vray/help/maya/150R1/render_params_advancedimap.htm)

Qualitätsunterschiede, diese waren aber nur im direkten Vergleich zu erkennen, wenn man die beiden Bilder übereinander legte. Primär am Rand des Deckels auf dem Teapot und sehr feinen Details des Drachens wurden die Schatten etwas schwächer. Diese Einstellung ist von Szene zu Szene unterschiedlich und man muss je nachdem beurteilen, ob der Detailverlust in der Animation auffällt oder nicht bzw. man ihn in Kauf nehmen kann. In Szenen mit sehr vielen sehr kleinen Details kann es sein, dass man diese Werte sogar erhöhen muss. Es ist immer zwischen Zeitaufwand und Qualität abzuwägen und ob diese geringen Unterschiede überhaupt erkennbar sind. Bei einem Stillrendering ist die Zeit, die man zur Betrachtung hat, sehr viel höher, daher fallen solche Kleinigkeiten in Animationen deutlich weniger auf. Verbesserungen durch Verringerungen oder gar Erhöhungen der restlichen Werte zeigten sich leider nicht.

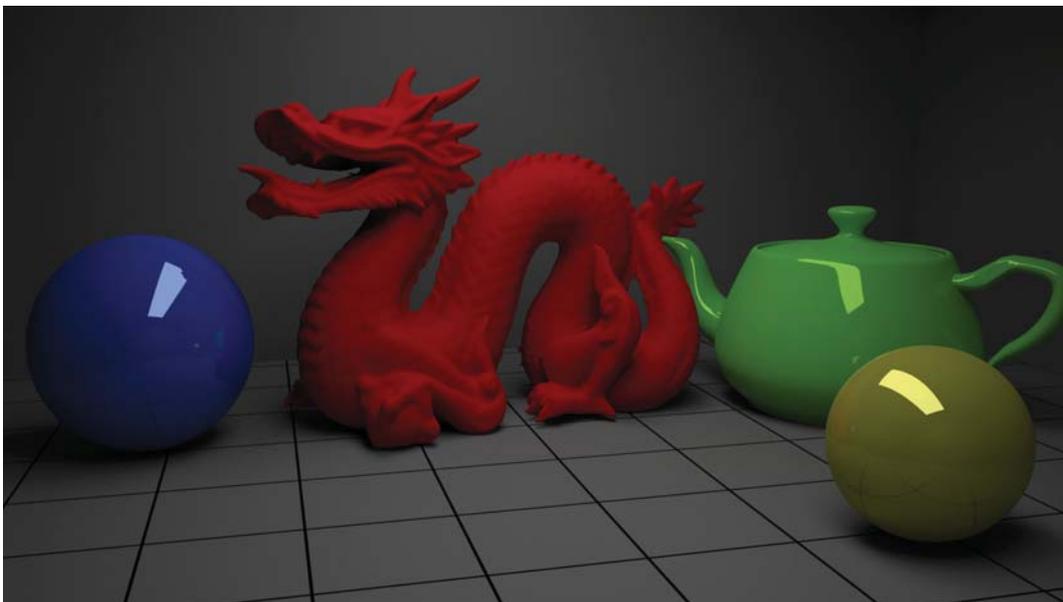
Der noch verbleibende und wichtigste Punkt ist die Vorberechnung der einzelnen Maps für die Animation. Dazu bietet V-Ray mit Animation prepass auch an dieser Stelle wieder einen sehr komfortablen Mode zur reinen automatischen Vorberechnung der einzelnen Maps an. Dabei wird automatisch die Bildberechnung ausgeschaltet und ausschließlich die Irradiance Map berechnet. Dazu muss natürlich eine Datei angegeben sein und V-Ray legt selbstständig für jeden Frame eine weitere für jeden Frame an. An dieser Stelle ist unbedingt der Parameter Interp. frames zu beachten. Dieser steht Standard auf zwei und genügt in den aller meisten Fällen. Das bedeutet, dass zur Interpolation zwei Maps vor und nach dem aktuellen Frame, also insgesamt fünf, zu Rate gezogen werden. Dementsprechend sollte man für den Anfang und das Ende jeweils zwei Frames mehr berechnen (im Fall dieser Testszene von -2 bis 202). Umgekehrt, um die berechneten Maps zu verwenden, schaltet man den Mode auf Animation rendering um und gibt die erste Datei an. Selbst wenn man mitten in der Animation mit dem Rendering wieder einsetzen möchte, erkennt V-Ray eigenständig welche Irradiance Maps dazu notwendig sind und man muss nicht extra händisch nochmal die korrekte Map auswählen. Damit werden Extrema in der Beleuchtung und somit auch Flickering geglättet und die Störanfälligkeit der Bildsynthese wird deutlich reduziert.

Es musste zwar nicht in die Qualitätsverbesserung investiert werden aber auch zeitlich waren nur geringfügige Optimierungsmöglichkeiten vorhanden. Die Voreinstellungen und Standardwerte bieten schon eine sehr solide Grundlagen für störfreie Animationen.

- ✓ Szene mit Geometrien und finaler Skalierung
- ✓ Materialien mit ungefähren Eigenschaften den Geometrien zugewiesen
- ✓ Szene ist fehlerfrei
- ✓ Direkte Beleuchtung
- ✓ Irradiance Map
- ✓ geringfügige zeitliche Optimierung
- ✗ Light Cache

Der Einfluss der Secondary Engine auf das Bild ist generell eher geringfügig einzuordnen. In aller erster Linie hellt es das Bild etwas auf, da mehr Lichttreffer verfolgt werden. Besonders

sehr dicht beisammen liegende Stellen erhalten somit noch etwas mehr Detailtreue. Bei der Einrichtung des Light Caches kann man etwas zeitsparen, wenn man die Irradiance Map aus einer Datei verwendet. Somit erspart man sich das ständige Neuberechnen für ein Testrendering. Die erste notwendige Anpassung in den Optionen des Light Caches, war der Wert für die Number of Passes. Standard ist dort eine acht vermerkt, Maya warnt jedoch auch, wenn dieser Wert nicht der Anzahl der Kerne entspricht, im Fall des Testsystems sind das 12. Die zeitliche Ersparnis beläuft sich dadurch aber trotzdem auf beinahe null. Ist jedoch ein höherer Wert der Subdivs für die Szene notwendig, kann sich dieser Parameter bereits deutlicher auswirken. Wie in den Grundlagen im Abschnitt 3.3 Globale Beleuchtungsmodelle V-Ray bereits erwähnt wurde, wächst oder verringert sich die Anzahl ausgesendeter Strahlen mit dem Quadrat des Subdivs Wertes. Qualitativ zeigte eine Erhöhung der Subdivs aber keine Auswirkung. Die Reduzierung auf nur noch 100 statt der ursprünglichen 500 (10.000 zu 250.000 Samples) zeigte ebenfalls keinen zeitlichen Gewinn, dafür aber Artefaktbildung. Ebenso befinden sich die restlichen Parameter mit den Standardwerten auf einem so guten Niveau, dass qualitativ kein Gewinn zu verbuchen waren. Mit der ausgesprochen geringen Berechnungszeit von nur sieben Sekunden war auch zeitlich kaum Spielraum für Verbesserungen. Durch die animierte Geometrie ist es notwendig den Light Cache für jeden Frame neu zu berechnen. Es traten keine Flickereffekte auf, aber es gibt auch keine Optionen zur Interpolation. Daher ist der Mode Single frame die richtige Wahl. Für reine Kameraflüge ist es möglich diese mit Fly-through direkt in einer Datei zu speichern. Die Gesamtersparnis für die 200 Frames Animation hätte, sofern man sie komplett weg gelassen hätte, in Anbetracht der gerademal sieben Sekunden Berechnungszeit, nur 26 Minuten betragen.



**Abbildung 5.6:** Finales Ergebnis der V-Ray Methodikentwicklung

Die Methodikentwicklung für V-Ray zeigte, dass die Standardwerte zu einem großen Teil für die Testszene sehr zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Auch zeitlich waren nur geringfügige Verbesserungsmöglichkeiten zu verbuchen.

- ✓ Szene mit Geometrien und finaler Skalierung
- ✓ Materialien mit ungefähren Eigenschaften den Geometrien zugewiesen
- ✓ Szene ist fehlerfrei
- ✓ Direkte Beleuchtung
- ✓ Irradiance Map
- ✓ geringfügige zeitliche Optimierung
- ✓ Light Cache

Wie bereits in der Problemanalyse erwähnt, machte V-Ray deutlich weniger Probleme in der Anwendung der Verfahren. Selbst die Skalierung um den Faktor 100 zeigte keine schlechten Effekte. Es traten weder starke Flickereffekte noch Blotches auf. Daher lag das Augenmerk primär auf der Reduzierung des Zeitaufwandes. Aber auch an dieser Stelle erwiesen sich die Verfahren und Standardwerte als sehr ausgereift und boten nur relativ geringe Möglichkeiten zur Optimierung. Insgesamt belief sich die Zeitersparnis auf ca. 40 Sekunden. Auf die Gesamtanimation gerechnet sind das immerhin noch gute zwei Stunden und somit ist das anfangs erwähnte Ziel, die Animation in unter 10 Stunden zu rendern, mit 9 Stunden 51 Minuten gerade noch gewährleistet.

## Kapitel 6

# Anwendung der Methodiken

Auf die beiden Methodikentwicklungen folgt eine Evaluation, um die Übertragbarkeit auf andere Projekte zu überprüfen. Dazu wurde jeweils ein früheres Animationsprojekt genommen und anhand der Ausgangseinstellungen zu Beginn der Methodikentwicklung eine vergleichbare Basis geschaffen. Daraufhin wurde die entwickelte Methodik auf die jeweilige Szene angewendet und mit diesem Ergebnis verglichen. Wie auch in den vorangegangenen Kapiteln folgt zuerst die Evaluation für Mental Ray und darauf für V-Ray.

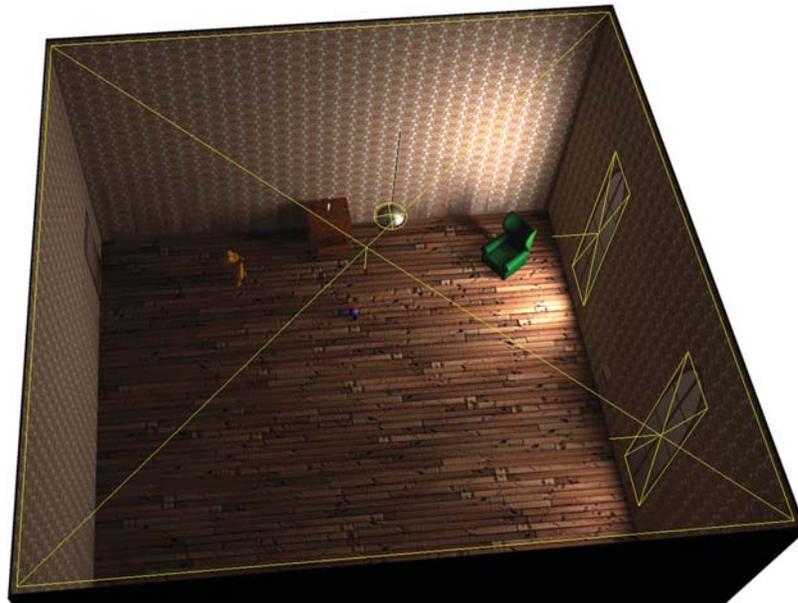
### 6.1 Anwendung der Methodik für Mental Ray



**Abbildung 6.1:** Titel des Films<sup>1</sup> für Mental Ray

Die Evaluation für Mental Ray fand anhand einiger Szenen aus dem vergangenen Projekt

„the great earth taking over coup“<sup>2</sup> statt. Dazu wurden drei Interieur Szenen benutzt, da in diesen die indirekte Beleuchtung besser darstellbar war. Bei der Einrichtung der Beleuchtung des Raumes wurde damals wenig Wert auf die indirekte Beleuchtung gelegt, diese wurde größtenteils über das große Deckenfülllicht fingiert. Da am Belechtungsaufbau zur Evaluation der Szene nichts geändert werden sollte, ist dieses Set-up auch erhalten geblieben. Eine optimalere Lösung wäre natürlich ein Neuaufbau mit Fokus auf die indirekte Beleuchtung gewesen. Desweiteren wurde die Ursprungsaufösung des Projektes von 1280x720 beibehalten, daher beziehen sich alle Zeitangaben in diesem Abschnitt auf diese Auflösung. Die Zeiten für die Auflösung von 1680x944 aus der Methodikentwicklung lägen dementsprechend etwas darüber.



**Abbildung 6.2:** Übersicht der Szene mit Lichtern

Die Abbildung 6.2 zeigt einen Überblick über den Raum, in dem sich die Szenen abspielen. Die primären Lichtquellen des Raumes sind das Spotlight in der Lampe und die beiden Arealights vor den Fenstern. Durch das große Fülllicht an der Decke wurde die gesamte Szene zusätzlich aufgeleht.

Analog zur Methodikentwicklung wurde die Global Illumination ohne das Final Gathering aufgesetzt. Dabei gestaltete sich die parallele Einrichtung mehrerer Lichtquellen als relativ schwierig. Denn ursprünglich besaß die Szene überhaupt keine Photonen und somit war es schwierig diese mit den verschiedenen Intensitäten der Lichtquellen abzugleichen, sodass nicht ein eigentlich sehr schwaches Licht auf einmal sehr viel Helligkeit über die Photonen entwickelte. Analog dazu lieferte der Accuracy Wert von 10.000 für die GI auch in dieser Szene die besten Ergebnisse. Unterhalb waren wieder helle Flecken in der Szene verteilt und oberhalb veränderte sich an der Qualität nichts mehr, nur die Renderzeit schoss in die Höhe.

---

<sup>2</sup><https://vimeo.com/30158277>



**Abbildung 6.3:** Unterschied PM rebuild aus und an

In dieser Szene zeigte sich aber, dass es notwendig ist die Photon Map für jeden Frame neu zu bauen. Da dieser Arbeitsschritt in nur wenigen Sekunden erledigt war, fiel es in der Gesamtzeit nicht allzu stark ins Gewicht. Die Abbildung 6.3 zeigt links die Schattenbildung an der Hand mit einer veralteten Photon Map und rechts mit einer neu berechneten.

Nachdem die Global Illumination eingerichtet war, wurden für das Final Gathering im Grunde nur die Werte aus der Methodik übernommen und ein Testrendering über einige Frames angefertigt. Diese zeigten ebenfalls wieder hervorragende Ergebnisse ohne jegliches Flickering oder wandernde Punkte. Neben dem Optimize for Animations wurde wieder eine Final Gathering Map für die gesamte Animation angelegt. Dadurch, dass sehr viel Bewegung direkt vor der Kamera stattfindet, wurde ein Framestep von 3 gewählt. Die Vorberechnung dauerte nur 23 Minuten.



**Abbildung 6.4:** Links die Ausgangsbasis - Rechts das Ergebnis nach der Optimierung

In der Abbildung 6.4 ist links die Ausgangsbasis mit deutlich blässeren Farben und im rechten Bildteil das Ergebnis mit den optimierten Werten und kräftigeren Farben zu sehen. Die Erwartung lag auch nicht darin, dass sich die Ergebnisse optisch stark unterscheiden. Primär sollte das bisherige Aussehen so gut wie möglich beibehalten werden und dabei ein Zeitvorteil entstehen. Die Renderzeit für die Ausgangsbasis lag bei 293 Sekunden und für die methodikoptimierte Version bei gerade noch 132 Sekunden. Damit war sie 161 Sekunden schneller, was einer Zeitersparnis von etwa 55% entspricht. Die Gesamtrenderzeit für die

optimierte Szene mit 200 Frames Animation lag bei 323 Minuten gegenüber 977 Minuten und zeigte somit sogar eine Gesamtersparnis von 67% (resultierend aus den Vorberechnungen).

Die zweite Szene bestand aus einer Animation über 165 Frames. Dadurch dass sich die Animation im selben Raum befindet, konnten die Werte für die Lichter, die Global Illumination und das Final Gathering aus der vorherigen Szene übernommen werden. In der Evaluationsphase zeigte sich, dass es in dieser Szene nicht notwendig ist in jedem Frame eine neue Photon Map zu generieren. Somit wurden von vornherein wieder etwa 10 Sekunden pro Bild eingespart (insgesamt 1650 Sekunden). Desweiteren wurde die Final Gathering Map alle 3 Frames in 63 Minuten berechnet. Der höhere Zeitaufwand resultiert durch den Kameraschwenk in dieser Szene. Die anderen beiden Szenen haben eine starre Kamera und müssen dementsprechend weniger der Szene abdecken und können mehr Punkte wiederverwenden. Die Ausgangsbasis benötigte 491 Sekunden pro Frame. In der optimierten Fassung genügten noch 267 Sekunden pro Bild und die Gesamtrenderzeit inklusive der Vorberechnungen belief sich auf 580 Minuten. Daraus resultierte eine Zeitersparnis von 770 Minuten (Ausgangsbasis: 1350 Minuten), dementsprechend 65%, gegenüber den Einstellungen der Ausgangsbasis.



**Abbildung 6.5:** Links die Ausgangsbasis - Rechts die optimierte Fassung

Die dritte Szene unterschied sich von der vorherigen dadurch, dass das Deckenfülllicht und das Spotlight in der Lampe jeweils deaktiviert waren. Die gesamte Beleuchtung wurde ausschließlich durch die beiden Arealights vor den Fenstern realisiert. Da in dieser Szene die Protagonisten noch schlafen, war diese Szene insgesamt dunkler und die Werte der verbleibenden Lichter wurden auch nicht angepasst, um die fehlende Lichtquelle zu kompensieren. Daher ließen sich auch diesmal wieder die Werte für die übrigen Lichter aus den vorherigen Szenen übernehmen. Durch die deutlich geringere Bewegung in der Szene reichte es aus das Final Gathering in nur jedem fünften Frame zu berechnen. Die Animation dauert mit 480 Frames deutlich länger, als in den bisherigen Szenen. Umso beeindruckender wirkte sich die zeitliche Ersparnis aus. Die Berechnung der FG Map dauerte mit 24 Minuten kaum länger, als für die erste Szene bei mehr als der doppelten Länge der Animation. Die Gesamtrenderzeit lag bei 1520 Minuten inklusive der Vorberechnungen. Mit den Werten der Ausgangsbasis hätte derselbe Prozess 5456 Minuten gedauert und somit ergab sich ein Zeitvorteil von 3936 Minuten und dementsprechend 72%.

Diese Szenen zeigten glücklicherweise keine qualitativen Schwachstellen. Falls man damit zusätzlich konfrontiert wird, ist es ohnehin notwendig sich mit den Parametern zu beschäfti-



**Abbildung 6.6:** Links die Ausgangsbasis - Rechts nach der Methodikanwendung

gen, um dies zu beheben. Der Zeitaufwand, um alle drei Szenen der Methodik entsprechend anzupassen, belief sich insgesamt auf etwa vier Stunden. Dieser Mehraufwand geht zeitlich aber in der schnelleren Ergebnisproduktion wieder völlig unter. Dadurch, dass die Ausgangsbasis keine fleckigen oder generell qualitativ schlechten Bilder produzierte, war kein Qualitätsgewinn zu verzeichnen. Der Zeitliche hingegen machte sich sehr deutlich bemerkbar. Daran ist zu erkennen, wie wichtig es ist sich die Zeit zu nehmen und die Werte der globalen Beleuchtung für die Szene anzupassen.

## 6.2 Anwendung der Methodik für V-Ray

Die Evaluation für den V-Ray Teil fand anhand des Kurzfilms „Scars of War“<sup>3</sup> statt. Dazu wurden zwei Interieur Szenen des Büros benutzt. Die Shader der Szene wurden dazu nicht angepasst und behielten ihren Ursprungszustand bei. Während der Einrichtung der Beleuchtung wurde damals in der Produktionsphase bereits großen Wert auf die globale Beleuchtung gelegt. Als Ausgangsbasis wurden die vorhandenen Rendersettings, sowie die Auflösung von 1280x720 beibehalten. Der einzige Unterschied lag darin, dass als Preset High zur Irradiance Map Berechnung gewählt war. Daher beziehen sich alle Zeitangaben in diesem Abschnitt auf diese Auflösung. Die Zeiten für die Auflösung von 1680x944 aus der Methodikentwicklung lägen dementsprechend etwas darüber. Die Szenen sind mit 313.000 bis 363.000 Polygonen, 261 Shadern und 132 Texturen deutlich komplexer als die der Entwicklungsphase.

Die Abbildung 6.7 zeigt einen Überblick über den Raum zur besseren Orientierung in welchem Umfeld sich die Handlung abspielt. Beide Szenen finden an diesem Schreibtisch statt.

An der Szene selbst war durch die bereits eingerichtete globale Beleuchtung keine Arbeit mehr notwendig. Es wurden die Werte aus der Methodikentwicklung in den Rendersettings übernommen und neben einem zeitlichen Vorteil von 18% konnte sogar eine geringfügige Qualitätsverbesserung, durch weniger flickern an der Hand, verzeichnet werden. Die Berechnungszeit (inklusive Vorberechnungen) für die Ausgangsbasis lag bei 372 Sekunden zu 293 Sekunden in der optimierten Variante. Die Gesamtrenderzeit ließ sich so von über 19

<sup>3</sup><https://vimeo.com/48878989>



**Abbildung 6.7:** Überblick über die Evaluationsszene

Stunden um immerhin gut zwei Stunden auf knapp 17 Stunden und somit noch um 15% reduzieren.



**Abbildung 6.8:** Evaluationsszene eins mit Aschenbecher

Für diese Szene wurde das Fell des Fuchses entfernt, um Renderzeit zu sparen. Dies zeigte keinen Einfluss auf die Berechnungszeit der globalen Beleuchtung, jedoch durch das deutlich geringere Sampling an dieser Stelle die Renderzeit von etwa 20 Minuten auf 250 Sekunden verkürzt (Rendersettings Ausgangsbasis). In der optimierten Version konnten zumindest 23% eingespart und 192 Sekunden erreicht werden. Die Gesamtrenderzeit betrug 474 Minuten für 134 Frames. Gegenüber den alten Einstellungen mit 560 Minuten konnten

sich nur noch 86 Minuten (15%) einsparen lassen. Der Unterschied zwischen Einzel- und Animationsrenderings ergibt sich aus der notwendigen Interpolation der Irradiance Maps für die Animation.



**Abbildung 6.9:** Evaluationsszene zwei mit Interview

Alternative Werte, die auch schon in der Methodikentwicklung probiert wurden, zeigten auch bei diesen Szenen keine Qualitätsverbesserungen oder Zeitersparnisse. Alles in allem bestätigte die Evaluation der V-Ray Methodik, dass die globale Beleuchtung nur ein geringes Potenzial für Optimierungen bietet. Dahingegen zeigte sich in der Methodikentwicklung und während der Evaluation, dass die Berechnung des Bildes selbst viel mehr Zeit benötigt. Daher liegt die Vermutung nahe, dass während der Bildsynthese mehr Möglichkeiten vorhanden sind, um Einfluss auf die Renderzeit zu nehmen.

## 6.3 Fazit

Die Evaluation der beiden Verfahren bestätigte jeweils die Ergebnisse der Methodikentwicklung. Bei Mental Ray wurden ähnlich gute Ergebnisse in Qualität und Zeitersparnis erzielt und bei V-Ray wurde der geringe Zeitaufwand selbst in komplexeren Szenen bestätigt. Dabei konnte trotz der deutlich höheren Anzahl an Lichtquellen, Shadern und Texturen die Qualität beibehalten werden.



# Kapitel 7

## Ergebnisse

Dieses Kapitel behandelt die Ergebnisse der einzelnen Methodikentwicklungen, die aufgetretenen Probleme und zugehörigen Lösungen sowie deren Evaluationen und schließt mit einem Fazit ab.

Die zu Beginn dieser Arbeit angesprochenen Probleme, wie Flickering, Blotches, Rechenzeit und Bildqualität, bei Animationen mit globaler Beleuchtung äußerten sich in der Entwicklungsphase für jeden Renderer unterschiedlich. Seitens Mental Ray zeigten sich deutlich stärkere qualitative Probleme wie Flickering und Blotches als bei V-Ray. Generell war der Einrichtungsaufwand bis zum sauberen Ergebnis für Mental Ray höher, aber dafür die notwendige Rechenleistung bzw. -zeit bei V-Ray.

Das Problem die gesamte Szene mit indirekter Beleuchtung zu erfassen ist für sich genommen nicht trivial. Je nachdem wie komplex die Geometrien und Shader der Szene sind, wächst dieses Problem mit, sodass es sich schnell zu einem ausgesprochen rechenintensiven entwickeln kann. Daher ist es unumgänglich für eine effiziente Berechnung die globale Beleuchtung nur anzunähern. All diese Komplexität entsteht bereits in einem einzelnen Frame. Kommt an dieser Stelle noch die Animation mit ins Spiel, muss die Berechnung der globalen Beleuchtung zusätzlich variable Kamerawinkel und sich bewegende Geometrien kompensieren. Spätestens an dieser Stelle wird klar, wie kompliziert dieses Problem ist. Neben der Erfassung der gesamten Szene müssen zusätzlich Fehler, die durch die Approximation entstehen können, ausgeglichen werden. Durch die Animation ist eine nahezu vollständige Neuberechnung der Beleuchtung beinahe unumgänglich, um die Veränderungen korrekt zu beleuchten. Natürlich lässt sich je nach gewähltem Verfahren und Szeneninhalte Zeit und Rechenleistung sparen. Aber ob und in welchem Umfang dies möglich ist, lässt sich oft nur durch Erfahrungswerte oder Ausprobieren bestimmen.

### 7.1 Resultate der Mental Ray Methodik

Die Methodikentwicklung für Mental Ray zeigte, dass die Standardeinstellungen der beiden Verfahren sehr viel Potenzial für Optimierungen bieten. Zusätzlich erwies die Bildqualität mit diesen Werten, dass es mehr als nur ratsam ist, diese Werte für ein sauberes Er-

gebnis anzupassen. Bei der Einrichtung der Global Illumination muss man zusätzlich zu den Parametern in den Rendersettings, die Photonenwerte der einzelnen Lichtquellen in Einklang bringen. Wenn dies in einem Testframe erreicht wurde, kann man sich, durch die Kameraabhängigkeit, beinahe sicher sein, dass sie auch während der Animation korrekt berechnet wird. Dahin gegen bringt das Final Gathering Probleme mit sich, die sich unter Umständen erst während der Animation voll entfalten. Durch die Kameraabhängigkeit des Verfahrens bedeutet jede Blickwinkeländerung auch zeitgleich eine Bewegung der Abtastpunkte im Bild. Aus diesem Grund entstehen Punkte, die während der Animation durch das Bild zu wandern scheinen (siehe Abb. 7.1) und somit den Betrachter stören.

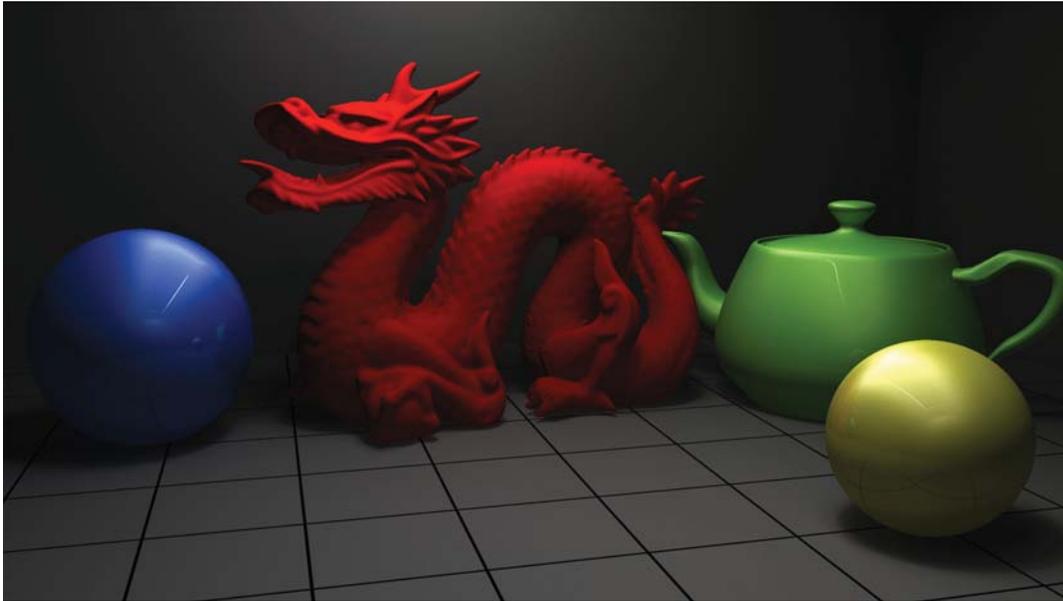


**Abbildung 7.1:** Final Gathering Blotches

Diese Qualitätsprobleme konnten mit der entwickelten Methodik behoben werden. Zum einen zeigte es die dazu genutzte Testszene und zum anderen bestätigten die Ergebnisse des Evaluationskapitels dies ebenfalls. Darüber hinaus zeigte sich ein zeitlicher Vorteil, der keineswegs bei einer Qualitätsverbesserung zu erwarten gewesen wäre. Im Grunde war davon auszugehen, dass eine höhere Qualität nur durch rechenintensivere Werte zu realisieren wäre. Dadurch, dass ein Bild aber nur einen Bruchteil einer Sekunde zu sehen ist, ist es in Animationen möglich etwas ungenauere Berechnungen zu verwenden, als in einem Stillrendering, und sich dadurch diesen Zeitvorteil zu verschaffen. Durch die Möglichkeit des Final Gatherings nicht zwangsläufig die volle Berechnung in jedem Frame vorhalten zu müssen, kann auch in der Vorberechnung bereits Zeit gespart werden.

Diese vorteilhafte Kombination aus Anforderungen, Voraussetzungen und Möglichkeiten macht es möglich neben einem deutlichen Qualitätsgewinn ebenso einen zeitlichen Vorteil zu erarbeiten. Desweiteren konnte der zeitliche Anspruch, die Animation über 200 Frames in unter 10 Stunden zu rendern, erfüllt werden. Die Methodik für Mental Ray stellt damit

eine solide Basis für Animationen dar. Im Rahmen der Evaluation bestätigte sich vollstens die Übertragbarkeit auf andere Projekte.



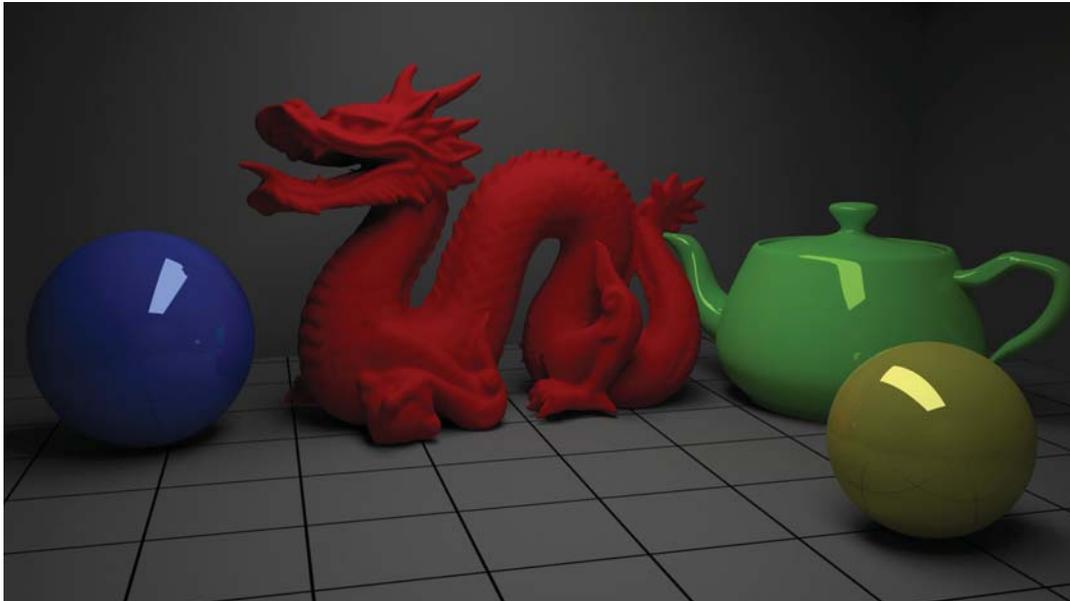
**Abbildung 7.2:** Finales Ergebnis der Mental Ray Methodikentwicklung

## 7.2 Konsequenz der V-Ray Methodik

Die Methodikentwicklung für V-Ray stand dagegen vor deutlich geringeren Qualitätsproblemen der globalen Beleuchtung. Auch die Berechnung ist mit der Irradiance Map und dem Light Cache unglaublich schnell und effizient. Im Gegensatz zu den Final Gathering Berechnungen, die bis zu mehreren Minuten dauern konnten, dauerten die Vorberechnungen in V-Ray selten auch nur eine halbe Minute pro Frame. Wie bereits in der Dokumentation [spo12] von V-Ray zu lesen ist, sind die Preset Werte für eine Auflösung von 640x480 gedacht und können bei höheren Auflösungen geringer gewählt werden. Die Auflösung der Irradiance Map noch einen weiteren Bruchteil kleiner zu wählen und nur zwei statt vier Iterationen berechnen zu lassen, zeigte sich als die einzige zeitliche Optimierungsmöglichkeit. Zudem ist es nicht möglich, wie beim Final Gathering, Frames zu überspringen, um einen weiteren Zeitgewinn verbuchen zu können. Die Evaluation bestätigte dies sogar in komplexeren Szenen und verdeutlichte dabei einen Eindruck, der bereits in der Entwicklungsphase entstand. Die Tatsache, dass die Vorberechnung nur wenige Sekunden dauerte, aber das Rendering selbst wieder mehrere Minuten, verdeutlichte, dass die Berechnung der globalen Beleuchtung in V-Ray sehr ausgereift und effizient ist, aber nicht der Flaschenhals der Bildsynthese. Die Wahl der Abtastmethode und der dazu gehörigen Werte zeigten in einem kurzen Exkurs einen deutlich höheren Einfluss auf die Berechnungszeiten und die Bildqualität. Auch das Bildrauschen konnte nur auf Kosten der Renderzeit über das Image Sampling verbessert wer-

den. Die Einstellungsmöglichkeiten der globalen Beleuchtung zeigten darauf jedoch keinen Einfluss.

Die Methodikentwicklung für V-Ray brachte nicht den erhofften Einfluss auf die Qualität und Berechnungszeit. Aber zumindest konnte in einem kleinen Rahmen wenigstens ein zeitlicher Vorteil realisiert werden, welcher sich in der Evaluation auch in komplexeren Szenen bestätigen ließ.



**Abbildung 7.3:** Finales Ergebnis der V-Ray Methodikentwicklung

### 7.3 Fazit

Als Fazit lässt sich aus der Methodikentwicklung ziehen, dass Mental Ray für die globale Beleuchtung mehr Anpassungsarbeiten benötigt, sich dadurch aber auch gleichzeitig ein Zeitvorteil ergeben kann, wie die folgende Tabelle zeigt. Neben dem Qualitätsgewinn der Methodikentwicklung ist der zeitliche noch imposanter. Es konnten etwa 90% der Zeit eingespart und dabei ein saubereres Ergebnis gewährleistet werden.

---

Schritte	Zeiten pro Frame
Standardwerte	16:58 Minuten (keine Photonen)
korrekte PMap	17:34 Minuten
optimierte FG Map	3:18 Minuten
FG Map Vorberechnung	21,3 Sekunden gemittelt, 71 Minuten gesamt
gemittelte Berechnungszeit	1:46 Minuten (-90%)

V-Ray hingegen verdeutlicht, dass die Verfahren für die globale Beleuchtung von Haus aus schon sehr ausgereift sind und nur wenig Raum für Optimierungen bieten. Das Bildrauschen, und die damit verbundene Bildqualität, ist deutlich stärker vom Image und DMC Sampler abhängig, als von der globalen Beleuchtung. Um sehr hohen Qualitätsansprüchen zu genügen, muss Rechenzeit und -leistung investiert werden. Generell ist es unumgänglich die adäquaten Werte für die jeweilige Szenen zu erarbeiten und sich die dafür notwendige Zeit zu nehmen, um auch die gewünschte Qualität zu gewährleisten. 3D Szenen in der Computergrafik sind zu komplex und können sich in zu vielen Punkten unterscheiden, als dass man eine allgemeingültige Formel, die immer funktioniert, präsentieren könnte.



# Kapitel 8

## Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit befasste sich mit dem komplexen Problem der globalen Beleuchtung in computergenerierten Animationen. Dabei wurden die gebotenen Möglichkeiten der Renderer Mental Ray und V-Ray unter die Lupe genommen. Es wurde jeweils anhand einer Testszene eine Methodik entwickelt, um qualitativ hochwertige Bilder so zeiteffizient wie möglich generieren zu können. In der anschließenden Evaluationsphase bestätigte sich ebenfalls, dass die Methodik für Mental Ray eine solide Basis darstellt und den Anforderungen gerecht wurde. Die Entwicklung für V-Ray zeigte stattdessen, dass die Berechnung der globalen Beleuchtung bereits ausgesprochen effizient ist und mehr Rechenzeit in der anschließenden Bildsynthese verbraucht wird und brachte daher leider nicht den erhofften Erfolg. Stattdessen könnte in einer weiteren Arbeit an der Stelle des Samplings erneut mit den Anforderungen angesetzt werden.

### 8.1 Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit wurde versucht dem stetigen Drang nach mehr Qualität und anspruchsvolleren Bildern, speziell in Animationen, gerecht zu werden. Beinahe jede Branche bedient sich mittlerweile computergenerierter Bilder. Die Ansprüche steigen dabei stetig mit und die dazu notwendigen Berechnungen werden immer intensiver. Neben den Problemen der notwendigen Rechenleistung und Zeit, können aber auch an vielen Stellen Qualitätsprobleme, durch die komplexen Berechnungen, auftreten. Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, kommt man um globale Beleuchtungsmethoden nicht mehr herum. Die dazu notwendigen Berechnungen sind teilweise ohnehin schon sehr aufwändig und müssen für Animationen oft für jedes Bild wiederholt werden. Die Gesamtsituation der globalen Beleuchtung in Animationen ist dabei nur selten in wissenschaftlichen Arbeiten erfasst worden.

Im Kapitel zum Stand der Technik wurde gezeigt, dass es viele Ansätze zur Optimierung der globalen Beleuchtung gibt. Diese sich aber nur in seltenen Fällen mit der speziellen Problematik in Animationen beschäftigen. Neben den grundlegenden Entwicklungen, wie dem Photon Mapping, wurden verschiedene Ansätze zur Optimierung bestehender Verfahren oder Eigenentwicklungen zur Beschleunigung gezeigt. Darüber hinaus wurden Arbeiten zu Umsetzungen der globalen Beleuchtung in Echtzeitanwendungen dargeboten. Einzig die großen

Animationsstudios, wie Dreamworks und Pixar, arbeiten an Beschleunigungsmöglichkeiten zum Rendern von Animationen. Dabei liegt ihr Fokus auf ihren eigenen Systemen und die ihnen zur Verfügung stehende Rechenleistung ist ausgesprochen hoch. Diese Voraussetzungen trugen dazu bei, diese Arbeit mit Fokus auf Mental Ray und V-Ray umzusetzen.

Dazu wurde zunächst im Grundlagenkapitel Beleuchtungsmodelle das notwendige Vorwissen vermittelt. Neben einer kurzen Erklärung zu lokalen Beleuchtungsmodellen, wurden die Verfahren zur indirekten Beleuchtung für den jeweiligen Renderer präziser beschrieben. Dabei wurde die Global Illumination und das Final Gathering für Mental Ray näher betrachtet. Für V-Ray wurde die bereits angesprochene Photon Map und das Brute Force, sowie die Irradiance Map und der Light Cache mit ihren Parametern unter die Lupe genommen.

In der Methodikentwicklung wurden zuerst die häufig auftretenden Probleme analysiert. Dazu wurden die Werte für Mental Ray ermittelt, um eine gute Balance zwischen Qualität und Zeiteffizienz zu erzielen. Dabei wurden die notwendigen Parameter dazu erklärt und die Auswirkungen anhand der Testszene veranschaulicht. Analog wurden die Probleme der Methoden in V-Ray untersucht und eine Entscheidung getroffen, welche sich zur effizienten Berechnung von Animationen eignen. Die Entscheidung fiel zu Gunsten der Irradiance Map mit dem Light Cache, da diese Kombination die besten Ergebnisse in kürzester Zeit produzierte. Auch weil die Irradiance Map bereits Optimierungsmöglichkeiten speziell für Animationen mit sich bringt. Für diese beiden Verfahren wurde dann ebenfalls eine Methodik entwickelt und mit Hilfe der Testszene die Möglichkeiten veranschaulicht.

Um die Gültigkeit der Methodik zu untersuchen, wurden beide Verfahren jeweils mit Szenen aus früheren Projekten evaluiert. Die Evaluation für Mental Ray bestätigte den Eindruck aus der Entwicklungsphase zu voller Zufriedenheit und ermöglichte Zeitersparnisse von über 70%. Die Ergebnisse zur Zeitersparnis für V-Ray hingegen fielen ähnlich enttäuschend aus, wie schon in der Methodikentwicklung. Dabei zeigte sich aber, dass die Verfahren von Haus aus schon sehr ausgereift und effizient sind und deshalb nicht mehr viel Raum zur Optimierung bieten. Stattdessen verstärkte sich der Eindruck, dass die Bildsynthese selbst der aufwändigere Teil ist und bessere Möglichkeiten zur Zeitersparnis bieten dürfte.

Diese Erkenntnisse und Resultate wurden im Ergebnis Kapitel zusammengetragen und nochmal prägnant wiedergegeben. Dabei stach besonders die Methodik für Mental Ray mit der sehr großen Zeitersparnis mit bis zu 90% hervor. Die Bildqualität geriet dabei aber nie aus dem Fokus und entspricht auch immer noch sehr hohen Ansprüchen. Die Entwicklung für V-Ray erzielte dabei leider nicht die erhofften Ergebnisse. Dafür konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass die globale Beleuchtung in V-Ray sich weniger problematisch gestaltet und dass die Bildqualität sehr viel stärker vom Image und DMC Sampler abhängig ist. Die entwickelten Methodiken stellen eher eine solide Basis dar, mit der man wahrscheinlich zeiteffizientere Ergebnisse erreichen kann, als eine allgemeingültige Formel für jedes Projekt. 3D Szenen in der Computergrafik sind dafür zu komplex und können sich in zu vielen Punkten unterscheiden.

## 8.2 Ausblick

Im Laufe dieser Arbeit fielen einige Punkte auf, die man in Zukunft näher betrachten könnte, um die Bildqualität zu fördern oder Zeit zu sparen. Insbesondere V-Ray zeigte, dass die Bildabtastung sehr viel rechenintensiver ist, als die globale Beleuchtung. Im selben Zug fiel auf, dass die Bildsynthese mit dem Gitternetz auf dem Boden der Cornell Box aufwändiger wurde. Der Renderpass Samplerate bestätigte, dass die harten Kanten des Grids eine erhöhte Samplerate verursachten. Daher könnte eine zukünftige Arbeit mit Fokus auf dem Image und DMC Sampler weitere Fortschritte auf diesem Gebiet ermöglichen. Das heißt, in diesem Bestreben könnte nicht nur die Auswirkung von Geometrien, sondern auch von Texturen, auf das Sampling erforscht werden und ob es in diesem Rahmen auch Möglichkeiten gibt, die Berechnungen zu beschleunigen. Sicherlich ließen sich auch für Mental Ray noch neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Bildabtastung finden, um die Bildqualität und gegebenenfalls auch den Zeitaufwand zu verbessern.

Wenn auch die gefundenen Werte für Mental Ray in der Evaluation bestätigt wurden, könnte eine komplexere Methode dazu weitreichendere Aussagen treffen. Das heißt man könnte explizit hierfür systematisch Szenen generieren, die Stärken oder Schwachstellen besser zu Tage fördern könnten. Die Tatsache, dass sich computergenerierte Szenen und Projekte in unzähligen Aspekten unterscheiden können, macht es nur schwer vorstellbar, dass die gefundene Methodik wirklich immer allgemeingültig sein kann. In diesem Zuge könnten auch die Korrelation zwischen Shadern und der globalen Beleuchtung näher erforscht werden um weitere Optimierungsmöglichkeiten aufzudecken.



# Glossar

Bildsynthese	Verrechnungsprozess der verschiedenen Rohdaten, um das endgültige Bild zu erzeugen
Blotches	helle Flecken in der Computergrafik, die durch unzureichende Berechnungen entstehen
Bump Maps	Textur mit Höheninformation für 3D Modelle
Color Bleeding	wörtl. Farbbluten, diffuse Reflexion der Farbe des Objekts a auf Objekt b
Cornell Box	Testszenario um physikalische Korrektheit von Rederern zu überprüfen
Flickering	Flimmern oder flackern, in der Computergrafik speziell kurzzeitige lokale Maxima der Beleuchtung auf Materialien
Frame	Bild bzw. Einzelbild einer Animation
Glossy (Reflections)	unscharfe Reflexionen
Kaustik	Bündelung von Lichtstrahlen durch zum Beispiel Glas oder Wasser

Level of Detail	Detailgrad von Objekten oder Texturen ist von der Entfernung zur Kamera abhängig
Ray Tracing	Strahlenverfolgung, häufig benutztes Verfahren in der Computergrafik
Renderfarm	Rechenzentrum meist ausschließlich zur Berechnung computergenerierter Bilder
Skylight	Simulation des Himmels durch eine Lichtquelle
Stanford Dragon	3D Testmodell, 3D Scan einer echten Figur an der Stanford University
Still Rendering	Einzelbild, in der Computergrafik oft mit einem sehr hohen Detailgrad
Utah Teapot	Möglicherweise bekanntestes 3D-Modell der Computergrafik, 1975 von Martin Newell

# Literaturverzeichnis

- [Aut12a] AUTODESK: *Autodesk Maya 2013 Help on Mental Ray*. <http://goo.gl/LyJ1G>, 2012
- [Aut12b] AUTODESK: *Autodesks Mental Ray Documentation*. <http://goo.gl/ps4x8>, 2012
- [CB04] CHRISTENSEN, Per H. ; BATALI, Dana: *An Irradiance Atlas for Global Illumination in Complex Production Scenes*. 2004
- [CHS<sup>+</sup>12] CHRISTENSEN, Per H. ; HARKER, George ; SHADE, Jonathan ; SCHUBERT, Brenden ; BATALI, Dana: *Multiresolution Radiosity Caching for Global Illumination in Movies*. 2012
- [CLC12] CHEN, Ying-Chieh ; LEI, Su Ian E. ; CHANG, Chun-Fa: Spatio-Temporal Filtering of Indirect Lighting for Interactive Global Illumination. In: *Computer Graphics Forum* (2012)
- [Dam11] DAMMERTZ, Holger: *Acceleration methods for ray tracing based global illumination*, Universität Ulm, Diss., 2011
- [DJM12] DOIDGE, Ian C. ; JONES, Mark W. ; MORA, Benjamin: Mixing Monte Carlo and Progressive Rendering for Improved Global Illumination. In: *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics* (2012)
- [FD09] FABIANOWSKI, B. ; DINGLIANA, J.: *Interactive Global Photon Mapping*. 2009
- [FJ12] FU, Zhe ; JENSEN, Henrik W.: *Noise Reduction for Progressive Photon Mapping*. 2012
- [Gro11] GROSS, Zeno-Oliver: *Globale Volumenbeleuchtung mit Photon Mapping und Path Tracing*. 2011
- [HJJ10] HACHISUKA, Toshiya ; JAROSZ, Wojciech ; JENSEN, Henrik W.: *A Progressive Error Estimation Framework for Photon Density Estimation*. 2010
- [HOJ08] HACHISUKA, Toshiya ; OGAKI, Shinji ; JENSEN, Henrik W.: *Progressive Photon Mapping*. 2008

- [HP02] HEY, Heinrich ; PURGATHOFER, Werner: *Advanced Radiance Estimation For Photon Map Global Illumination*. 2002
- [Jen96] JENSEN, Henrik W.: *Global Illumination using Photon Maps*. 1996
- [Jen01] JENSEN, Henrik W.: *A practical guide to global illumination using photon mapping*. 2001
- [MA06] MEYER, Mark ; ANDERSON, John: *Statistical Acceleration for Animated Global Illumination*. 2006
- [ML09] MCGUIRE, Morgan ; LUEBKE, David: *Hardware-Accelerated Global Illumination by Image Space Photon Mapping*. 2009
- [Rit09] RITSCHEL, Tobias: *Perceptually-motivated, interactive rendering and editing of global illumination*, Max-Planck-Institut Informatik Saarbrücken, Deutschland, Diss., 2009
- [spo12] SPOT3D: *official V-Ray Documentation*. <http://goo.gl/EZYIM>, 2012
- [Taw06] TAWARA, Takehiro: *Efficient global illumination for dynamic scenes*, Max-Planck-Institut für Informatik Saarbrücken, Deutschland, Diss., 2006
- [TL04] TABELLION, Eric ; LAMORLETTE, Arnaud: *An approximate global illumination system for computer generated films*. 2004
- [WS02] WAND, M. ; STRASSER, W.: *Multi-Resolution Rendering of Complex Animated Scenes*. 2002