

Simulation von Realität durch die digitale Reproduktion bildverändernder Effekte

MORITZ PALNSTORFER

MASTERARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

DIGITAL ARTS

in Hagenberg

im Oktober 2012

© Copyright 2012 Moritz Palnstorfer

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der *Creative Commons Lizenz Namensnennung–NichtKommerziell–KeineBearbeitung Österreich* (CC BY-NC-ND) veröffentlicht – siehe <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/>.

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hagenberg, am 7. Oktober 2012

Moritz Palnstorfer

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iii
Kurzfassung	vi
Abstract	vii
1 Einleitung	1
2 Modell zur Kategorisierung von Effekten	4
2.1 Die ideale Kamera	5
2.2 Die Kamera in der Praxis	6
2.2.1 Lochkamera	6
2.2.2 Linsenkamera	6
2.2.3 Aufnahmemedium	7
2.3 Modell zur Kategorisierung von bildverändernden Effekten	8
2.3.1 Effekte der Kategorie I: vor der Kamera	9
2.3.2 Effekte der Kategorie II: in der Kamera	10
2.3.3 Effekte der Kategorie III: bei der Aufzeichnung	14
2.3.4 Effekte der Kategorie IV: nach der Aufzeichnung	18
3 Praxisbezogene Analyse	19
3.1 Das menschliche visuelle System	19
3.1.1 Räumlichkeit und die menschliche Interpretation	21
3.2 Einführung in Visual Effects-Praktiken	24
3.3 Bildsynthese	26
3.3.1 Pass Rendering	27
3.4 Relevanz von digitalen Visual Effects	28
3.5 Unregelmäßigkeit als Katalysator für Visual Effects	31
4 Praktische Anwendung: Projekt Ars Rata	35
4.1 Werkgenese	35
4.2 Produktion	37
4.3 Reproduktion	39

4.4	Reproduktion: Kategorie I: Generierung der Elemente	39
4.4.1	Konkretes Abbild einer kontinuierlichen Wirklichkeit . .	39
4.4.2	Computer Generated Imagery im Projekt Ars Rata . .	41
4.5	Reproduktion: Kategorie II: Compositing	43
4.5.1	Analoge Effekte und ihr digitales Pendant	43
4.5.2	Die 8-Bit-Problematik	50
4.5.3	Serielle statt Parallele Effekte	52
4.6	Reproduktion: Kategorie III & IV: Rendering und Wiedergabe	55
5	Schlussbemerkungen	56
A	Inhalt der CD-ROM	57
A.1	Hauptdokument	57
A.2	Bilder	57
A.3	PDF	57
A.4	Online-Quellen	57
Quellenverzeichnis		58
	Literatur	58
	Filme und audiovisuelle Medien	59
	Online-Quellen	60

Kurzfassung

Das filmische Bild, wie man es tagtäglich in Fernsehen und Kino vor Augen geführt bekommt, ist durchsetzt von unterschiedlichsten bildverändernden Erscheinungen. An viele dieser Effekte haben sich die Zuseher größtenteils unbewusst gewöhnt, da sie auch tagtäglich mit den eigenen Augen wahrgenommen werden können. Andere Effekte existieren nur in der filmischen Abbildung einer Realität, werden aber trotzdem von Betrachtern zum größten Teil toleriert oder erst gar nicht bewusst wahrgenommen.

Damit beim Betrachten eines Filmes der Zuseher nicht an der ihm präsentierten Realität zweifelt, ist es unabdingbar, dass sämtliche Manipulationen eines gefilmten Werkes in der Nachbearbeitung die Integrität des Ursprungswerkes aufrechterhalten. Mit anderen Worten: soll in die Aufnahme einer Stadt ein gigantischer Roboter eingefügt werden, so muss dieser – auch wenn er nie tatsächlich durch die Stadt getrampelt ist – in der fertigen Komposition mit den selben Effekten in das Bild eingebettet sein, die auch auf ihn gewirkt hätten, wäre er bereits zur Zeit der Aufnahme vor Ort gewesen.

Die Herausforderung bei der Erstellung einer Komposition aus verschiedenen heterogenen Elementen besteht zu großen Teilen eben daraus, die Einzelteile zu einer homogenen Komposition zu vereinen. Das heißt in den meisten Fällen, dass versucht werden muss, die Effekte, die auf ein filmisches Bild wirken, zu erkennen, zu isolieren und letzten Endes zu imitieren, um die einzufügenden Elemente gleichermaßen zu bearbeiten.

Es soll deswegen versucht werden die Effekte, die auf das filmische Bild wirken zu analysieren und zu beschreiben. Weiters soll die Wahrnehmung dieser Effekte durch den Betrachter erläutert werden und zu welchen Erkenntnissen für die Nachbearbeitung von Filmbildern mit dem Computer dies führt.

Im letzten Kapitel werden außerdem das Projekt *Ars Rata* und insbesondere die Praxisbezüge dieser Arbeit beschrieben.

Abstract

Motion pictures as seen everyday in television and cinema are interspersed with numerous picture changing phenomena. To many of those effects the audience has been unconsciously inured because they can also be observed in everyday life. Other effects only exist in the reality of the cinematic movie, but they are still tolerated or not even noticed.

To ensure a believable reality for the observer, it is indispensable that all manipulations to the recorded work in postproduction adhere the integrity of the original. In other words: if one wants to integrate a gigantic robot into the shot of a city, the robot has to be embedded into the composition with the same effects that would have acted on him, as if he really had been stomping through that city at the very time of the shooting – even when he never did.

The challenge which arises when creating a composition from heterogeneous elements is exactly to combine the individual parts to one homogeneous composition. In most cases that means to attempt to detect, isolate, and finally imitate the effects that affect a filmic picture to similarly manipulate the inserted elements.

It should, therefore, be attempted to analyze and describe those effects that act on the cinematic image. Furthermore, the perception of those effects by the beholder and to which findings relevant to visual effects these lead shall be explained.

In the last chapter the project *Ars Rata* and the practical references to this thesis in particular will also be described.

Kapitel 1

Einleitung

Seit mehr als 100 Jahren produzieren Menschen Filme, um ihre Zeitgenossen und spätere Generationen zu unterhalten. Anfangs war der Film noch eine spektakuläre Attraktion, die nur bei besonderen Vorführungen zu sehen war, doch mit dem Fernseher ist dieses Medium nach und nach auch in die Wohnzimmer des Publikums eingekehrt. Vom Kindesalter an kommen Menschen der heutigen Gesellschaft bereits mit dem Bewegtbild in Berührung und so ist die Erfahrung einer Filmvorführung – sei es im Kino oder vor dem eigenen Fernsehgerät – heutzutage für die wenigsten Menschen noch ein magisches Erlebnis per se. Spielfilme können dem Betrachter große Freude bereiten, ihn zum Nachdenken bringen, ihn zum Weinen bringen – kurz gesagt, sie können unterhalten. Doch durch die einzigartigen Möglichkeiten des Filmes können dem Zuseher auch fantastische Welten vor Augen geführt werden und er so in eine alternative Realität entführt werden. Dieses Unterfangen betrieben bereits die Pioniere des Filmes, wie beispielsweise Georges Méliès mit seiner *Reise zum Mond*. Die Filmemacher bedienen sich dazu seit jeher diverser Filmtricks, die es fast schon ebenso lang wie den Film als Bewegtbild selbst gibt. Die Techniken, die über Nachbearbeitung zu einer Veränderung des Bildes führen, werden meist *Visual Effects* (oder abgekürzt *VFX*) genannt und bilden ein zweites Arbeitsfeld für Effekte neben den *Special Effects*, den vor Ort stattfindenden Effekten, wie etwa realen Explosionen. Mit der über die Jahrzehnte vonstatten gehenden Verbesserung der Filmtechniken mussten und konnten sich auch die Trickfilmer weiterentwickeln. Nach dem Ende des Schwarz-Weiß-Films und der stetigen Weiterentwicklung des Farbfilms in den vielfältigsten Variationen und Techniken wurden auch neue Mittel und Wege gefunden diese Filme zu bearbeiten. Die entwickelten Techniken waren zum Teil ausgeklügelte optische und mechanische Konstruktionen oder auch chemische Bearbeitungen des Filmmaterials und die Erfinder nicht selten auch Namensgeber für besonders innovative Technologien. Mit dem Aufkommen der rechnergestützten, digitalen Technik wurden bereits Ende der 1970er- und Anfang der 1980er-Jahre Filme nicht nur mithilfe von Computertechnik

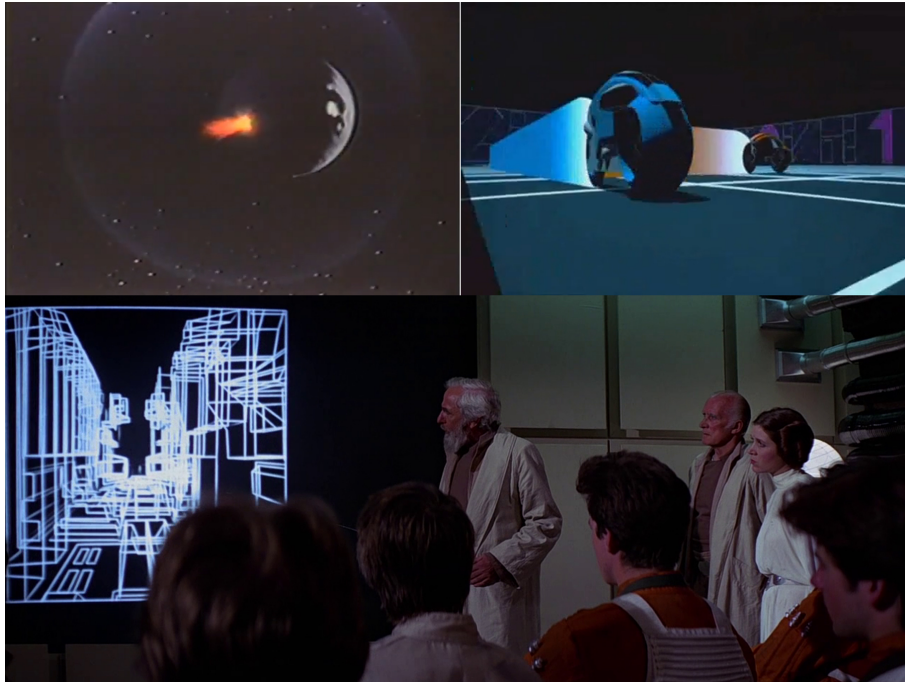


Abbildung 1.1: Frühe Computeranimationen in Spielfilmen: l.o.: *Star Trek II* (1982), Bildquelle: [23]; r.o.: *Tron* (1982), Bildquelle: [25]; u.: *Star Wars* (1977), Bildquelle: [24].

bearbeitet, sondern auch erweitert. Frühe Beispiele dafür sind *Star Wars*, *Tron* oder *Star Trek II* (siehe Abbildung 1.1). In den darauffolgenden Jahren, also den 1980er und 1990er Jahren wurden die Bearbeitungsmöglichkeiten durch den Computer immer vielfältiger. Man begann das Filmmaterial zu digitalisieren, die digitale Version des Materials zu bearbeiten und erst zum Ende der Produktion die fertigen Filme wieder auf herkömmliches Filmmaterial zu überspielen.

Durch diese Entwicklung hat nun ein entscheidender Wandel stattgefunden. Mussten früher die Effekte noch vor der Kamera und zum Zeitpunkt der Aufnahme oder mit aufwändigen chemischen oder optischen Verfahren direkt auf das Filmmaterial angewandt werden, so können nun dank der Digitaltechnik die ursprünglichen Bilder vielfältigst bearbeitet und sämtliche Elemente miteinander kombiniert werden. Einer der größten Vorteile ist dabei, dass die einmalig vorhandene ursprüngliche Filmrolle nicht Gefahr läuft durch Prozesse in der Nachbearbeitung verändert oder gar zerstört zu werden. Sie kann in ihrer digitalen Form außerdem beliebig oft und praktisch kostenfrei vervielfältigt werden. Alle Operationen, die auf das Bildmaterial angewandt werden sollen, können dank der Computertechnik ohne jegliche physikalische oder chemische Einschränkungen vorgenommen werden. Neben

der Möglichkeit beliebige digitalisierte Quellmaterialien zu kombinieren ist es dank spezieller Softwarepakete seit einigen Jahren auch problemlos möglich *Computer Generated Imagery* (kurz *CGI*) genanntes Bildmaterial in filmische Werke einzubetten. Dabei werden durch verschiedenste Techniken der Bildsynthese Bilder von Computern berechnet, um „Aufnahmen“ von speziellen Motiven zu erleichtern oder überhaupt erst zu ermöglichen. Dies könnten spezielle Effekte, virtuelle Raumschiffe, Monster, Dinosaurier, Gebäude oder auch sprechende Tiere sein – grob gesagt jeglicher Bildbestandteil, den zu drehen entweder zu aufwändig oder überhaupt unmöglich wäre. Die vollkommene Losgelöstheit von sämtlichen Gesetzmäßigkeiten der realen Welt ist dabei allerdings Fluch und Segen zugleich. Filmt man beispielsweise die Miniatur eines Gebäudes im Freien, so wird diese zwangsläufig (physikalisch) korrekt beleuchtet sein. Erstellt man das gewünschte Gebäude allerdings via CGI, so müssen neben der Zeit für die Erstellung der virtuellen Szene große Rechenleistungen für das sogenannte *rendern* – also das eigentliche Berechnen des Computerbildes – aufgeboten werden, um auch nur einen annähernd ähnlichen Grad an Realismus zu schaffen, wie sie die Aufnahme des Modells besitzt.

Letzten Endes müssen auch bei der Kombination des einzufügenden Materials mit der sogenannten *Footage* (also dem Film- beziehungsweise Videomaterial) bestimmte Schritte unternommen werden, um ein kohärentes Gesamtbild zu erreichen. Der Vorgang des Zusammenfügens unterschiedlicher Footages und/oder *Renderings* wird *Compositing* genannt und entscheidet maßgeblich über die Qualität des filmischen Endprodukts. Diese Arbeit wird von sogenannten Visual Effects- oder Compositing-*Artists* erledigt (Artist meint in diesem Zusammenhang und in dieser Thesis allgemein den englischen Begriff für Künstler und nicht etwa den Zirkusartisten). Ein Artist arbeitet dabei meist nicht an einem vollständigen Film sondern an einzelnen *Shots* – also einzelnen oder zusammengehörenden Einstellungen.

Kapitel 2

Modell zur Kategorisierung von Effekten

In vielen Tutorials, Handbüchern oder Film-Making-Ofs werden verschiedenste Schritte präsentiert, wie unterschiedliche Visual Effects oder Compositings kreiert werden können. Artists können so ihr Wissen erweitern oder erlernen möglicherweise sogar ihr Handwerk auf diese Weise, wenn sie nicht die Gelegenheit haben, von anderen Artists unterrichtet zu werden. Viele Schritte werden übernommen und angewandt und gehören früher oder später zur täglichen Routine und sind in den gängigen Workflows zu finden. Viele Techniken haben ihre Wurzeln in der Computergrafik, werden aber für filmische Arbeiten verwendet. Andere Methoden dienen gezielt dazu Phänomene aus der Filmwelt zu imitieren. Ebenso kommen VFX-Artists aus unterschiedlichen Bereichen der Film- oder Computerbranche oder sind Quereinsteiger aus angrenzenden Berufszweigen. Und obwohl Visual Effects mittlerweile fest in der Kinowelt verankert sind, gibt es immer noch sehr wenige spezialisierte Ausbildungsstätten – besonders in Europa. Diese Branche scheint aus reiner Notwendigkeit entstanden und weiterentwickelt worden zu sein und obwohl in der heutigen Zeit viele diese Arbeit mit großer Freude und Enthusiasmus leisten, so ist sie meist eine rein handwerkliche. Es gibt nur wenige theoretische Schriften und die vorhandene Literatur handelt oft lediglich von Arbeitspraktiken, technischen Problemen oder den Inhalten von durch VFX generierten Bildern (Monster, fremde Welten und so weiter).

In dieser Arbeit soll deswegen zunächst ein Schritt nach außen gemacht werden und das Feld der Visual Effects von einem anderen Standpunkt aus erfasst werden, um sich danach dem Thema auf eine eigene Art anzunähern. Dabei sollen relevante Beobachtungen gemacht werden und in weiterer Folge nicht lediglich die Symptome bestimmter Probleme nach bekannten Schemata gelöst, sondern durch reflexive Überlegungen bearbeitet werden.

Zu Beginn der Arbeit sollen in diesem Kapitel einige theoretische Überlegungen erläutert werden, die es ermöglichen verschiedene Phänomene bes-

ser nach ihren Ursachen zu unterscheiden. Dies dient in weiterer Folge dem Zweck ein Modell zu entwickeln, das es ermöglicht die für VFX relevanten Effekte zu kategorisieren – als Effekt sei hier jegliche Art einer physikalischen Veränderung zu verstehen und nicht die als Special oder Visual Effects bekannten Filmtricks.

2.1 Die ideale Kamera

In der einfachsten Beschreibung besteht der Vorgang des Filmens aus Licht, das über einen bestimmten Zeitraum hinweg auf ein Aufzeichnungsmedium fällt und dort festgehalten wird. Das Filmen ähnelt in vielerlei Aspekten der Fotografie, ergibt als Endprodukt allerdings kein einzelnes Bild, sondern zeigt dem Betrachter – geeignete Betrachtungsapparaturen vorausgesetzt – ein Bewegtbild. In der bekannten Form besteht ein Film aus Einzelbildern, die, schnell hintereinander gezeigt, den Eindruck von Bewegung vermitteln. Das Aufnehmen dieser Einzelbilder erfolgt üblicherweise mit einer Kamera. Idealerweise nimmt diese Kamera alles einfallende Licht auf und speichert sie auf dem Aufnahmemedium. Das gespeicherte Licht wird bei der Betrachtung – ein ebenso ideales Anzeigemedium vorausgesetzt – dem Auge als *Bild* erscheinen: eine zweidimensionale Zentralprojektion des eingefallenen Lichtes, die ein Betrachter als unterschiedliche Helligkeits- und Farbwerte mit seinen Augen visuell wahrnimmt. Dabei interpretiert das Nervensystem die einfallenden Informationen und es geschieht das, was *Sehen* genannt wird. Man sieht also unter idealisierten Bedingungen ein exaktes Abbild des aufgenommenen Motivs.

Es fällt allerdings einigermaßen schwer, sich ein ideales Abbild vorzustellen, da selbst das Auge – ohne den Zwischenschritt der Kamera und des Abbildes – nicht in der Lage ist ein solches wahrzunehmen (ideal ist hier nicht als *ästhetisch perfekt*, sondern als *frei von Abbildungsfehlern* zu verstehen), wie [1] und [10, S. 108–117] beschreiben. Die Kamera, die dieses Bild aufnehmen können würde, müsste eine unendlich kleine Öffnung aufweisen, um unendlich große Schärfe zu gewährleisten und im Gegenzug unendlich lichtstark sein, um trotzdem ein unverfälschtes, korrekt belichtetes Abbild aufnehmen zu können. Diese idealisierte Kamera könnte in ihrer Unmöglichkeit letzten Endes so weit gedacht werden, bis sogar die Effekte der heisenbergschen Unschärferelation zum Tragen kommen würden; aufgrund ihrer rein theoretischen Natur, soll dies aber in dieser Arbeit nicht erfolgen, da sie in diesem Konstrukt nur zur Kategorisierung der Effekte dienen soll, wie im Abschnitt 2.3 näher beschrieben wird und außerdem, um die Unzulänglichkeiten einer praktischen Kamera und der menschlichen Augen zu verdeutlichen.

Soll es sich bei der Kamera nicht nur um eine Einzelbildkamera handeln, sondern um eine idealisierte Bewegtbildkamera, so muss diese in der Lage

sein über einen Zeitraum hinweg mehrere Bilder festzuhalten. Sie müsste in einem endlichen Zeitraum unendlich viele Bilder speichern, was wiederum eine unendlich kurze Belichtungszeit erfordert. Theoretisch sollte diese Kamera (diskrete) Einzelbilder anfertigen, deren Aufnahmefrequenz unendlich knapp an eine kontinuierlicher Aufzeichnung angenähert ist.

2.2 Die Kamera in der Praxis

Eine tatsächliche, praktische Kamera unterliegt im Gegensatz zu der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Kamera natürlich den physikalischen Gesetzen. Unendliche Lichtempfindlichkeit ist ebenso unmöglich, wie unendlich kurze Belichtungszeiten. In der Praxis muss eine Kamera immer bestmöglich auf ihre Aufgabe hin gebaut oder eingestellt sein. Die für die Aufnahme relevanten Parameter wie zum Beispiel die Lichtempfindlichkeit, die Größe des Schärfebereichs oder auch die Anzahl der Einzelbilder pro Sekunde stehen miteinander in Verbindung und sind abhängig von den Eigenschaften der Kamera und des Aufnahmemediums.

2.2.1 Lochkamera

Eine der frühesten Geräte, um das Abbild eines Motivs ohne einen ausführenden Künstler zu sehen, war die *Camera obscura* (siehe [14, S. 8f]). Sie bestand ursprünglich aus einem dunklen Behälter mit einem Loch auf einer der Seiten, durch das Licht fällt und so das (auf den Kopf gestellte) Bild der außerhalb der Camera obscura befindlichen Umgebung auf die gegenüberliegende Innenseite projiziert. Wird an diese Fläche ein lichtempfindliches Material angebracht, so kann dieses Bild gespeichert werden – man erhält eine Fotografie durch eine sogenannte Lochkamera. Die Größe des Loches bestimmt dabei (indirekt) die Schärfe des Bildes und beeinflusst gleichermaßen die Helligkeit des Bildes, welches die Lochkamera – die keine fokussierende Linse besitzt – entweder zu unscharf oder zu lichtschwach für den Einsatz als Bewegtbildkamera sein lässt.

2.2.2 Linsenkamera

Die für Filmaufnahmen verwendeten Kameras benötigen genügend einfallendes Licht, um pro Sekunde die heute üblichen Mindestanzahl von 24 Einzelbilder pro Sekunde aufzeichnen zu können und setzen im Prinzip ebenso auf eine Camera obscura – also auf ein lichtdichtes Gehäuse – allerdings mit einer größeren Öffnung in Kombination mit Linsen(systemen), um der dadurch entstehenden Unschärfe entgegenzuarbeiten. Daraus resultiert allerdings, dass Objekte immer nur in einem bestimmten Abstand zur Kamera scharf abgebildet werden können, anders als die Lochkamera, die im Prinzip eine vollständige Schärfentiefe besitzt, allerdings bauartbedingt trotzdem



Abbildung 2.1: Veränderung des Bildwinkels durch unterschiedliche Brennweiten (Brennweiten im Kleinbild Äquivalent angegeben).

gleichmäßig unscharfe Bilder produzieren kann, wie in Abschnitt 2.2.1 beschrieben. Die Linsen einer Kamera sind meist in einem *Objektiv* genannten Bauteil zusammengefasst und je nach Bauart der Kamera oft auch abnehmbar und somit austauschbar. Innerhalb eines Objektivs gibt es meist bewegliche Bauteile, die eine Veränderung der Fokusebene ermöglichen, also das Anpassen der Entfernung in der Objekte scharf abgebildet werden. Außerdem verfügen Objektive über eine bestimmte Brennweite, die den Bildwinkel bestimmt – sozusagen das Sichtfeld, wie in Abbildung 2.1 demonstriert wird (bei manchen Objektiven kann auch die Brennweite innerhalb eines gewissen Bereiches verändert werden). Im Inneren eines Objektivs gibt es außerdem eine meist verstellbare Blende, die den Lichteinfall regelt und gleichzeitig auch die Stärke der Unschärfe im nicht fokussierten Bereich beeinflusst. Je größer die Öffnung der Blende, desto mehr Licht fällt auf das Aufnahmemedium und desto geringer die Schärfe.

2.2.3 Aufnahmemedium

Der Aspekt des Filmens, der es ermöglicht, dass ein Film letzten Endes auch vorgeführt werden kann, ist die Aufnahme. Dazu wird das durch das Objektiv in die Kamera gelangende Licht von einem speziellen Medium aufgefangen und entweder direkt gespeichert oder in einem weiteren Schritt an ein Speichermedium weitergeleitet. Am Beginn der Fotografieära wurde zum Anfertigen von Bildern Fotoemulsion als dünner Film auf ein Trägermaterial aufgetragen. Später wurde als Trägermaterial das flexible Zelluloid verwendet, womit es möglich war mehrere aneinander hängende Aufnahmen anzufertigen. Dieses Konstrukt wurde als Film bekannt und auch für die ersten Bewegtbilder verwendet und außerdem zum Namensgeber dieser Kunstform. Über Jahrzehnte hinweg blieb die Aufnahme auf Film die vorrangige Technik Bewegtbilder zu produzieren, wobei dabei das Aufnahme- und das Speichermedium ident sind. Auch wenn sich die verwendeten Materialien und Chemikalien weiterentwickelten – später waren auch Filme in Farbe möglich – so blieb es verhältnismäßig teuer damit professionell zu arbeiten, da alle Bearbeitungsschritte mit Filmmaterial erledigt werden müssen. Parallel dazu wurden jedoch elektronische Bildaufnehmer entwickelt, mit denen es

möglich war ein Bild aufzunehmen und das resultierende Signal sofort über elektronische Leitungen weiterzuleiten. Dies ermöglichte die Entwicklung des Fernsehens und mithilfe von Magnetbändern war es außerdem möglich das Bewegtbild abzuspeichern. Lange Zeit wurden diese Systeme nebeneinander weiterentwickelt. Während die meisten Fernsehproduktionen mit der sogenannten *Videotechnik* arbeiteten, wurden Spielfilme nach wie vor auf Filmmaterial gedreht. Es entwickelten sich für das Fernsehen verschiedene Standards und für den Kinofilm wiederum andere, auch wenn im Prinzip beide Systeme mit dem schnellen hintereinander Abspielen von Einzelbildern arbeiten. Die heutige Brücke dieser zwei Welten bilden Geräte, die es erlauben Filmmaterial zu digitalisieren. Dazu werden alle Einzelbilder des Filmmaterials – die sogenannten *Frames* – einzeln eingescannt und als digitale Bilder abgespeichert. Das ermöglicht eine Aufnahme in höchster Qualität (auf Filmmaterial) und erlaubt nach der Digitalisierung die Nachbearbeitung mit den unkomplizierteren Methoden der Computersoftware (siehe [2, S. 22f], [12, S. 252f]). In den letzten Jahren wurden auch digitale Kameras entwickelt, die an die Qualität von analogem Film heranreichen. Die Bildsensoren erreichen Größen und Auflösungen, die dem entsprechen, was man erhält, wenn Film digitalisiert wird. Man erspart sich allerdings schon bei den Dreharbeiten das umständliche und teure Hantieren mit Film als Aufzeichnungsmedium, was selbst viele große Produktionen dazu veranlasst auf Film als Aufzeichnungsmedium zu verzichten, wie in [17] beschrieben wird. So sagt beispielsweise auch George Lucas (siehe [6, S. 7]):

I think I can safely say that I will probably never shoot another film on film.

2.3 Modell zur Kategorisierung von bildverändernden Effekten

Es wurden bisher die unterschiedlichen Komponenten des Systems *Film* erläutert, um nun eine möglichst genaue Einteilung der unterschiedlichen Effekte, die die Eigenschaften des Bewegtbildes beeinflussen können, zu gewährleisten.

Voraussetzung für die Aufnahme von Bewegtbildern ist Licht. Es wird von selbst leuchtenden Objekten ausgestrahlt, wie beispielsweise der Sonne und fällt entweder direkt auf das Aufnahmemedium oder wird beispielsweise von Objekten reflektiert und verursacht so ein Abbild dieser Objekte in der Kamera. Eine ideale Kamera vorausgesetzt (siehe dazu Abschnitt 2.1), wird das abgebildete Licht nur von den folgenden Effekten der ersten Kategorie beeinflusst.

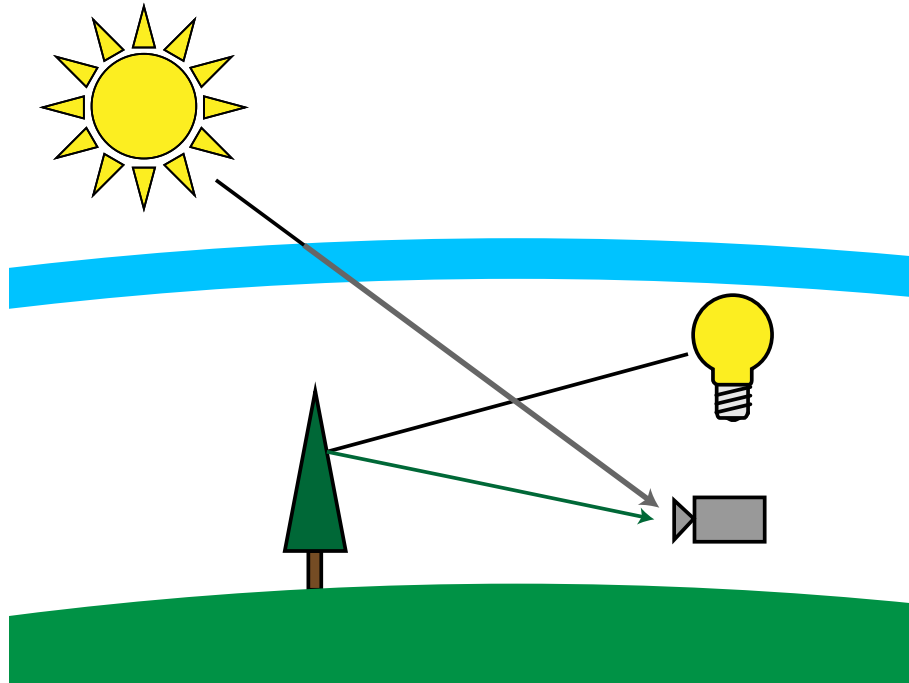


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung von Lichtstrahlen.

2.3.1 Effekte der Kategorie I: vor der Kamera

Die Effekte dieser Kategorie sind nicht vom Betrachter per se abhängig, nur von dessen Position. Zur Verbildlichung soll ein bestimmter Standpunkt angenommen werden. Dort treffen bestimmte Lichtwellen ein und werden von der in Abschnitt 2.1 beschriebenen idealen Kamera aufgenommen. Das Licht durchquert also den Raum von der Lichtquelle bis zur Kamera und wird dort aufgenommen. Ist der durchquerte Raum ein Vakuum, so sieht man auf dem Bild ein Abbild des Licht ausstrahlenden Objektes mit seinen für das menschliche visuelle System sichtbaren Eigenschaften der Farbe und der Helligkeit. In den meisten Fällen (zumindest im filmischen Maßstab), wird das Licht allerdings nicht (nur) direkt in die Kamera gelangen, sondern wird zuvor auf verschiedene Stoffe treffen. Dies können Festkörper sein oder Flüssigkeiten oder auch Gase (siehe Abbildung 2.2). Als filmisches Motiv werden Gase zwar nur selten als solches absichtlich gefilmt, allerdings sind sie in Form von Luft immer im Bild zu „sehen“ (Science Fiction Filme, die im luftleeren Weltraum spielen, bilden hier möglicherweise eine Ausnahme). Auf seiner Reise zur Kamera wird das Licht mit diesen Stoffen wechselwirken (siehe [31], [36] und [7, Kap. 2 und 3]).

Objekte können dabei das Licht grundlegend

- reflektieren
- absorbieren
- refraktieren (brechen)
- oder streuen.

Die Physik kennt neben den obenstehenden noch weitere Effekte der Wechselwirkung zwischen Materie und Licht, diese sind für die (Bewegt-)Bilddaufnahme aber weitestgehend nicht relevant.

Die ideale Kamera zeichnet also ein exaktes zweidimensionales Abbild der Elemente auf, die Licht in die Kamera werfen.

2.3.2 Effekte der Kategorie II: in der Kamera

Da eine ideale Kamera nicht existiert, wird das in die Kamera fallende Licht von dieser noch weiter beeinflusst. Diese Effekte fallen in die Kategorie II.

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, handelt es sich bei Filmkameras um Linsenkameras mit einem Objektiv. Das Objektiv wird benötigt, um ein möglichst lichtstarkes Bild zu generieren, beeinflusst aber das Bild auf die folgenden Weisen.

Schärfentiefe

Laut [7, Kap. 5] bildet ein Objektiv rein theoretisch nur Objekte in einer ganz bestimmten Entfernung scharf auf dem Aufnahmemedium ab. Je weiter sich ein Objekt von dieser Schärfebene entfernt, desto unschärfer wird es abgebildet. Ein Punkt wird dabei zu einer Scheibe, die der Form der Öffnung der Blende entspricht. Je größer die Blende desto größer dieser *Zerstreuungskreis*. Durch das begrenzte Auflösungsvermögen des menschlichen Sehsinns, gibt es allerdings einen berechenbaren Toleranzbereich vor und hinter der Schärfebene, bei der das Auge einen kleinen Kreis immer noch als Punkt zu sehen scheint, was jedem Objektiv praktisch einen bestimmten *Schärfbereich* gibt – anstatt nur eine bestimmte Schärfedistanz. Die Größe dieses Bereiches ist abhängig von der Brennweite, der Blendenöffnung, der Entfernung zur fokussierten Ebene und der maximal tolerierbaren Größe des Zerstreuungskreises, die wiederum von der Größe der Bildebene abhängig ist – also wie groß der Film oder der Sensor der Kamera ist. Liegt der abzubildende Punkt in der Schärfebene, so fällt das von dem Punkt ausgehende Licht in die Linse und wird dort zu einem Lichtkegel fokussiert dessen Spitze genau auf der Bildebene liegt und somit einen Punkt abbildet. Liegt der Punkt nicht in der Schärfebene so ist der Zerstreuungskreis die Schnittfläche des Lichtkegels mit der Bildebene, wie in Abbildung 2.3 dargestellt.

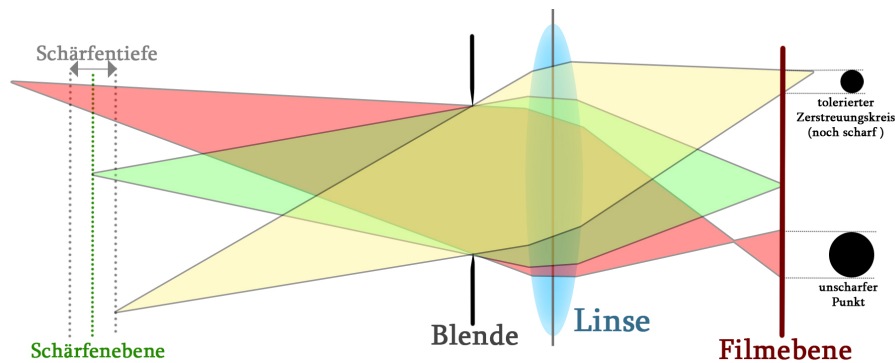


Abbildung 2.3: Schematische Darstellung zur Schärfentiefe. Abbildung der Grafik von [35] nachempfunden.

Brennweite

Neben der Verwendung eines Objektivs zur Optimierung der Lichtstärke, können durch verschiedene Linsen und Bauweisen Objektive mit verschiedenen Brennweiten konstruiert werden. Mit der Brennweite kann der Bildwinkel, also der zu filmende Ausschnitt, verändert werden (siehe [7, Kap. 1]). Mit höheren Brennweiten, wird nicht nur der Bildausschnitt kleiner, Objekte darin werden auch vergrößert, alles wirkt näher. Dies hat eine empfundene Verdichtung der Szenerie und des Motivs zur Folge, wie in Abbildung 2.1 zu sehen. Objektive mit Brennweiten, die einer Abbildung mit kleinerem Bildausschnitt als dem des menschlichen Auge entsprechen, werden als *Telex* bezeichnet. Ist der resultierende Bildausschnitt größer als der des Auges, so bezeichnet man ein Objektiv als *Weitwinkelobjektiv*. Diese Objektive führen dazu, dass Objekte auf dem Abbild relativ weniger Platz einnehmen, als mit freiem Auge sichtbar. Sie führen also zu einer Vergrößerung des Ausschnittes, aber zu einer Verkleinerung der Objekte (siehe dazu auch Abbildung 2.1).

Lens Flare

Zu Deutsch: Blendenfleck oder Linsenreflexion.

Bei einer Aufnahme mit Gegenlicht oder einer Lichtquelle knapp außerhalb des Bildbereichs kann es innerhalb des Linsensystems eines Objektivs zu Reflexionen und Streuungen kommen (siehe [2, S. 200f]). Diese manifestieren sich zu sichtbaren Artefakten, wie in Abbildung 2.4 zu sehen. Diese Artefakte sind meist rund oder sternförmig oder nehmen die Form der Blende an (zum Beispiel sechseckig). Manchmal tritt Streulicht auch als heller Schleier über Teilen des Bildes auf, was vor allem mit Streulichtblenden, beziehungsweise beim Film mit einem *Kompendium* (englisch *Matte Box*) zu



Abbildung 2.4: Lensflares, Bild von [34].

vermeiden versucht wird.

Verzeichnung

Definition laut [37]:

Die Verzeichnung oder optische Verzerrung ist ein geometrischer Abbildungsfehler optischer Systeme, der zu einer lokalen Veränderung des Abbildungsmaßstabes führt. Die Maßstabsänderung beruht auf einer Änderung der Vergrößerung mit zunehmendem Abstand des Bildpunktes von der optischen Achse.

Am offensichtlichsten ist dieser Effekt bei der Verwendung von Objektiven mit extrem kleiner Brennweite, also Superweitwinkel- oder sogenannten *Fish Eye*-Objektiven. Dabei werden – wie in der Abbildung 2.5 zu sehen – Objekte in der Bildmitte stärker vergrößert als am Bildrand (siehe auch [7, Kap. 1]). Verzeichnung kann auch gegenteilig wirken und unter bestimmten Umständen durch Verwendung bestimmter Linsen oder Glassorten korrigiert werden, kann aber auch einen erwünschten Effekt bewirken und daher bewusst toleriert werden (wie in [4, S. 353] beschrieben).



Abbildung 2.5: Starke Verzeichnung eines Fish Eye-Objektivs. Bildquelle: [27].

Sonstige Abbildungsfehler

Auch wenn die Konstrukteure von Linsen und Objektiven immer bestrebt sind möglichst perfekte Produkte zu fabrizieren, so ist dies nicht immer möglich, besonders wenn das Endprodukt für eine bestimmte Zielgruppe leistungsfähig bleiben muss. Es gibt daher verschiedene Abbildungsfehler, die in ihrem Einfluss mit höherem Fertigungsaufwand verringert werden können und deswegen von Objektiv zu Objektiv stärker oder schwächer sichtbar sein können. Neben verschiedenen *monochromatischen* Abbildungsfehlern, die sich negativ auf die Schärfe des Bildes auswirken (*Sphärische Aberration*, *Astigmatismus*, *Koma*; siehe [7, Kap. 2]), sind vor allem die *chromatischen Aberrationen* auffällig, da sie farbliche Veränderungen bewirken, die für das menschliche Auge irritierend sind. Sie werden durch *Dispersion* verursacht, einem Phänomen, das beschreibt, dass Licht je nach Wellenlänge unterschiedlich gebrochen wird. Dies kann zum Beispiel bei einem Prisma beobachtet werden, das hindurchfallendes Sonnenlicht in das gesamte enthaltene Spektrum „aufächert“. In der fotografischen oder filmischen Abbildung werden chromatische Aberrationen meistens als grünliche oder violette Ränder oder Schleier sichtbar, wie in Abbildung 2.6 gezeigt.

Vignettierung und Randlichtabfall

Durch verschiedene Ursachen kann es bei der Abbildung zu einer Verdunkelung zum Rand hin kommen, wie [38] beschreibt. Dieser Effekt in Kombi-



Abbildung 2.6: Violette und grüne Farbeffekte, durch chromatische Abberation.

nation mit einer Unschärfe zum Rand hin, wird gelegentlich absichtlich auf Bildmaterial angewandt, um einen „natürlicheren“ Eindruck zu erwecken.

2.3.3 Effekte der Kategorie III: bei der Aufzeichnung

Hat das Licht seinen Weg von der Lichtquelle bis zur Kamera überwunden und ist durch das Objektiv in das Innere der Kamera gelangt, so muss es dort aufgefangen und gespeichert werden. Dieser Prozess stellt einen entscheidenden Schritt dar, der mit heutigen technischen Mitteln zu den folgenden Effekten der Kategorie III führt.

Verlust von Information

Die möglicherweise entscheidendste Veränderung ist die Reduktion der Information im Sinne der Bildinhalte. Eine Kamera kann mithilfe der Blendenöffnung die Menge des einfallenden Lichtes verändern (siehe Abschnitt 2.2.2). Damit ist es möglich die Bildebene in der Kamera mit so viel Licht zu versorgen, dass das Aufnahmemedium Bilder aufzeichnen kann, die so hell oder so dunkel sind, wie der Filmemacher dies wünscht. Je nach Empfindlichkeit des Mediums können größere oder geringere Dynamikbereiche abgebildet werden, doch ist es nach heutigem Stand der Technik nicht einmal annähernd möglich alle auf der Erde vorkommenden Helligkeitsbereiche gleichzeitig in einem Bild abzubilden (siehe [17, S. 205f]). Natürlich ist es möglich beispielsweise eine schwarze Kugel in einer Salzwüste mit Gegenlicht der Sonne zu

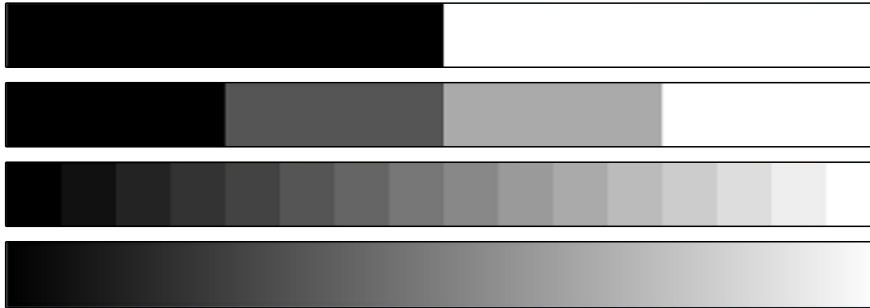


Abbildung 2.7: Grauverläufe mit unterschiedlicher Anzahl an Abstufungen (2, 4, 16 und 256).

filmen, doch ist es nicht möglich dabei die Kugel *und* die Sonne so abzubilden, dass ihre Form und Oberfläche erkennbar bleibt. Man muss sich also bei der Einstellung und Auswahl von Objektiv und Aufnahmemedium sozusagen dafür entscheiden, welchen Ausschnitt aus dem Helligkeitsspektrum der Umwelt man zu filmen wünscht. Ein weiteres Beispiel für den Informationsverlust bei der Aufnahme bildet das Drehen auf Schwarz-Weiß-Film: Es wird keine Information zur Wellenlänge aufgezeichnet, lediglich die Helligkeitsinformation. Gleichermäßen speichert ein Farbfilm auch keine Informationen über Licht außerhalb des für den Menschen sichtbaren Spektrums, obwohl dieses – sofern keine speziellen Filter vor oder im Objektiv verbaut sind – in die Kamera gelangt.

Neben der Reduktion des Dynamikumfangs, wird bei der Digitalisierung auch ein wertkontinuierliches „Signal“ in ein wertdiskretes umgewandelt – die Zeitdiskretisierung geschieht durch die Aufnahme von Einzelbildern, bei herkömmlichen Filmkameras ebenso wie bei digitalen (siehe [17, S. 33f]). Auch wenn dieser Vorgang zu diesem Zeitpunkt in der Produktionskette nur bei digitalen Kameras geschieht, so folgt er bei Filmkameras, wie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben, in einem späteren Schritt mit ähnlichen Prinzipien. Das heißt, dass die unendlich vielen verschiedenen möglichen Farb- und Helligkeitsabstufungen auf eine bestimmte, endliche Anzahl fester Werte reduziert werden. Dabei wird zum Beispiel ein Schwarz-Weiß-Verlauf in eine feste Anzahl von Grauabstufungen unterteilt, wie in Abbildung 2.7 gezeigt. Bei zwei möglichen Abstufungen wäre dies die Unterteilung in Schwarz und Weiß; bei vier möglichen Abstufungen in Schwarz, Dunkelgrau, Hellgrau und Weiß. Dies kann bis zur gewünschten Unterteilung fortgesetzt werden und geschieht in der Regel jeweils für jeden der Farbtöne Rot, Grün und Blau. Bei herkömmlichen Kameras im nicht-professionellen Bereich sind 256 mögliche Abstufungen pro Farbkanal (8 Bit) üblich. Das erlaubt die Speicherung von immerhin 16.777.216 Farben ($256 \cdot 256 \cdot 256$). Bei professionellen digitalen



Abbildung 2.8: Standbild aus [24] mit Motion Blur, verursacht von der Bewegung der Schauspieler und der Kamera.

Kameras (beispielsweise Arri Alexa, siehe [28]) und bei der Digitalisierung von Filmmaterial wird zum Teil in höheren *Bit-* beziehungsweise *Farbtiefen* gespeichert (siehe [17, S. 209] und [15, S. 682ff]).

Motion Blur

Je nach Empfindlichkeit des Mediums wird eine bestimmte Zeit benötigt, um eine ausreichende Belichtung des Motivs auf dem Aufnahmemedium zu gewährleisten. In dieser Zeit können sich die Objekte im Bild oder die Kamera selbst bewegen. Das hat zur Folge, dass im Bild Bewegungsunschärfe auftritt – in VFX-Kreisen meist englisch als *Motion Blur* bezeichnet. Zur besseren Verdeutlichung, sei das folgende Szenario erläutert: Filmt man einen nach unten fallenden Ball mit einer bestimmten Verschlusszeit, so legt er während das Bild belichtet wird eine gewisse Distanz zurück. Auf dem Bild ist also zu sehen, wie er zuerst in der oberen Hälfte des Bildes ist und dann nach unten fällt, man erkennt die Distanz, die er in der Zeit zurück gelegt hat in der das Bild belichtet wurde. In der Fotografie sind Fotos „verwackelt“, wenn die Bewegung der Kamera bei der Belichtung so groß war, dass sie sich in sichtbarem Motion Blur auswirkt. Während in der Fotografie ein Bild durch Bewegungsunschärfe unbrauchbar werden kann, ist er im Bewegtbild fast immer unauffällig vorhanden. Betrachtet man ein einzelnes Standbild eines Filmes, in dem Bewegung ist, kann man den Effekt gut sehen, wie beispielsweise in Abbildung 2.8. Beim Abspielen mit der richtigen Geschwindigkeit (beim Film zum Beispiel 24 Frames pro Sekunde) ist er hingegen nur in Extremfällen zu bemerken – im Gegenteil: fehlender Motion Blur bei Bewegung wird dem Betrachter unbewusst auffallen, wie [9, S. 134] beschreibt.

Wie erwähnt ist der Motion Blur von der Länge der Belichtung pro Frame abhängig und natürlich von der Geschwindigkeit der Bewegungen, die abgebildet werden.

Grain oder Noise

Wie das Auge, benötigt auch das Filmmaterial beziehungsweise der Filmsensor eine bestimmte Lichtmenge um zu „sehen“, also einfallendes Licht abzubilden. Es ist technisch möglich die benötigte Lichtmenge zu reduzieren, also Film oder Sensor lichtempfindlicher zu machen (siehe [17, S. 206f] und [2, S. 211ff]). Das geht in der Regel allerdings auf Kosten der Bildqualität. Ein empfindlicheres Filmmaterial wird allgemein *grobkörniger* sein als ein vergleichbares Material mit geringerer Lichtempfindlichkeit. Das sichtbar werdende *Filmkorn* wird meist mit dem englischen Begriff *Grain* bezeichnet und wird gelegentlich auch bewusst als Stilmittel eingesetzt (siehe [20, Kap. 7.5]).

Ähnlich verhält sich auch ein elektronischer oder digitaler Filmsensor, wie in [17, S. 206f] beschrieben: Je mehr das Signal verstärkt werden muss, um eine korrekte Belichtung zu gewährleisten, desto stärker treten bauartbedingte Rauscheffekte auf, die meist mit der englischen Übersetzung *Noise* genannt werden.

Rolling Shutter

Zu einem besonderen und meist unerwünschten Effekt kommt es, wenn ein Frame, bauartbedingt, nicht auf einmal im Ganzen belichtet wird, sondern nach und nach von oben nach unten, beziehungsweise von links nach rechts – oder natürlich auch in die jeweilige Gegenrichtung (siehe [8]). Auch wenn der Effekt nicht neu ist, so hat er in letzter Zeit durch die Verwendung von Zeilenweise arbeitenden CMOS-Chips als Sensor in digitalen Kameras wieder Einzug gehalten. Der Effekt tritt bei schnellen Bewegungen auf, bei der sich die Kamera oder ein Objekt so schnell bewegen, dass sich die Bildinhalte während der Aufzeichnung ändern. Dabei wird nicht, wie beim Motion Blur, die gesamte stattfindende Bewegung aufgezeichnet, sondern die Bewegung sozusagen über die Höhe oder die Breite eines Bildes „verteilt“, wie in Abbildung 2.9. Dieser Effekt tritt nur quer zur Aufzeichnungsreihenfolge auf, also bei Bewegungen in der Horizontalen, wenn das Bild von oben nach unten ausgelesen wird und vice versa.

Sonstige Artefakte

Neben den oben gelisteten und den physischen Artefakten (Staub oder Dreck im Gehäuse), kommt es vor allem bei digitalen Aufzeichnungsmethoden zu verschiedenen speziellen, die Aufzeichnungsqualität verschlechternden Artefakten. Diese Artefakte, wie *Blooming* oder *Smear*, sollten aber in der Regel nicht in einer zur Filmproduktion verwendeten Kamera auftreten.



Abbildung 2.9: Ein durch den *Rolling Shutter-Effekt* verzerrtes Bild. Bildquelle: [8].

2.3.4 Effekte der Kategorie IV: nach der Aufzeichnung

Alle Effekte die nach der Aufnahme des Bewegtbildes wirken, fallen unter die Kategorie IV.

Schlechte Handhabung und verlustbehaftete Speicherung

Ist das Bild aufgenommen worden, ist es im Falle einer Aufzeichnung auf Filmmaterial bereits gespeichert. Bei elektronischen oder digitalen Sensoren muss das Bild in einem zusätzlichen Schritt noch gespeichert werden.

Bei einer professionellen Produktion wird in der Regel darauf geachtet, die aufgenommenen Bilder vor der Nachbearbeitung so wenig wie möglich zu verändern. Das heißt, dass im Falle von Filmmaterial möglichst behutsam mit den belichteten Filmrollen hantiert wird. Bei Produktionen mit digitalen Kameras wird unter Inkaufnahme von erhöhtem Speicherbedarf versucht das Bild ohne verlustbehaftete Komprimierung zu speichern. Nicht alle Kameras unterstützen dies und komprimieren die gewonnen Daten zum Teil verlustbehaftet .

Kreative Bearbeitung

Während der Nachbearbeitung können weitere Effekte auf die entstandenen Bewegtbilder angewandt werden. Dies geschieht heutzutage in der Regel digital, aber auch chemische oder optische Prozesse zur Bearbeitung des Filmmaterials sind möglich (siehe [12, Kap. 5-8]).

Diesen Bereich eindeutig zu definieren ist schwer, als Beispiel sei hier die heute durchaus übliche Methode des *Color Grading*s genannt. Auch eine Konvertierung in einen Schwarz-Weiß-Film ist an dieser Stelle noch möglich, ebenso das Beschneiden oder Verändern des Bildausschnittes.

Kapitel 3

Praxisbezogene Analyse

Die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Kategorien bilden ein theoretisches Konstrukt zur besseren Trennung der verschiedenen Effekte, die auf das Licht – und somit auf das in der Kamera aufgezeichnete Bild – wirken. Da das Medium Film aber immer vom Betrachter abhängig ist, soll in diesem Kapitel besonders auf Eigenschaften von Bewegtbildern und in weiterer Folge Visual Effects eingegangen werden, die mit der menschlichen Wahrnehmung in Zusammenhang stehen. Wenngleich diese Effekte auch mit Physik erklärbar sind, so soll dieses Kapitel vor allem von der Wahrnehmung eben dieser durch den Betrachter handeln.

Nach den physikalischen, sollen nun außerdem abstraktere, ästhetische Qualitäten behandelt werden. Es geht also, etwas vereinfacht ausgedrückt, um Eigenschaften, die dem Betrachter unbewusst Realismus vermitteln. Dieses Wissen ist für Visual Effects-Artists von großer Bedeutung, da es letzten Endes vor Allem darauf ankommt, einen glaubwürdigen *Look* für das Gesamtbild anzustreben. Das ist das Ziel eines Artists, der einen VFX-Shot anfertigt. Die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Kategorien, sind dafür durchaus ein wichtiger Grundstock, um ein Bild zu analysieren – wie der Artist allerdings zu einem fertigen Gesamtbild kommt, unterliegt nicht den physikalischen Gesetzmäßigkeiten, sondern den kreativen Problemlösungsstrategien des Artists.

Dieses Kapitel soll also dazu dienen eine Brücke von der Theorie des Kapitels 2 zu den praktischen Aspekten, die in Kapitel 4 behandelt werden, zu schlagen.

3.1 Das menschliche visuelle System

Es sei einleitend erwähnt, dass sich diese Arbeit ausschließlich mit dem herkömmlichen, *monoskopischen* Film beschäftigt. Die Möglichkeiten durch *stereoskopische* Aufnahmeverfahren und die Wirkung *stereoskopischer* Wiedergabe – dem heutigen Kinobesucher fälschlicherweise oft als *3D-Kino* ge-

läufig – bieten ein zu großes, eigenständiges Feld, um es im Zuge dieser Arbeit zu behandeln.

Die Augen des Menschen bilden zusammen mit einigen Teilen des Nervensystems das visuelle System. Es ermöglicht dem Mensch ins Auge fallende Lichtwellen zu interpretieren und daraus Rückschlüsse auf seine Umwelt zu ziehen. Licht mit einer Wellenlänge zwischen circa 400 bis 700 nm kann vom Menschen wahrgenommen werden (siehe [10, S. 48ff]) und wird als *sichtbares* Licht bezeichnet. Das menschliche Auge verfügt wie eine Kamera über eine Linse, die es ermöglicht auf bestimmte Entfernungen zu fokussieren, außerdem über die Pupille, ähnliche einer Blende, die den Lichteinfall regelt. Alles Licht, das ins Auge gelangt, fällt auf die Netzhaut – sozusagen dem Sensor – wo es in Nervenimpulse umgewandelt wird und somit verarbeitet werden kann. Besonders scharf sieht der Mensch dabei nur in der Sehgrube (oder *Fovea centralis*), was bewirkt, dass eigentlich nur in einem relativ kleinen Bereich des Sichtfeldes scharf gesehen werden kann (siehe [10, S. 48-57]).

Das visuelle System eines gesunden Menschen verfügt über zwei Augen, was ihm in seiner Umwelt Vorteile, zum Beispiel durch räumliches Sehen, verschafft. [10, Kap. 6] beschreibt, dass das Gehirn dabei die Bilder der beiden Augen zusammenrechnet und so dem Menschen aufgrund der leichten seitlichen Unterschiede ermöglicht zu bestimmen, wie weit Objekte vom Betrachter entfernt sind. Weiters kann das Gehirn mittels lebenslanger Erfahrungen diese Einschätzung außerdem dadurch verbessern, indem es Rückschlüsse aus der *Konvergenz* (wie stark die Augen nach innen gedreht sind) und der *Akkommodation* (wie stark die Muskeln die Linse des Auges krümmen) zieht. Die Möglichkeit durch diese Mittel einen Raumeindruck zu gewinnen fallen natürlich beim klassischen Film weg, da die Augen beim Betrachten eines Filmes immer nur die zweidimensionale Projektion einer Szenerie zu sehen bekommen. Ein Betrachter kann zwar einschätzen, wie weit die Leinwand oder der Bildschirm von ihm entfernt ist, doch um die Objekte im Filmraum räumlich einordnen zu können, muss er sich ganz allein auf visuelle Erfahrungen verlassen und sich von anderen Hinweisen leiten lassen, wie in Abschnitt 3.1.1 noch näher beschrieben wird.

Die für den Film vielleicht grundlegendsten Eigenschaften des visuellen Systems sind seine Interpretationsfähigkeit und auch seine relative Trägheit. Das Gehirn versucht zum Beispiel zwei kurz nacheinander aufblinkende Lämpchen als Bewegung zu interpretieren, als wäre das Licht kurz zu sehen gewesen, hätte sich dann verdeckt von der ersten Lampe wegbewegt und wäre an der Position der zweiten Lampe wieder sichtbar geworden ([10, S. 260]). Weiters beschreibt [10] die Wirkung von stroboskopischer Bewegung, die unter bestimmten Voraussetzungen, dank des *Phi-Effektes*, zu einer empfundenen kontinuierlichen Bewegung führt. Der Mensch kann in der Regel Einzelbilder ab einer Abspielfrequenz von etwa 16 Hertz (also 16 Bildern pro Sekunde) nicht mehr voneinander unterscheiden und nimmt bestimmte Unterschiede in den Einzelbildern als Bewegung wahr. [21] schreibt dazu:

Erscheinungen, die auf Nachbildwirkung beruhen, haben mit der Kinematographie im Grunde nichts zu tun. Nur stroboskopische Erscheinungen – allerdings in Verbindung mit der Nachbildwirkung – dürfen als unmittelbare Vorläufer des Films angesprochen werden

Der klassische Film arbeitet mit den dafür ausreichenden 24 Frames pro Sekunde. Eine Kamera nimmt also in der Regel 24 mal in der Sekunde ein Einzelbild auf, im Kino werden dem Betrachter wiederum 24 Einzelbilder pro Sekunde präsentiert.

3.1.1 Räumlichkeit und die menschliche Interpretation

Durchläuft das Licht alle Effekte der Kategorie I, also die Effekte *vor der Kamera* und landet daraufhin in einer Kamera (ideal oder eine tatsächliche ist hier nicht relevant), so erhält man ein zweidimensionales Abbild der von der Kamera eingefangenen Elemente. Dieses Bild ist formal jeglicher Tiefe beraubt, es besteht nur aus zweidimensionalen Informationen. Durch die Interpretationswerkzeuge des menschlichen Verstandes, die sich im Laufe eines Lebens entwickeln, können jedoch selbst aus diesen Bildern noch Rückschlüsse auf räumliche Zusammenhänge gezogen werden. Die dafür verantwortlichen Hinweise im Bild können alle mit den in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Effekten und durch Geometrie erklärt werden, sollen aber aufgrund ihrer Relevanz für den Menschen als eigenständige Liste geführt werden. Die Liste bezieht sich dabei auf [33] und [10].

Hinweise zur Räumlichkeit im monoskopischen Einzelbild, Beispiele siehe Abbildung 3.1 :

Verdeckung: Objekte, die andere Objekte verdecken, befinden sich näher an der Kamera.

Größe: Wenn zwei Objekte als gleich groß angenommen werden können, so wird das Objekt, welches mehr Platz auf der Abbildung einnimmt als näher empfunden.

Luftperspektive: Je weiter weg ein Objekt von der Kamera ist, desto bläulicher, heller, entsättigter und unschärfer wird es auf dem Bild zu sehen sein. Dieser Effekt wird durch die namensgebende Luft verursacht, die neben den Luftmolekülen auch Wasserdampf und Schwebeteilchen enthält. In anderen Umgebungen, zum Beispiel Wasser, wird dieser Effekt in abweichenden Formen auftreten. Die Luftperspektive kann als spezielle Form der Verdeckung gesehen werden, da die Luft und die darin enthaltenen Partikel die Objekte mehr oder weniger verdecken, je näher sich diese an der Kamera befinden.

Schatten/Schattierung: Die Entfernung eines Objektes zu seinem Schatten lässt Schlüsse auf dessen räumliche Position zu. Der Mensch, der an

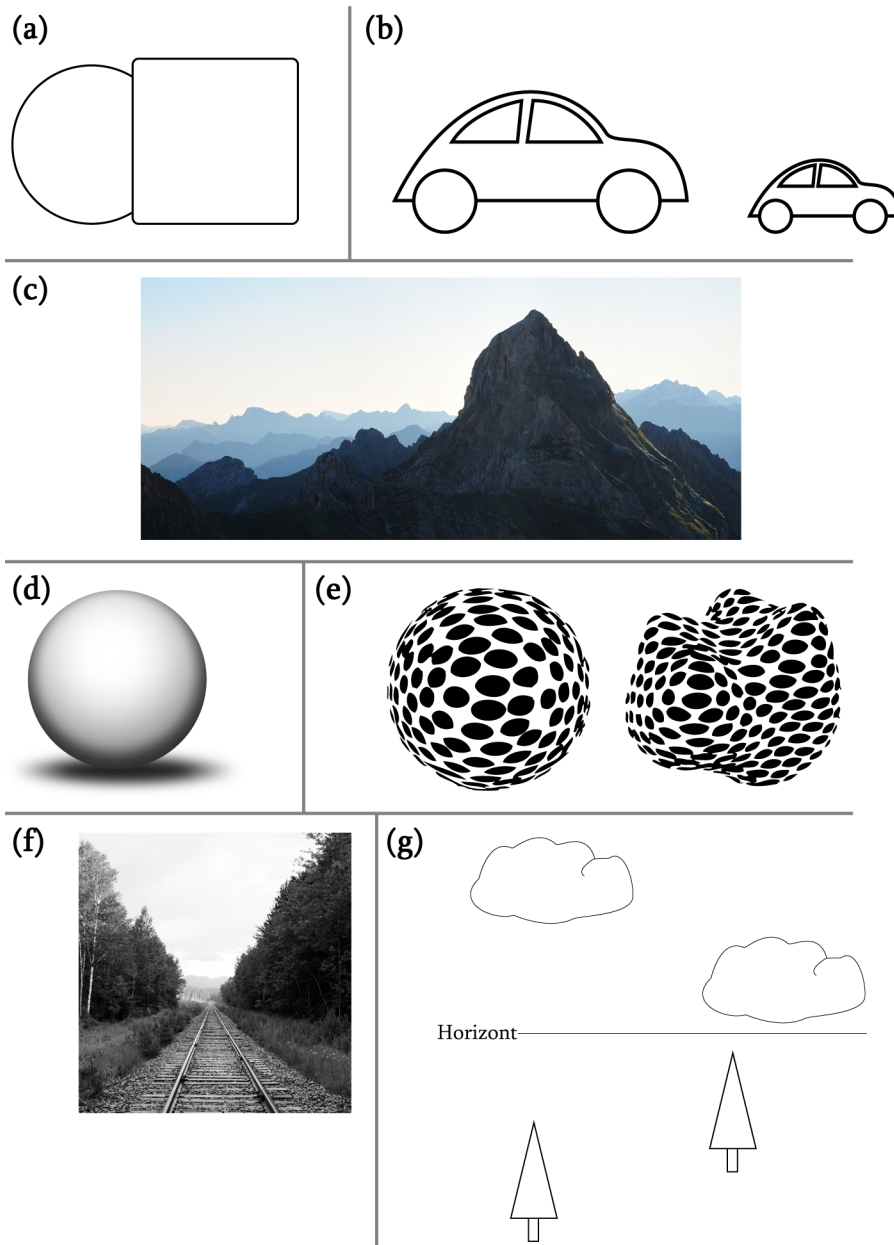


Abbildung 3.1: Hinweise zur Räumlichkeit im monoskopischen Einzelbild: (a) Verdeckung; (b) Größe; (c) Luftperspektive, Bildquelle: [29]; (d) Schatten/Schattierung; (e) Textur, vektorisierte Grafik von [26]; (f) Linearperspektive, Bildquelle: [32], (g) relative Höhe.

Licht von oben (zum Beispiel die Sonne) gewohnt ist, entscheidet dabei im zweidimensionalen Raum meist aufgrund des Abstandes in der Vertikalen und erwartet den Schatten unter dem Objekt, das diesen wirft. Außerdem kann die Schattierung eines Objektes Hinweise über die Form und so auch über die räumliche Lage oder Ausrichtung geben (sieht man beispielsweise eine flache Scheibe die einem zugewandt ist oder doch eine Kugel?).

Textur: Eine Oberflächenstruktur oder ein Muster verdichtet oder verzerrt sich für den Betrachter, je nach Topologie der Oberfläche.

Linearperspektive: Nähern sich auf einer Abbildung zwei Linien einander an, von denen man weiß, dass sie im dreidimensionalen Raum eigentlich parallel verlaufen, so kann man daraus auf Räumlichkeit schließen. Als Beispiel sei hier das Bild einer Eisenbahnstrecke genannt, die in Richtung Horizont verläuft. Auch wenn die beiden Schienen im Raum parallel verlaufen, so wirkte es auf den Betrachter, als würden sie sich am Horizont treffen.

Relative Höhe: Der Mensch tendiert dazu, Objekte, die näher am Horizont liegen als weiter entfernt zu empfinden.

Bei der Betrachtung von *Bewegtbildern* ergeben sich nach [33] und [10] potentiell noch weitere Möglichkeiten räumliche Informationen zu extrapolieren.

Hinweise zur Räumlichkeit im monoskopischen Bewegtbild:

Bewegungsparallaxe: Bewegt sich die Kamera im Raum – beispielsweise seitlich – so wird die resultierende horizontale Bewegung von Objekten, die sich näher an der Kamera befinden, im zweidimensionalen Bewegtbild größer sein, als Objekte im Hintergrund. Zur Besseren Verdeutlichung, stelle man sich vor, man fährt mit dem Zug durch einen lichten Wald. Die Bäume direkt neben den Gleisen werden das Blickfeld in wenigen Augenblicken durchqueren. Je weiter die Bäume jedoch von den Gleisen entfernt sind, desto länger werden diese im Blickfeld des Betrachters bleiben.

Bewegte Perspektive: Ähnlich der Bewegungsparallaxe kann der Mensch aus der Änderung der Perspektive durch Bewegung in den Raum hinein Räumlichkeit erkennen. Bewegt man sich direkt auf einen Fixpunkt im Raum zu, so wird ein danebenliegender Punkt immer weiter zum Bildrand wandern. Dieser Effekt ist eng mit der Bewegungsparallaxe verbunden, wird hier aber gesondert gelistet, da Letztere relativ häufig zur Vortäuschung von Dreidimensionalität verwendet wird, beispielsweise in Videospielen.

Kinetische Tiefenwirkung: Dreht oder bewegt sich nicht die Kamera sondern ein Objekt im Raum, so kann daraus ebenso Information das Objekt betreffend entnommen werden. Man stelle sich an dieser Stelle



Abbildung 3.2: Standbild aus Georges Méliès Film *L'homme à la tête de caoutchouc* (1902), Bildquelle: [22].

beispielsweise eine kreisförmige Fläche vor, die sich dreht, im Gegensatz zu einer sich drehenden Kugel.

3.2 Einführung in Visual Effects-Praktiken

Eine der ältesten Techniken des Trickfilms ist die Doppel- beziehungsweise Mehrfachbelichtung (siehe [14, S. 12–15]). Dabei wurde beim Filmen ein Teil der Kamera so abgeklebt, dass nur ein bestimmter Bereich des Filmes belichtet wurde. Im zweiten Schritt wurde der eben belichtete Teil abgeklebt und nun der noch unbelichtete Teil des Filmes belichtet. So konnten zwei zu unterschiedlichen Zeiten gefilmte Aufnahmen auf einem Film vereint werden. Das erlaubte beispielsweise schon Georges Méliès sich selbst im selben Ausschnitt mehrmals auftreten zu lassen, siehe Abbildung 3.2. Auch später entwickelte Techniken, wie die Rückprojektion oder der Bluescreen (beziehungsweise später auch Greenscreen) dienten dazu verschiedene gefilmte Elemente zu einem einzigen zu kombinieren (beschrieben in [14, Kap. 1]). Auch die heutige Visual Effects-Arbeit besteht zu großen Teilen daraus Elemente verschiedener Herkunft miteinander zu vereinen. Diese Elemente können zwei beliebige Filmaufnahmen sein oder auch eine gefilmte Aufnahme in Kombination mit einem einzelnen Standbild. Natürlich wird vor allem auch heutzutage viel mit

CGI gearbeitet, die in gedrehtes Material eingebettet wird. Vereinfacht gesprochen besteht ein *VFX-Shot* meist aus einer gefilmten Aufnahme in die andere Elemente integriert werden. Verlangte das Zusammenführen dieser Elemente früher noch aufwändige technische, optische oder sogar chemische Verfahren (siehe [12]), so vereinfachte die Digitaltechnik diesen Vorgang ungemain. Vorausgesetzt die einzelnen Elemente wurden entweder digitalisiert oder direkt digital erstellt beziehungsweise aufgezeichnet, so können sie mithilfe von Computern und Software gänzlich unkompliziert vereint werden.

Die unterschiedlichen Elemente können aufgrund ihrer Entstehungstechnik grundlegend in die folgenden Kategorien eingeteilt werden:

Fotografische Aufnahmen werden aufgrund ihrer einfachen Herstellung gerne als Elemente in Visual Effects-Shots genutzt. Neben dem Vorhandensein von großen Bildbibliotheken, unterstützen auch die – im Vergleich zu Videos – geringe Dateigröße und die einfacheren Bearbeitungsmöglichkeiten das Arbeiten mit Fotos.

Plate Photography: Werden neben der eigentlichen gefilmten Aufnahme noch zusätzliche Bewegtbildaufnahmen von Objekten, Gebäuden, Schauspielern, Bildhintergründen oder Sonstigem gedreht, so werden diese einzelnen Aufnahmen oft *Plates* genannt. Daher werden oft Begriffe wie beispielsweise *Clean Plate* verwendet, die eine „saubere“ Aufnahme der leeren Szenerie ohne Schauspieler meint, wie in [16] erläutert. Auch zusätzliche Elemente die vor einem Greenscreen gedreht wurden, werden so oft allgemein als *Greenscreen Plates* bezeichnet.

Computer Generated Imagery: Einige Elemente eines Bildes können aus verschiedenen Gründen – zu hohe Kosten, logistisch nicht möglich oder Ähnlichem – nicht tatsächlich gefilmt werden. Diese Elemente können möglicherweise mit Hilfe von Bildsynthesetechniken erstellt werden. Da das Berechnen eines solchen Bildes mithilfe von 3D-Software rendern genannt wird, werden diese Elemente häufig auch *3D-Renderings* genannt.

Matte Painting: Eine Technik, die bereits seit der Zeit der frühen Hollywoodfilme existiert, ist das *Matte Painting*. Wie [11, Kap. 1] beschreibt, wurde früher das Set mit auf Glasscheiben gemalten Bildern erweitert, wobei die Schauspieler durch den nicht bemalten Bereich der Glasscheibe gefilmt wurden, siehe Abbildung 3.3. Heutzutage wird diese Technik durchaus noch ähnlich angewandt, allerdings in digitaler Form und das Bild wird nicht direkt vor der Kamera aufgestellt, sondern erst in der Nachbearbeitung eines Films eingefügt. Der Matte Painting-Artist kann sich dazu Bildbearbeitungs-Software bedienen und so auch Fotos oder 3D-Renderings mit „gemalten“ Bildelementen kombinieren.

Natürlich ist ein Element nicht immer eindeutig einer der oben stehenden Kategorien zuzuordnen und es werden oft zusätzliche Hilfselemente *on the fly* in der Compositing-Software erzeugt, beispielsweise *Noise* oder einfache



Abbildung 3.3: Bemalung einer Glasscheibe zur Verwendung als Matte Painting, Bildquelle: [19].

Farbflächen und -verläufe, um Nebel beziehungsweise Schatten zu generieren.

3.3 Bildsynthese

Unter Bildsynthese versteht man meist Techniken zur Berechnung von Bildern mithilfe des Computers. Die Ergebnisse sind die oben beschriebene Computer Generated Imagery beziehungsweise Renderings. Die Bildsynthese bildet ein Feld innerhalb der Computergrafik, das sich mit der Darstellung von 3D-Informationen beschäftigt. Die Möglichkeiten 3D Geometrien darzustellen reichen von stilisiert bis hyperrealistisch und beruhen auf geometrischen und zum Teil physikalischen Berechnungen (siehe [4, S. 88ff und 171ff]). Je nach Anwendungsfall werden andere Ergebnisse erwünscht, im Falle der Visual Effects benötigt man jedoch meist realistische Renderings von Objekten, Lebewesen oder physikalischen Effekten, wie beispielsweise Feuer, Rauch oder Flüssigkeiten. Das gerenderte Bild hängt dabei von von vielen Faktoren innerhalb einer sogenannten Szene ab. Zum Beispiel welche Materialitäten die einzelnen Elemente besitzen oder wo sich im virtuellen Raum die Lichtquellen befinden und wie diese beschaffen sind. Der für das Rendern einer Szene zuständige Teil der Software muss also je nach Anwendung viele der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Effekte berechnen. Dazu wurden mit der Zeit immer aufwändigere Berechnungsmethoden entwickelt. Die heute gängigen Modelle können in der Regel alle Effekte der Kategorie I darstellen, also die Berechnung eines zweidimensionalen Abbilds einer 3D-Szene vornehmen. Auch andere Effekte, wie beispielsweise Schärfentiefe und Bewe-

gungsunschärfe, können zum Teil berechnet werden. Auf einige Feinheiten soll noch im Abschnitt 4.4.2 und 4.5.3 eingegangen werden, doch beschäftigt sich diese Arbeit nicht hauptsächlich mit der Computergenerierung von Elementen, sondern mit der Verarbeitung ebendieser in Visual Effects-Shots.

3.3.1 Pass Rendering

Bevor Computer für Renderings und Compositings verwendet werden konnten, wurden bestimmte Visual Effects-Aufnahmen in mehreren Durchgängen mit einem computergesteuertem Kamerasystem gefilmt. In jedem dieser sogenannten *Passes* konnten andere Elemente platziert und verschiedenste Effekte verwendet werden. Später konnten diese einzelnen Aufnahmen zu einer einzigen Aufnahme kombiniert werden, wie [12, S. 22f] beschreibt. Eine ähnliche Methodik hat sich auch bei der Verwendung von CGI entwickelt. Durch die Eigenheiten der computerberechneten Renderings können verschiedene Elemente problemlos einzeln berechnet werden und erst später in einer Compositing-Software zusammengefügt werden. Ebenso ist es möglich einzelne Lichtquellen isoliert zu rendern, um möglichst große Flexibilität in der Entwicklung eines finalen Bildes in der Nachbearbeitung zu haben, ohne die langen Berechnungszeiten von Rendering-Software wiederholt in Kauf nehmen zu müssen.

Technische Passes

Neben der Berechnung von Bildern im herkömmlichen Sinne, können mithilfe von Rendering-Software auch spezielle, für Compositing-Arbeiten bestimmte Berechnungen erstellt werden und diese in Bilddateien abgespeichert werden. Passes sind für sich genommen, wenig relevant und werden nie direkt in einem Film zu sehen sein. Sie ermöglichen jedoch verschiedenste technische Methoden, um Effekte im Compositing zu erstellen. Die wohl meist verwendeten technischen Passes sind der *Z-Depth*-Pass und der *Velocity*-Pass. Beim *Z-Depth*-Pass wird jedem Pixel ein Wert zugeschrieben, der seiner Entfernung zur Kamera entspricht (siehe [2, S. 255ff]). Diese Werte werden in einem Graustufen Bild kodiert abgespeichert, was ein ähnliches Bild wie in Abbildung 3.4 liefert. Beim *Velocity*-Pass wird die Bewegung eines Pixels von Frame zu Frame berechnet und als Vektor kodiert in einem Bild gespeichert, was zu Ergebnissen im Stile der Abbildung 3.5 führt (siehe [15, S. 687]). Natürlich gibt es noch weitere Passes und es können je nach Anwendungsfall verschiedenste Informationen als Bild kodiert gespeichert werden, doch soll an dieser Stelle nur ein kurzer Überblick über die Möglichkeiten gegeben werden.



Abbildung 3.4: *Z-Depth-Pass*: je heller ein Pixel im Bild, desto weiter entfernt befindet er sich von der virtuellen Kamera.

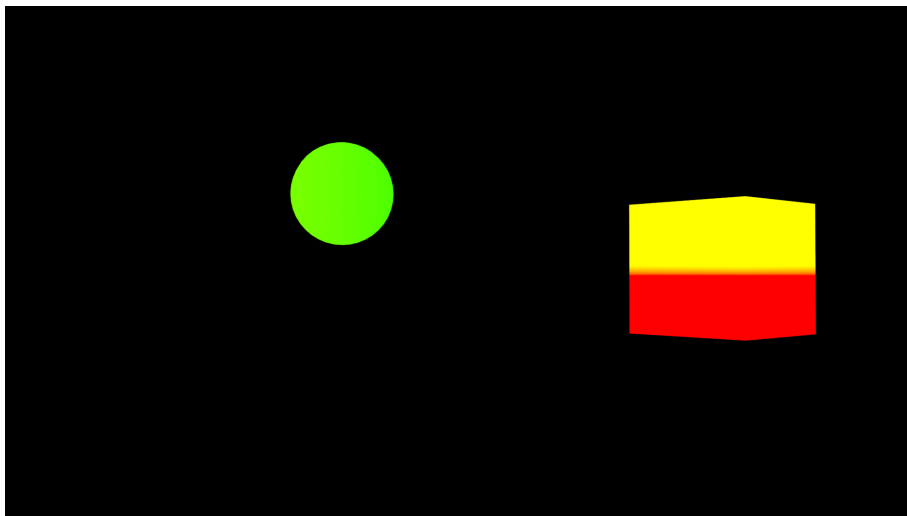


Abbildung 3.5: *Velocity-Pass*: Bewegungsvektoren werden als RGB-Werte codiert im Bild gespeichert – Die Kugel und der Würfel im Bild bewegen sich in der Animation.

3.4 Relevanz von digitalen Visual Effects

Durch die bisher beschriebenen Sachverhalte und Konstrukte, soll es nun möglich sein, die Arbeit im Bereich der Visual Effects gezielter zu betrachten. In dem in Abschnitt 2.3 beschriebenen Modell nimmt die Nachbearbeitung einer Aufnahme via Visual Effects eine Sonderrolle als Meta-Ebene ein,

bezieht sie sich doch auf alle beschriebenen Effekte der einzelnen Kategorien, um sie in der Rolle eines selbstständigen Effektes der letzten Kategorie IV (*nach der Aufzeichnung*) zu implementieren. Gewissermaßen wie bei einem Film über das Filme machen.

Visual Effects sind jedoch kein reiner Selbstzweck. Sie ermöglichen es zusätzliche Elemente in einen Film zu integrieren und diese sind meist das eigentliche Motiv hinter dem zusätzlichen Aufwand. Natürlich gibt es im Feld der VFX auch Arbeiten, um unerwünschte Bildelemente zu entfernen, also gewissermaßen Retusche zu betreiben, diese Arbeit beschäftigt sich jedoch mit den Methoden, um Bildinhalte miteinander zu verschmelzen und somit das Gesamtwerk zu erweitern. Der Grund für die investierte Arbeit liegt darin dem Zuseher Bilder zu zeigen, die es so in der Realität nicht gibt. Wie bei einem Illusionisten, soll dabei nicht erkennbar sein, wie der Trick gemacht wurde. Im besten Falle, sollte der Zuseher nicht einmal bemerken, dass er einer Täuschung aufgesessen ist. Man gibt sich also die größten Mühen, um nicht bemerkt zu werden.

Eine Schwierigkeit stellt dabei die besonders feinfühlig Wahrnehmung des Menschen von Ungewohntem dar. Der Betrachter wird so lange entspannt sein, bis etwas Unerwartetes seine Aufmerksamkeit erregt. Damit ist nicht gemeint, dass er einem riesigen Film-Monster skeptisch gegenüber stehen wird – ein Film-Monster wird immerhin in einem Monster-Film zumeist erwartet – sondern, dass er etwas als unecht empfindet, wenn es sich nicht nahtlos in das Filmbild einfügt. Wenn das Compositing nicht den Ansprüchen, die diese Arbeit beschreibt, genügt, ergibt sich möglicherweise ein Bild, das nicht kohärent erscheint und so den Betrachter, ob der Glaubhaftigkeit des Gesehenen zweifeln lässt. Natürlich wird niemand glauben, dass es das Film-Monster wirklich leibhaftig geben könnte, doch sind die Filmemacher immer von der *willing suspension of disbelief* – sozusagen der absichtlichen Ungläubigkeit – der Betrachter abhängig. Ein schlecht eingefügtes Element könnte den Zuseher aus seiner willentlichen Realitätsverweigerung werfen und ihm so das Vergnügen am Film schmälern. [4, S. 256] schreibt dazu:

Die Verteilung von Farben und Kontrasten, das Gefühl von Raumentiefe im zweidimensionalen Bild, das Spiel mit Schärfe und Unschärfe, Reflexionen, Licht und Schatten, aber auch die Konsistenz von Oberflächeneigenschaften wie Rauschen und Korn, das alles sind ästhetische Parameter des Bildeindrucks, die unmittelbar die sensorische Dimension der Wahrnehmung betreffen. Gleichzeitig sind es auch Indizien für die Stimmigkeit – diese können die unbewusste Ebene überschreiten, wenn der Betrachter Dissonanzen wahrnimmt, die ihn veranlassen, das Bild genauer zu überprüfen.

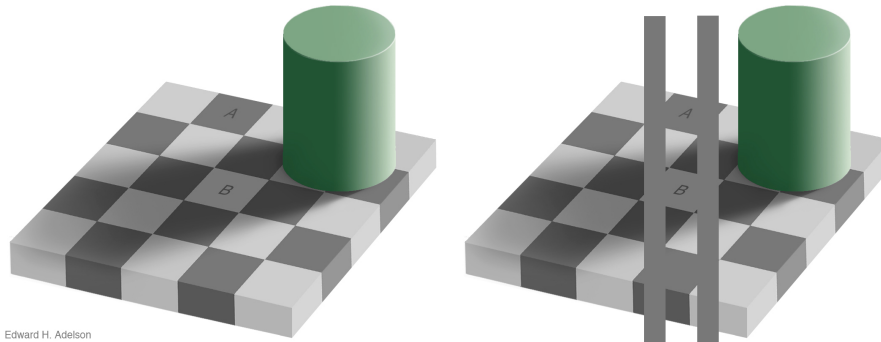
Auch ohne besonders ungläubhafte Elemente oder Visual Effects kann man dieses Verhalten der Ablehnung beobachten. Wird ein Kinofilm nicht

so produziert, wie Kinofilme immer produziert werden, stellt sich beim Publikum oft eine negative Haltung gegenüber der Filmästhetik ein, bei Laien zwar meist unbewusst, aber möglicherweise dafür umso stärker. Diese Problematik des „gewöhnlichen Looks“ beschäftigt derzeit auch die Filmtechnologieentwickler aus einem ganz bestimmten Grund: Die Teilnehmer von Testvorführungen der neuen 48-Hertz Technologie beschreiben die gezeigten Filme oft mit Verweisen auf den Look von Seifenopern, da heutige Kinobesucher dermaßen an die bisher üblichen 24 Bilder pro Sekunde gewohnt sind, dass ein mit 48 Bildern pro Sekunde aufgezeichneter und abgespielter Film ihnen qualitativ minderwertiger erscheint, wie die Berichterstattung zum Film *Der Hobbit* bei [39] zeigt – und das obwohl die Technologie eigentlich Vorteile, wie eine flüssigere Wiedergabe mit besser erkennbareren Details, bieten sollte.

Wenn man dies bedenkt, so könnte man zu dem Schluss kommen, dass es letzten Endes möglicherweise gar nicht so sehr auf den eigentlichen Realismus ankommt, sondern nur darauf dem Betrachter ein Bild zu liefern, das in seinen Eigenschaften dem entspricht, was er bereits kennt. Da der Mensch jedoch in einer physikalischen Umwelt lebt und Filme auch in dieser Umwelt gedreht werden, so hilft ein Verständnis der grundlegenden Physik (siehe Kapitel 2) und auch der menschlichen Wahrnehmung (Abschnitt 3.1 und 3.1.1) jedoch sehr, abzuschätzen, was die meisten Zuseher als glaubhaft empfinden werden.

Auf der anderen Seite verzerrt das filmische Bild jedoch auch den Eindruck von Realismus beziehungsweise genauer gesagt einer realistischen Ästhetik. Heutige Filme weisen beispielsweise meist eine sichtbar geringe Schärfentiefe auf, führen also verhältnismäßig viel Unschärfe in das Bild ein. Auch wenn im menschlichen Sichtfeld das meiste unscharf ist, wird selten etwas *sichtlich* als unscharf empfunden, da der Bereich des Sichtfeldes, auf dem die Aufmerksamkeit gelegt wird, von den Augen fokussiert wird. Trotzdem ist man es gewohnt, dass beim Betrachten eines Filmes nur bestimmte Bereiche des Bildes scharf zu sehen sind und wenn die Schärfentiefe zu groß ist oder andere Eigenschaften nicht den typischen Filmeigenschaften entsprechen (wie beispielsweise die zuvor erwähnte Bildwiederholrate), so wird eine Produktion möglicherweise als minderwertig empfunden oder ein CG-Shot als unecht.

Die Erwartungshaltung des Betrachters und sein Anspruch an die ästhetischen Eigenschaften eines filmischen Bildes entsprechen also einem bestimmten hyperrealistischen Look, des es auch in Visual Effects zu bieten gilt. Vielleicht ist damit auch der Erfolg bestimmter Foto-Effekt-Programme zu erklären, mit denen sich Fotos bearbeiten lassen, um so das langweilige Motiv eines Mittagessens in eine „aufregende“ fotografische Arbeit zu verwandeln, die dann gesellschaftsfähig über das Social Web präsentiert werden kann.



Edward H. Adelson

Abbildung 3.6: Optische Täuschung: die Flächen A und B weisen den selben Farbwert auf, Bildquelle: [30].

3.5 Unregelmäßigkeit als Katalysator für Visual Effects

Ein häufiges Problem bei CGI oder VFX-Shots ist die zu hohe Gleichförmigkeit. Betrachtet man eine Farbfläche, auf die Licht fällt, so ist man durch den Wahrnehmungsapparat dazu verleitet die gesamte Fläche in einer einzigen Farbe wahrzunehmen. Tatsächlich hätte die Fläche, würden einzelne Farbwerte isoliert und miteinander verglichen werden, viele verschiedene Abstufungen einer Farbe und möglicherweise sogar unterschiedliche Farbtöne. Die menschliche Wahrnehmung ist allerdings darauf trainiert den Einfluss von Lichtquellen „herauszurechnen“, um sozusagen unverfälschte Eindrücke der Umgebung zu vermitteln. Wie Abbildung 3.6 zeigt, lässt das den Mensch zum Teil leicht Opfer von Fehleinschätzungen werden, wenn es um absolute Farb- beziehungsweise Helligkeitswahrnehmung geht. Wichtig für diese Arbeit ist es jedoch festzuhalten, dass das Fehlen dieser subtilen Unterschiede innerhalb einer (exemplarischen) Farbfläche dem Betrachter ein Gefühl von Unechtheit vermitteln können. Er fühlt, dass es sich möglicherweise um ein konstruiertes, weil zum Beispiel computergeneriertes, Bild handelt. Als Grundregel, kann festgehalten werden, dass zu hohe Gleichförmigkeit, dem Realismus und somit der Glaubhaftigkeit schadet.

Dank der mathematischen Natur von Bildberechnungen aus dem Computer entstehen logischerweise oft Ergebnisse, die nicht natürlich wirken. Dies kann sehr oft damit erklärt werden, dass die Beschaffenheit der virtuellen Elemente sich von den tatsächlichen Objekten unterscheidet. Stellt man sich einen Würfel vor, denkt man meist an einen mathematischen, geometrischen Körper. Während in der Computergrafik eine Ecke des Würfels einem Punkt im mathematischen Sinne entspricht – ohne jede Ausdehnung – und eine Kante einer mathematischen – sozusagen, unendlich dünnen – Linie –, so unterscheidet sich ein würfelförmiger Körper in der Realität minimal, aber ent-

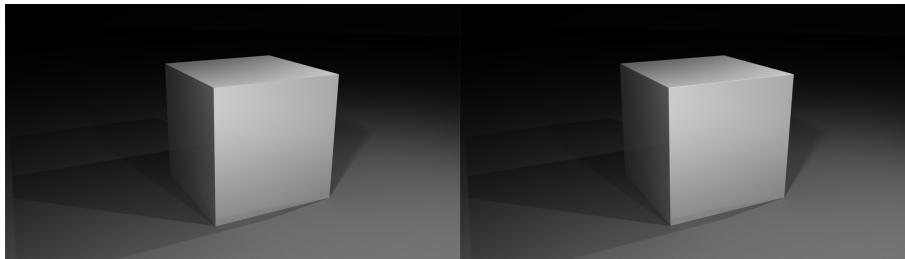


Abbildung 3.7: Vergleich eines streng geometrischen Würfels (links) und eines Würfels mit minimal abgeflachten Kanten (rechts).

scheidend vom geometrischen Körper. Eine Kante oder Ecke wird immer eine gewisse räumliche Ausdehnung besitzen und sei sie noch so minimal und die meisten Kanten werden auch nicht hundertprozentig gleichmäßig sein, sondern kleine Scharten oder Abweichungen von der Geraden aufweisen. Dieser feine Unterschied führt dazu, dass Licht mit einer Kante interagieren kann – es gibt einen Übergang von der einen Seite des Würfels zur anderen. Die Kante wird also sichtbar, was bei einer Linie in der Computergrafik nicht passieren kann – Abbildung 3.7 zeigt den Vergleich.

Ein Grund für zu große Gleichmäßigkeit kann aus dem Umstand entstehen, dass einzelne Elemente, sobald sie gefilmt oder gerendert wurden, ihrer Tiefeninformation beraubt sind, was in einem Compositing häufig als gleichförmig aufgeweichte Kanten sichtbar wird, wenn ein Element vor einen hellen Hintergrund montiert wird und in der Software ein Überstrahleffekt generiert wird. Der Mantel einer Person weist beispielsweise Falten und Stoffstrukturen in der Oberfläche auf. Wird diese Person jedoch freigestellt, um in einem Compositing verwendet zu werden, so werden diese dreidimensionalen Falten zu einer kurvigen, zweidimensionalen Form. Der Umriss ist also zwar die korrekte zweidimensionale Version der Mantelform, jedoch weist – zumindest für den Computer – nichts mehr darauf hin, welcher Teil des Umrisses durch die Silhouette des Körpers verursacht wird und welcher Teil durch lokale Erhebungen. Was schriftlich etwas schwer zu formulieren ist, wird besser in einem Bild erklärt, siehe dazu Abbildung 3.8. Man sieht den Unterschied, dass sich der künstliche Überstrahleffekt vom echten unterscheidet, da in der Computergrafik, außer der Kontur, keinerlei Parameter zur Berechnung des Effektes gegeben sind.

Weiters, kann sich die Einführung bestimmter „Fehler“ als nützlich erweisen. Wenn man so will, kann man diesen Schritt mit umgekehrter Psychologie rechtfertigen. Ein Zuseher könnte beispielsweise davon ausgehen, dass die Filmemacher versuchen sämtliche Makel aus ihrem Werk herauszuhalten. Wenn aber im Film diese Makel zu sehen sind, so waren sie wohl unvermeidbar, um ein bestimmtes Motiv zu filmen. Im Umkehrschluss, wurde das Motiv also tatsächlich und „in Echt“ so gefilmt – denn im Falle eines künstlichen



Abbildung 3.8: Vergleich von globalem Überstrahleffekt und helligkeitsbasiertem.

Filmbildes wären die Bildfehler wohl kaum in den Film geraten. Die Fehler beweisen also die Authentizität. Ähnlich dem Phänomen, dass man Aufnahmen, die von einer wackeligen Handkamera gefilmt wurden, eher Glauben, ob ihrer Echtheit schenkt, als einer Einstellung in cinematographischem Stil, frei nach dem Motto „wollte man etwas inszenieren, würde man sich mehr Mühe geben“.

Die Illusion, dass eine Produktion mangelhaft ist, führt dazu, dass das Verdachtsmoment gegenüber Filmtricks sinkt, denn eine billige Produktion könnte sich diese womöglich gar nicht leisten. Bei Filmen, wie beispielsweise *Avatar*, bei denen bereits im Vorfeld über das riesige Budget und den großen Aufwand im Bereich der Visual Effects berichtet wurde, glaubte niemand daran, dass die fantastischen Elemente des Filmes mit herkömmlichen Mitteln gedreht wurden – auch Laien war bewusst, dass es sich um ein Werk handelte, das zu großen Teilen in den Computern der VFX-Firmen entstand. Bei kleineren Produktionen oder solchen, die zumindest vorgeben „independent“ und mit kleinem Budget zu arbeiten, ist das Bewusstsein der Zuseher, es könnte sich bei bestimmten Elementen um Visual Effects handeln, viel weniger ausgeprägt oder gar nicht vorhanden (siehe dazu [4, S. 282–289]). Vorausgesetzt die Visual Effects sind in ihrer Güte ausreichend gelungen, wird möglicherweise niemand einen VFX-Shot als solchen wahrnehmen.

Stellt man sich das Bild eines in der Wüste schwebenden Alien-Obeliskens vor, so wirkt dieses viel glaubhafter, wenn der Obelisk von hitzebedingtem Luftflimmern leicht verzerrt wird – es wird dem Betrachter suggeriert, dass dieses Element physikalischen Gesetzen unterworfen ist – oder wenn die Reflexionen der Sonne auf seiner spiegelnden Oberfläche *Lens Flares* verursachen – was dem Betrachter sagt, dass dieses Objekt tatsächlich durch eine Linse gefilmt wurde. Ist die Kameraführung noch dazu wackelig wird damit gezeigt, dass es sich keinesfalls um professionelle Aufnahmen handelt und so würden womöglich viele Betrachter an eine echte Begegnung der dritten Art glauben (wollen).

Die filmische Illusion, bestimmte Aufnahmen oder Bildelemente wären echt, funktioniert natürlich nur so weit, wie die Qualität der Ausführung

dies zulässt und für eine gute technische Ausführung müssen natürlich die Prinzipien hinter den bildverändernden Effekten verstanden werden. Diese Phänomene, also die oben erwähnten Fehler, die ein Betrachter unbewusst erwartet, sind letzten Endes durchwegs Effekte, die sich mit dem in Kapitel 2 erläuterten Modell analysieren und in weiterer Folge reproduzieren lassen. Die Entscheidung bestimmte Effekte zu imitieren ist also oft eine bewusste Täuschung, entsteht aber auch aus dem Streben nach größtmöglichem Realismus. Die oben stehenden Beispiele sind nur einige wenige, es soll dadurch aber gezeigt werden, dass es in der Visual Effects-Arbeit oft nicht nur um das Ausbessern von Fehlern der Produktion oder dem Abarbeiten bestimmter Punkte geht, sondern um das Streben nach Realismus, wie auch [4, S. 256] beschreibt.

Kapitel 4

Praktische Anwendung: Projekt *Ars Rata*

Das Projekt *Ars Rata* ist das Masterprojekt von Christian Schulze und Moritz Palmstorfer. In einem rund dreiminütigen Kurzfilm wird das Leben einer Skulptur gezeigt, die sich aus einer Kugel entwickelt und deren existentielle Auflösung in einem Kampf mit dem Raum, der sie gefangen hält, gipfelt. Dargestellt wird dieses Ringen als Computeranimation, eingebettet in eine Mischung aus gefilmtem Material und zusätzlichen, davon abgeleiteten computergenerierten Kameraeinstellungen. In diesem Kapitel soll, nach einer Einführung zu *Ars Rata*, auf die Produktion des Projektes eingegangen werden. Dabei werden Probleme behandelt, die bei vielen Visual Effects-Projekten zu lösen sind. Durch die in Kapitel 2 und 3 gewonnenen Erkenntnisse sollen diese Probleme behandelt werden und es sollen an Beispielen aus dem Projekt die Besonderheiten und Eigenschaften bestimmter Sachverhalte aufgezeigt werden.

4.1 Werkgenese

Das erste Konzept wurde von Christian Schulze entwickelt und beinhaltete als zentrales Element eine abstrakte, kinetische Skulptur in einem Ausstellungsraum. Dabei sollte die Skulptur möglichst generativ gestaltet und animiert werden. Es ging also darum, über bestimmte Abhängigkeiten und Regeln interessante Formen zu entwickeln, ohne diese von Hand zu modellieren. Rund um diese Skulptur wurde in der Folge eine Dramaturgie entwickelt, die den gewählten Ansatz unterstützte. Dieser Spannungsbogen erzählt allerdings keine offensichtliche Geschichte, sondern bildet einen relativ ungenständlichen Rahmen und gibt der Skulptur ein Motiv. Überlegungen, den Film ohne Schnitte zu gestalten, wurden wieder verworfen, da durch andere Blickwinkel auch die Ambivalenz der Skulptur besser unterstrichen werden konnte. Neben einer beobachtenden Haupt-Kameraeinstellung sollten

zusätzliche Naheinstellungen verwendet werden, die räumliche und materielle Details erkennbar machen und durch *Zeitlupen* sollten diese Ausschnitte auch in der chronologischen Dimension erschlossen werden. Gedreht wurde in einem zu diesem Zeitpunkt leerstehenden Raum im *Offenen Kulturhaus* in Linz. Der Raum wurde gewählt, da er ohne abzulenken zusätzliche emotionale Eindrücke in den Film einbringt. Vor dem Dreh wurde bewusst auf ein Storyboard verzichtet und die Einstellungen rein schematisch geplant, da die Aufnahmen spontan, dokumentarisch und nicht wie aus einem choreographierten Musikvideo wirken sollten. Gefilmt wurde schließlich der leere Raum, in dem sich später die Skulptur bewegen sollte, was sich zu diesem Zeitpunkt natürlich nur in der Vorstellung der Filmemacher abspielte. Anschließend wurde die Skulptur in einen virtuell nachgebildeten Raum integriert und es konnten erste Animationstests gerendert werden und diese über das gefilmte Material gelegt werden. Dank der virtuell reproduzierten Kamerabewegung passten die Bewegungen der Skulptur und des Filmbildes perfekt zueinander. Zusätzlich zur Haupt-Kameraeinstellung wurden in der 3D-Software Kameras für die zusätzlichen Einstellungen generiert, die andere Blickwinkel auf die bereits animierte Skulptur boten. Mit vor Ort aufgenommenen Fotos konnte der computergenerierte Raum texturiert werden und so konnte auch die Skulptur mit dem Blick durch die virtuellen Kameras gerendert und das Ergebnis bereits im Kontext des Raumes betrachtet werden, auch wenn dieser nur als vorläufiger Hintergrund fungierte. Er sollte später erst in der Compositing-Software der Skulptur hinterlegt werden. Mit diesen frühen, verhältnismäßig schnell zu rendernden Versionen der Animation wurde ein Schnitt angelegt, um das Gesamtkonzept beurteilen zu können. Die Animation der Skulptur und der virtuellen Kameras wurde dann immer weiter verbessert bis das Ergebnis den Wünschen der Macher entsprach. Parallel dazu wurde eine Materialität für die Skulptur entwickelt, die für die finalen Renderings verwendet werden sollte. Aufgrund der Komplexität der Berechnungen, die für die Rendering-Software nötig sind, benötigte ein Frame zwischen einer Minute 30 Sekunden und in Extremfällen bis zu 90 Minuten, um zu generiert werden (auf manchen der verwendeten langsameren Computern sogar bis zum dreifachen dieser Zeit). Insgesamt wurden so etwa 5500 einzelne Frames gerendert. Jeder dieser Frames musste anschließend noch in der Compositing-Software in einen Hintergrund eingebettet werden. Mit den nachbearbeiteten Frames konnte dann im Filmschnitt-Programm wiederum die Montage erstellt werden, wobei circa 1000 der gerenderten Frames dem Schnitt zum Opfer fielen. Anschließend wurde der Kurzfilm noch mit einer passenden, eigens generierten Tonspur unterlegt.

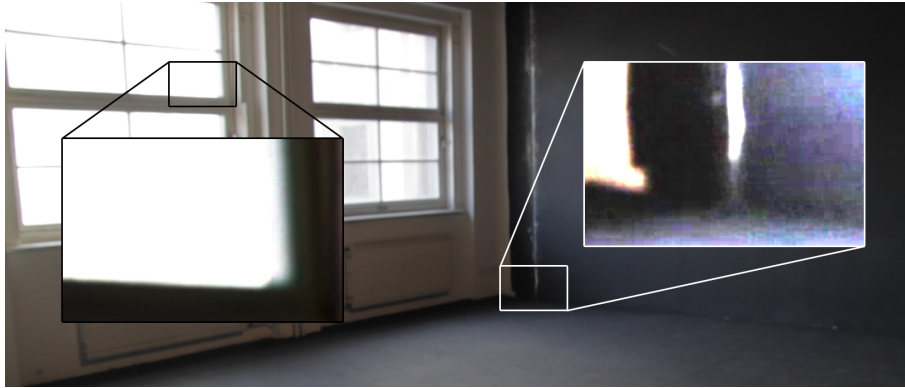


Abbildung 4.1: Ausschnitt aus *Ars Rata*. An den unter- und überbelichteten Stellen des Bildes geht Information verloren. Vergleiche mit Abbildung 4.2.

4.2 Produktion

Das höchste Gut eines Visual Effects-Artists ist Information. Information hat in diesem Zusammenhang viele Bedeutungen. Sie meint zum einen tatsächliche für Menschen begreifbare Informationen über die Gegebenheiten des Projektes und des Drehs, meint aber auch Information in Form von digitalen Datensätzen, wie sie beispielsweise bei Aufnahmen mit einer digitalen Kamera als Videofiles abgespeichert werden. Eine Kamera, wie sie bei *Ars Rata* eingesetzt wurde, speichert mit 8 Bit pro Farbkanal ab und komprimiert zusätzlich die Videodateien mit Informationsverlust, um Speicherplatz zu sparen. Die Entscheidung diese Kamera – eine *Canon Eos 7d* – zu wählen, wurde aus Gründen der Verfügbarkeit gefällt, da es kein Budget gab, das besseres Equipment ermöglicht hätte. Andere Kameras böten höhere Bit-Tiefen beim Aufzeichnen an und/oder die Möglichkeit unkomprimierte oder zumindest verlustfrei komprimierte Daten zu speichern.

Das Bearbeiten eines Filmes mit VFX-Techniken ist immer auch ein Haushalten mit Informationen. Beim Dreh entscheidet der Filmemacher, mit welchen Belichtungseinstellungen er Arbeiten möchte, also welchen Teil des Lichtspektrums er aufzeichnen will. Im Projekt *Ars Rata* entschied man sich für Einstellungen, die es erlaubten den Raum, in dem gedreht wurde, zu erkennen. Alles, was durch die Fenster sichtbar ist, wurde aber zwangsweise überbelichtet. Auch wenn das Bild in der Nachbearbeitung abgedunkelt wird, so wird man nie erkennen können, was zu sehen wäre, wenn man aus dem Fenstern des Raumes blickt. Ebenso kann man alle Bereiche des Bildes, die als schwarz aufgezeichnet wurden, nicht wieder in erkennbare Bereiche erhellen. Jede Information, die zu dunkel oder zu hell ist, wurde sozusagen abgeschnitten und ging in der Videodatei verloren, wie in Abbildung 4.1 zu



Abbildung 4.2: *High Dynamic Range* Bilder weisen einen größeren Dynamikumfang auf als herkömmliche Bilder. Dieses Bild ist ein Ausschnitt aus einem HDR-Bild für *Ars Rata* und wurde auf zwei unterschiedliche Arten belichtungskorrigiert und anschließend für den Druck auf den üblichen Dynamikumfang reduziert.

sehen ist.

Zum Zeitpunkt des Drehs, war natürlich schon geplant, dass in die Aufnahme des Raumes ein computergeneriertes 3D-Objekt integriert werden würde. Aus diesem Grund entschieden sich die Macher zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen, um möglichst viel Information zu gewinnen. Der Raum wurde fotografisch erfasst und zusätzlich wurden *High Dynamic Range* (kurz: *HDR*) Bilder erstellt. Dabei wurde zum einen die Möglichkeit genutzt mit einer Fotokamera Bilder zu schießen, die über 14 Bit Farbtiefe pro Kanal verfügen (und somit über eine wesentlich größere Belichtungsspanne vom dunkelsten bis zum hellsten Bereich innerhalb des Bildes) und zum anderen nicht nur ein, sondern gleich mehrere Bilder hintereinander mit unterschiedlichen Belichtungseinstellungen gemacht. Mit entsprechender Software können so geschossene *Belichtungsreihen* zu einem einzigen Bild zusammengefügt werden. Geeignete Betrachtungs-Software vorausgesetzt, kann man in diesem Bild sehr viel mehr sehen, als in einem herkömmlichen Foto oder gar einem Video. Da Bildschirme nur eine bestimmte Anzahl an Helligkeitsabstufungen darstellen können (meist ebenfalls 8 Bit pro Farbkanal, seltener 10 Bit), benötigt man einen Regler, um zu bestimmen, welchen Ausschnitt des Helligkeitsspektrum man betrachten möchte. Wie in Abbildung 4.2 zu

sehen, enthält ein einzelnes HDR-Bild für Ars Rata genug Information, um sowohl den Bereich außerhalb der Fenster, wie auch die dunklen Bereiche im Zimmer darzustellen. Dieses Mehr an Information ist besonders für die CGI-Erstellung wichtig, wie in Abschnitt 4.5.2 noch detaillierter erläutert wird.

Neben Aufnahmen von bestimmten Bereichen des Raumes, wie etwa des Bodens oder der Wand mit den Fenstern, wurden bei Ars Rata außerdem über 100 Einzelaufnahmen gemacht, aus denen später ein 360° HDR-Panorama erzeugt wurde.

4.3 Reproduktion

In Kapitel 2 wurde ein Modell entwickelt, das die bessere Analyse von bildverändernden Effekten ermöglicht. In Kapitel 3 wurde die Wichtigkeit der Reproduktion dieser Effekte, um gute Visual Effects produzieren zu können, sowie die Beziehung von VFX und Rezipient erläutert. In diesem Kapitel soll nun erläutert werden, wie die in den oben stehenden Kapiteln beschriebenen Erkenntnisse in einem Projekt zur Anwendung kommen können. Dabei werden grundlegende Problematiken bei der Arbeit mit digitalen Visual Effects anhand des Projekts Ars Rata erläutert, um das Problem in der Praxis zu analysieren und gegebenenfalls Lösungsstrategien anzubieten.

Anknüpfend an das Modell aus Kapitel 2 lässt sich der Weg der Nachbearbeitung durch Visual Effects auch in ein vierstufiges System unterteilen. Der erste Abschnitt ist das Generieren der Elemente, mit den in Abschnitt 3.2 beschriebenen Möglichkeiten. Beim Projekt Ars Rata kamen digitale Filmaufnahmen, HDR-Fotos und 3D-Renderings zum Einsatz, wie in Abschnitt 4.4 beschrieben. Der zweite Schritt ist das Compositing und die Bearbeitung der Elemente mit VFX-Techniken, dies wird in Abschnitt 4.5 beschrieben. Danach wird das Projekt in den letzten beiden Schritten aus der Compositing-beziehungsweise Bearbeitungs-Software als Film exportiert und am Ende wiedergegeben, was in 4.6 erläutert wird.

4.4 Reproduktion: Kategorie I: Generierung der Elemente

4.4.1 Konkretes Abbild einer kontinuierlichen Wirklichkeit

Beim Generieren der einzelnen Bildelemente, die für ein Projekt benötigt werden, stellt sich vor allem die Herausforderung der Informationsbewahrung (siehe dazu [4, S. 45–50] und [2, S. 175ff]). Durch die Aufnahme in einer digitalen Kamera oder dem Digitalisieren von Filmmaterial wird der Informationsgehalt, den das Motiv ursprünglich aufgewiesen hat, reduziert. Dieser Punkt ist im modernen technischen Workflow unumgänglich, da mit

digitalen Daten gearbeitet wird, die per Definition konkretisiert sein müssen, also über eine bestimmte Anzahl endlicher Werte definiert sind. Dieser Schritt findet in mehreren Ebenen statt, wie schon in Abschnitt 4.2 beschrieben.

Zum einen werden bei der Aufnahme statt einem kontinuierlichen Signal nur Einzelbildern gespeichert, was technisch die einzige Möglichkeit ist. Dies ist allerdings bei allen Aufnahmegeräten, die mit gängigen Bildwiederholraten arbeiten, keine gravierende Problematik, da der Mensch die Einzelbilder bei der Wiedergabe nicht mehr unterscheiden können wird (siehe Abschnitt 3.1). Eine Ausnahme bildet hier die Verlangsamung von bestimmten Shots. Möchte man beispielsweise eine Zeitlupe aus herkömmlich gedrehtem Material erstellen, müssen zwischen den vorhandenen Bildern neue Bilder erstellt werden, was mit heutigen Algorithmen bis zu bestimmten Grenzen möglich ist. Besser wäre es jedoch mit einer speziellen Kamera zu drehen, die es ermöglicht mehr Bilder pro Sekunde als die üblichen Kameras aufzunehmen und anschließend die Aufnahme langsamer als Echtzeit abzuspielen.

Der Reduktionsschritt auf einen bestimmten Wertebereich ist für einen VFX-Artist meist kritischer zu sehen, da bei diesem Schritt Information wegfällt, die dazu führt, dass das Bild selbst nur in einem bestimmten Rahmen bearbeitet werden kann, ohne dass der zu geringe Informationsgehalt sichtbar wird. Wie erwähnt entscheidet man sich bei der Aufnahme für einen bestimmten Helligkeitsbereich aus dem visuellen Spektrum. Wie groß dieser Bereich ist, hängt vom Aufnahmemedium ab. Beim Projekt Ars Rata wurde, wie beschrieben, lediglich eine 8-Bit-fähige Kamera verwendet, was sozusagen dem heute gängigen Minimum entspricht. Würde man Helligkeitskorrekturen am Material vornehmen, dürften diese nur in einem relativ kleinen Bereich stattfinden, um keine Artefakte sichtbar zu machen.

Der dritte wichtige Schritt ist die Rasterung des Bildes. Sei es die Aufzeichnung einer digitalen Kamera oder der digitale Scan eines analogen Filmes, eine digitalisierte Aufnahme besitzt immer eine bestimmte *räumliche* Auflösung (siehe [18, S. 120]). Die Auflösung ist die Anzahl der Pixel, die ein einzelnes Bild besitzt. Grundsätzlich lässt sich sagen, je höher die Auflösung desto besser. Die tatsächlich benötigte Auflösung hängt allerdings vom geplanten Abspielgerät ab. Für ein Video im Internet mögen kleinere Auflösungen ausreichen, für moderne und professionelle Produktionen hingegen, sollte schon eine *Full HD*-Auflösung von 1920 Pixeln Breite und 1080 Pixeln Höhe angestrebt werden – Ars Rata wurde durchgehend in dieser Auflösung produziert. Kinofilme werden zum Teil in noch größeren Auflösungen produziert und wiedergegeben. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass das Ausgangsmaterial mindestens über die Auflösung des angestrebten Wiedergabegerätes verfügen sollte. Im Idealfall und wenn es die Leistung der Arbeitscomputer zulässt, sollte mit der größtmöglichen Auflösung gedreht und gearbeitet werden und erst im letzten Schritt die Reduktion auf die Zielauflösung vorgenommen werden. Diese Regel lässt sich auch auf die Grö-

ße des verfügbaren Wertbereichs übertragen. Wurde in höheren Bit-Tiefen gedreht als das Abspielgerät wiedergeben kann, so sollte die Reduktion des Wertebereichs erst zum Schluss der Nachbearbeitung erfolgen.

4.4.2 Computer Generated Imagery im Projekt Ars Rata

Nachdem der Dreh abgeschlossen war, begann der in diesem Fall wesentliche Teil des Projektes, die Nachbearbeitung. Zum einen wurden zu diesem Zeitpunkt alle erfassten Informationen gesammelt und die geschossenen Fotos tatsächlich zu HDR-Bildern und dem HDR-Panorama zusammengefügt und zum anderen begann man damit zusätzliche Information aus den vorhandenen Materialien abzuleiten. Zur Reproduktion der Kamerabewegung wurde beim Projekt Ars Rata *Match Moving*-Software eingesetzt. Dadurch konnten die Macher eine virtuelle Kamera in die 3D-Software importieren, die in ihrer Bewegung und den relevanten Eigenschaften exakt der Kamera entsprach, die zum Drehen des Filmes verwendet wurde. Außerdem konnten als praktischer Nebeneffekt die Ausmaße des Raumes und die Position der Fenster und der elektrischen Lichtquelle im Raum abgeleitet werden.

Durch die virtuelle Nachbildung des Drehortes und die Erfassung der Position der Lichtquellen können, geeignete 3D-Software vorausgesetzt, die Effekte der Kategorie I (*vor der Kamera*) nachgebildet werden. Mit geeigneter Rendering-Software, die (annähernd) physikalisch korrekte Berechnungen durchführt und entsprechendem Arbeitsaufwand, um alle Informationen in korrekt nachgebildete 3D-Objekte umzuwandeln, könnte theoretisch ein rein computergeneriertes Rendering erstellt werden, das weitestgehend den originalen Filmaufnahmen entspricht, wie [5] beschreibt. Dieses Rendering entspräche weiters sogar einer Aufnahme, die mit einer idealen (weil rein virtuellen) Kamera aufgezeichnet wurde.

Im Gegensatz zur realen Kamera müssen bei der Erstellung von Bildern mithilfe von Bildsynthese Techniken alle Effekte, die auf eine reale Aufnahme einwirken würden (wie in Abschnitt 2.3 beschrieben), mit zusätzlichem Aufwand erkaufte werden. Als einfaches Beispiel, sei hier ein Zeichner genannt, der einen Würfel zeichnen möchte. Soll dieser realistisch wirken, muss er den Würfel nicht aus zwei versetzten Quadraten, die mit vier Linien verbunden werden konstruieren, sondern nach den Regeln der Perspektive. Danach müsste der Zeichner den Würfel „beleuchten“, also ihn schattieren und so weiter. Bei einem 3D-Rendering muss der Computer ebenso ein 3D-Objekt auf eine zweidimensionale Fläche projizieren und je nach gewünschtem Realismus, dieses Objekt *shaden* (die Beleuchtungsberechnung in der Computergraphik, wird mit dem englischen Wort für schattieren bezeichnet).

Um den Aufwand in realistischen Grenzen zu halten, entschied man sich bei Ars Rata dafür den Raum nur vereinfacht nachzubauen. Ein Rendering des Raumes selbst würde nicht benötigt werden, er diene nur zur Orientierung für die Animation und für das „Auffangen“ von Schatten. Denn dadurch,

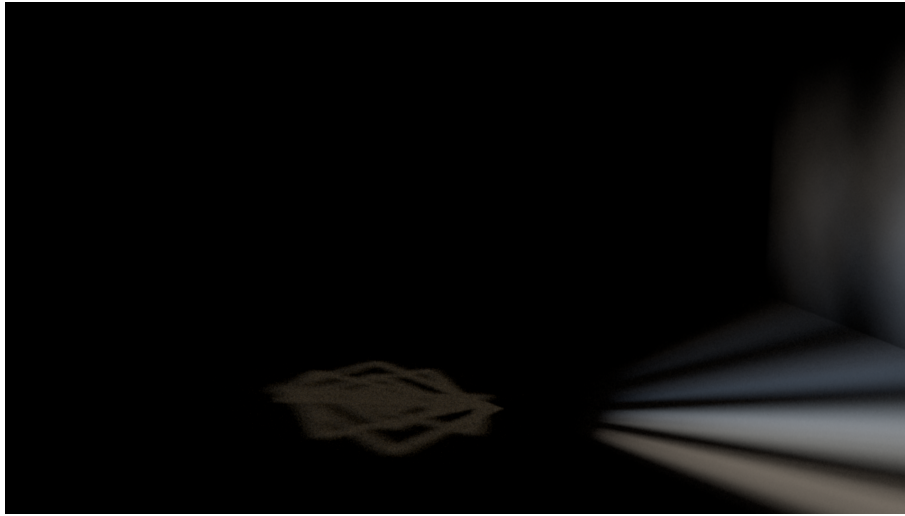


Abbildung 4.3: Computergenerierte Schatten-Ebene für die Nachbearbeitung von *Ars Rata*.

dass die einzubettende Skulptur nicht real war, gab es natürlich auch in der Aufnahme des leeren Raumes zum Zeitpunkt des Drehs keinerlei Lichtinteraktionen zwischen Skulptur und Raum. Wäre die Skulptur allerdings real, so hätte sie beim Dreh beispielsweise einen Schatten vom Licht des Fensters auf den Boden und zum Teil auf die Wände geworfen. Um dies nachträglich zu simulieren, wurden mit dem virtuell nachgebauten Raum Lichtberechnungen durchgeführt, die den Schatten generierten, wie in Abbildung 4.3 gezeigt.

Statt die Lichtquellen einzeln nachzuempfinden, wurde bei *Ars Rata* auf das HDR-Panorama zurückgegriffen. Mit dem Panorama konnte eine Sphäre erzeugt werden, deren Mittelpunkt dem Standpunkt der Kamera zur Aufnahmezeit des Panoramas entspricht. Diese Sphäre wurde von der Software für die Berechnung des Lichtes in der Szene verwendet. Vom Mittelpunkt der virtuellen Sphäre aus gesehen – wo auch die Skulptur platziert wurde – entsprechen die Positionen der Lichtquellen, allen voran der Fenster, exakt den relativen Positionen der tatsächlichen Lichtquellen vor Ort. So war gewährleistet, dass die Beleuchtungssituation auch in ihren Intensitäten exakt den am Drehtag vorherrschenden Bedingungen glich. Die subtilen Abstufungen in Farbton und Intensität konnten außerdem ohne das händische Bearbeiten von Lichtquellen erreicht werden und tragen so zu einer glaubhafteren Beleuchtung der virtuellen Skulptur bei.

Durch die Verwendung des Panoramas ergab sich außerdem der Vorteil, dass sich der Raum in der Skulptur reflektieren konnte, ohne in seiner Komplexität komplett nachempfunden werden zu müssen. Weiters erlaubte die bildbasierte Beleuchtung der Szene auf aufwändige Berechnungen der sogenannten *Bounce Lights* zu verzichten. Normalerweise würde das in

einen Raum fallende Licht von den Wänden teilweise zurückgeworfen und so zusätzlich zur Beleuchtung eines Objektes beitragen. Da die Helligkeit der Wände, also ihr Abstrahlverhalten, jedoch bereits im Foto gespeichert war, wurde das Licht auch ohne die zusätzlich berechneten *Light Bounces* korrekt simuliert.

Computer-Renderings können aufgrund ihrer Unabhängigkeit von physikalischen Gesetzen und ihrer nicht-chronologischen Arbeitsweise wesentlich informationsreichere Bilder berechnen, als dies mit einer realen Kamera möglich wäre. Nimmt man längere Berechnungszeiten in Kauf, können Bilder mit großem dynamischen Umfang berechnet werden. Beim Projekt Ars Rata entschied man sich dafür die Renderings mit 16 Bit Farbtiefe pro Farbkanal abzuspeichern. Unter dem Aspekt der Informationserhaltung wird so ausreichend viel Bildinformation in die Compositing-Software übertragen, um bestmögliche Nachbearbeitung zu gewährleisten, wie in Abschnitt 4.5.2 erläutert.

4.5 Reproduktion: Kategorie II: Compositing

Der für diese Arbeit wohl relevanteste Teil des Projektes ist wie erwähnt die Postproduktion. Neben dem Rendering, war der zweite wichtige Teil der Nachbearbeitung das Compositing. Während bis zum Beginn der Compositing-Arbeiten hauptsächlich filmische Entscheidungen getroffen wurden und die „handwerkliche“ Arbeit im Feld der Bildsynthese, also des Rendern von CGI, stattgefunden hat, müssen an diesem Punkt im Workflow die beiden Komponenten Filmbild und computergeneriertes Bild zusammengefügt werden.

4.5.1 Analoge Effekte und ihr digitales Pendant

Der Vorteil der Arbeitsweise beim Projekt Ars Rata war, dass die Eigenschaften der 3D-Szene direkt von der gefilmten Umgebung abgeleitet werden konnten. Durch das vor Ort aufgenommene HDR-Panorama konnte die Lichtsituation beim Rendern relativ genau nachgebildet werden. Kann man nicht auf geeignete Aufzeichnungen oder Bildmaterial zurückgreifen, muss das Anpassen der Lichtsituation von Artists händisch vollzogen werden, was wesentlich aufwändiger ist. Auch wenn bei der Erzeugung der Renderings zwar Fotografien herangezogen wurden, so wurde beim Projekt Ars Rata nur CGI in die gefilmte Aufnahme eingefügt. Bei anderen Produktionen ist es durchaus üblich auch Fotos oder andere Plates zu verwenden, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben. Diese sind möglicherweise unter gänzlich anderen Bedingungen oder sogar mit anderen Kameras aufgezeichnet worden. Würde man ein Element in Filmmaterial mit anderen Eigenschaften einbetten, ergäbe sich kein homogenes Bild. Das eingefügte Element wäre erkennbar unterschiedlich vom Rest des Bildes. Auch wenn bei Ars Rata darauf geachtet

wurde von vornherein in der 3D-Szene gleiche Bedingungen wie am Drehort zu schaffen, so unterscheidet sich das gerenderte Bild der virtuellen Kamera doch auch einigermaßen von den realen Aufnahmen. Das führt dazu, dass auch bei Ars Rata die selben Methoden zur Angleichung der Bildcharakteristika zum Einsatz kommen, wie bei Compositings mit anderen Zusammensetzungen (siehe [15] und [2, Kap. 14 und 15]). Bei dieser Angleichung wird grundsätzlich versucht die Effekte, die auf das echte Filmbild gewirkt haben, nachzuempfinden und auf die einzufügenden Elemente anzuwenden. Zur Hilfestellung kann man mit dem in Kapitel 2 beschriebenen Modell einzelne relevante Effekte schrittweise reproduzieren. Wie in Abschnitt 3.4 erwähnt, müssen dabei nicht zwangsweise physikalische Gesetze befolgt werden, es muss nur das Ergebnis reproduziert werden. Es kann also ähnlich einem *Black Box*-System gearbeitet werden: Der Artist muss mit gegebenem Input einen bestimmten Output erzeugen, der Weg ist dabei nicht vorgegeben. Für häufig verwendete Schritte haben sich aber natürlich bestimmte Techniken entwickelt oder es wurden sogar spezialisierte Softwaretools geschrieben. In diesem Abschnitt sollen einige der wichtigsten Methoden des Compositings erläutert werden und der Bezug zwischen ihren analogen Äquivalenten und der Verwendung im Projekt hergestellt werden.

Color Correction

Eine der grundlegendsten und wichtigsten Schritte im Compositing ist das Angleichen der Farben zweier (oder mehrerer) Elemente. Zur Veranschaulichung stelle man sich zwei Bilder vor. Auf dem einen ist ein Hintergrund zu sehen, der zur Mittagszeit aufgenommen wurde, während das andere Bild ein beliebiges Motiv zeigt, das mit Kunstlicht beleuchtet wurde. Gleichbleibender Weißabgleich der Kamera vorausgesetzt, werden sich die Bilder in ihrer Farbigkeit unterscheiden. Möchte man das Motiv des zweiten Bildes in den Hintergrund des ersten Bildes montieren, so wird offensichtlich, dass der Hintergrund bläulicher ist als das Motiv, welches gelb-orange aussieht. Man muss nun also entweder den Hintergrund an das Motiv anpassen oder umgekehrt – eine Anpassung beider Bilder zu einem gemeinsamen Mittelwert ist natürlich ebenso denkbar (siehe [2, S. 225f]).

Lediglich die Farbtöne anzupassen wird meist zu wenig sein. Im Falle des Projektes Ars Rata war dieser Schritt gar nicht nötig, da die Beleuchtungssituation des realen Raumes und der 3D-Szene weitestgehend übereinstimmt hat und außerdem die verwendete Kamera so eingestellt war, dass es über den Weißabgleich zu keiner Differenz kam. Allerdings ist es in den meisten Fällen – so auch bei Ars Rata – nötig die Helligkeitswerte anzugleichen, wie in [2, S. 243ff] beschrieben. Beim Aufnehmen eines Filmes werden zum Beispiel die dunkelsten Stellen eines Bildes selten als tatsächliches Schwarz abgespeichert. Bei einem Rendering können allerdings sehr wohl absolut unbelichtete Stellen im Bild sein. Der Artist sollte deswegen versuchen

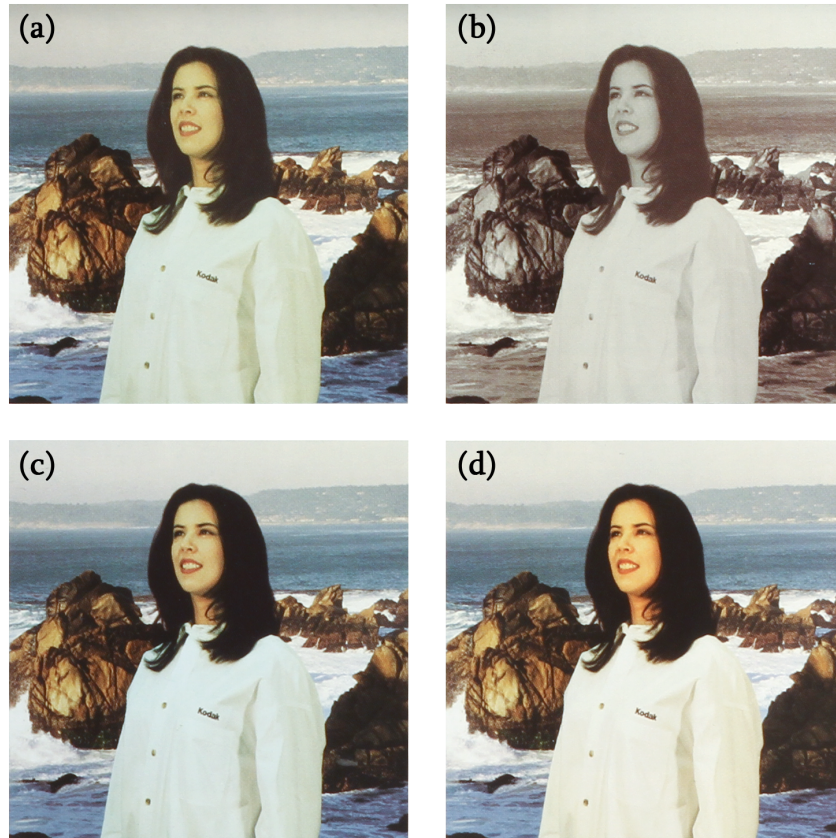


Abbildung 4.4: (a) Unangepasstes Element auf Hintergrund; (b) Luminanz-Bild von a; (c) nach Helligkeitsanpassung; (d) farbkorrigiertes Compositing. Bildquelle: [20].

die Elemente so zu bearbeiten, dass die dunkelsten Stellen in beiden Bildern dasselbe „Schwarz“ aufweisen, also den selben dunkelsten Farbwert. Außerdem sollten ebenso die Kontraste der Einzelemente homogenisiert werden, was meist nur manuell möglich ist, da ein Computer kaum in der Lage ist, Bildinhalte auf ihre absolute Helligkeit hin zu interpretieren, was einem (geschulten) menschlichen Wahrnehmungsapparat gelingen kann. Ein Beispiel für Helligkeits- und Farbanpassung zeigt Abbildung 4.4. Neben Farbton und Helligkeit kann es natürlich auch nötig sein die Sättigung anzugleichen, falls ein Element „buntere“ Farbwerte aufweist, als das andere. Neben den oben beschriebenen Vorgängen, die unter dem Begriff *Color Correction* – also Farbkorrektur – zusammengefasst werden können, existiert auch das *Color Grading*. Dieser Prozess beschreibt das gezielte Verändern des filmischen Bildes durch Farbanpassungen, um das Bild ästhetisch gehaltvoller zu

machen oder einem gewünschten Look entsprechend anzupassen. Veränderungen beim Color Grading haben also einen kreativen Nutzen, im Gegensatz zur Color Correction, die aus Gründen der Kohärenz geschehen muss, um ein technisch einwandfreies Gesamtbild zu kreieren.

Schatten und Licht

Im Idealfall werden die einzelnen Elemente eines Compositings unter möglichst gleichen Lichtbedingungen gedreht, denn es ist schwierig die Beleuchtung eines Elementes nachträglich zu verändern. Dieser Schritt konnte bei Ars Rata aufgrund der verwendeten Rendering-Technik vermieden werden. Die Beleuchtung bestimmt neben den in Abschnitt 4.5.1 beschriebenen Aspekten auch den Schattenwurf und so wurde bei Ars Rata ein eigener Pass (siehe Abschnitt 3.3.1) gerendert, der nur den berechneten Schattenwurf des Lichtes auf den Boden und die Wände des in der 3D-Szene nachgebauten Raumes enthält. Dies bot den Vorteil einer eigenständigen Ebene, die nur den Schatten enthielt, was das unabhängige Bearbeiten des Schattens ohne die Skulptur oder den Raum selbst ermöglichte. Die Informationen dieser Schattenebene konnten dann genutzt werden, um den Hintergrund korrekt abzudunkeln. Über den so bearbeiteten Hintergrund konnte anschließend die in einem eigenen Pass gerenderte Skulptur platziert werden und die dadurch entstehende Gesamtkomposition wirkt, als ob die virtuelle Skulptur den Schatten tatsächlich in den realen Raum geworfen hätte.

Bei der Verwendung von bildbasierten Beleuchtungsmethoden, wie bei Ars Rata, ist das Licht entsprechend der aufgenommenen Lichtsituation gefärbt. Neben der Hauptlichtquelle, den Fenstern, existierte außerdem eine Kunstlichtquelle. Da Schatten die Abwesenheit von Licht sind, führt dies in der Realität zu unterschiedlichen Farbtönungen in den Schatten, je nach Lichteinstrahlung. In Bereichen in denen kein Licht der Fenster fällt – also dem Schatten der Skulptur, der vom Fenster weg fällt – fehlt der bläuliche Anteil des Sonnenlichts und es ist eine leichte Orangefärbung zu erkennen. Der Schatten der Kunstlichtquelle wiederum scheint dagegen leicht bläulich gefärbt. Diese subtilen Farbunterschiede in den Schatten tragen zu mehr Realismus bei, im Gegensatz zu einheitlichen, lediglich abdunkelnden Schatten.

Durch die bildbasierte Beleuchtung wurde auch der Farbton des Lichtes in das 3D-Rendering übertragen. Dies führte zu einer besseren Einbettung der Skulptur, da der reale Hintergrund und das gerenderte Objekt sozusagen mit dem selben Licht beleuchtet wurden. Dadurch finden sich die Farbtöne des Hintergrundes auch auf der Skulptur wieder und helfen ein homogenes Gesamtbild zu gewährleisten.

Im Falle eines Compositings von 2D-Elementen (also Bildern oder gedrehtem Material) muss mit Hilfsmitteln versucht werden eventuell sichtbare Schatten zu imitieren. Man kann versuchen die Silhouette von Objekten

nachzuziehen oder zu extrahieren und eine verzerrte und möglicherweise unscharfe Version des Umrisses auf das Hintergrundmaterial anzuwenden. Bei Aufnahmen, die vor einem Greenscreen mit grünem Boden gemacht wurden, ist es manchmal auch möglich den Schatten gezielt zu extrahieren und auf das Hintergrundmaterial zu übertragen.

Neben den Schatten und der Beleuchtung sind auch Überstrahleffekte von großer Bedeutung, um ein Element im Compositing mit dem Hintergrund zu verschmelzen. Lichter oder sehr helle Bereiche im Bild, die sich direkt hinter einem Motiv befinden, erzeugen an den Rändern des Motivs Überstrahleffekte. Wichtig ist zu beachten, dass dieser Überstrahleffekt nicht gleichförmig reproduziert werden sollte, da dies, wie in Abschnitt 3.5 erwähnt, zu einem Ergebnis führt, das nicht realistisch wirkt, sondern erkennbar mit dem Computer bearbeitet wurde. Bei Ars Rata bediente man sich deswegen der Helligkeitsinformationen des Hintergrundes. Je heller ein Pixel des Hintergrundes war, desto stärker überstrahlte er die Skulptur. Dies führte zu einer gewissen Varianz innerhalb des Überstrahlens, da auch die Helligkeit des Hintergrundes schwankt.

Blur-Effekte

Im Modell aus Kapitel 2 gibt es einige Effekte, die das Bild in einer gewissen Form undeutlicher für den Betrachter machen. Im englischen Fachjargon von Visual Effects-Artists können diese Effekte meist mit dem Begriff *Blur* bezeichnet werden. Bereits in der Luft wird das Licht minimal gebrochen und führt so bei Objekten, die dem Betrachter fern sind, zu einer schwereren Erkennbarkeit, da sie unscharf erscheinen. Durch die endliche Schärfentiefe entsteht beim Filmen mit einem Objektiv ebenso ein Bild, das für das menschliche Auge nur zum Teil fokussiert und somit „scharf“ ist. Hinzu kommen weitere Effekte wie etwa die Bewegungsunschärfe.

Wird ein Element in Filmmaterial eingefügt, das über diese Effekte verfügt, so muss dieses ebenso mit diesen Effekten behaftet werden. Je nach Anwendungsfall und Anforderung werden dafür in der Compositing-Software unterschiedliche Effekte angeboten. Bei Objekten in weiter Ferne genügt möglicherweise schon ein einfacher Weichzeicheneffekt. Für die Effekte des Motion Blurs und der Unschärfe durch geringe Schärfentiefe wurden spezielle Tools entwickelt. Mit den in Abschnitt 3.3.1 erwähnten Velocity-Pass kann Bewegungsunschärfe überzeugend nachgebildet werden. Dabei wird das Bild unter Zuhilfenahme der Bewegungsvektoren, die von der Rendering-Software im Velocity-Pass gespeichert werden, in die entsprechende Richtung geblurt. Diese Technik kam bei Ars Rata zum Einsatz, wie in Abbildung 4.5 demonstriert. Dieser Effekt stößt bei schnellen Bewegungen oder starken Transformationen allerdings oft an seine Grenzen, da die Änderung im Bild oft zu groß ist um korrekt interpoliert zu werden. Auch semitransparente Objekte können zu Problemen führen, da der Blur die sich überlagernden



Abbildung 4.5: Künstliche Bewegungsunschärfe im Projekt *Ars Rata*.

Elemente nicht unabhängig voneinander bearbeiten kann. Außerdem ist Bewegungsunschärfe aus Drehbewegungen nur schlecht reproduzierbar, da die Vektoren gerade sind, aber beispielsweise bei der Drehung eines Rades die Bewegung in konzentrischen Kreisen, beziehungsweise Bögen stattfindet.

Für die Simulation von Schärfentiefe, beziehungsweise vielmehr für die Berechnung der nicht-fokussierten Bereiche, wurden eigene Plug-Ins entwickelt, also spezialisierte Software, die sich in andere Softwarepakete einbinden lässt. Die Wichtigkeit dieser Entwicklung ist wohl damit zu erklären, dass die Unschärfe von Filmkameralinsen sehr charakteristisch für den Filmlook ist und somit deren qualitativ hochwertige, realistische Nachahmung für filmische Visual Effects einen hohen Stellenwert einnimmt. Ein Element, das nicht dem Fokus der Kamera angepasst ist, besonders wenn die geringe Schärfentiefe erkennbar ist, kann nie zu einem kohärenten Bild beitragen. Selbst bei nur sehr subtiler Unschärfe im Bild, mag zwar ein vollkommen fokussiertes Element nicht unbedingt sofort auffallen, doch wird es, wenn es korrekt (nicht-)fokussiert ist, möglicherweise gar nicht aktiv ins Bewusstsein des Betrachters vordringen – sofern dies nicht mit anderen filmischen Mitteln bewerkstelligt wird. Während eine einfache Weichzeichenfunktion möglicherweise zwar immer noch besser ist, als ein Bild gar nicht zu bearbeiten, so unterstützt die Verwendung eines spezialisierten Plug-Ins den Realismus ungemein. Diese Plug-Ins bieten verschiedenste Parameter, um die Einstellungsmöglichkeiten, die verschiedene Linsen und Blenden ermöglichen, nachzuahmen. Die besondere ästhetische Charakteristik der Unschärfe in Fotos beziehungsweise Filmaufnahmen wird mit *Bokeh* bezeichnet. Bilder mit sichtbarem Bokeh werden oft als ansprechender empfunden und das gezielte Fokussieren hilft bei der Lenkung der Aufmerksamkeit des Betrach-

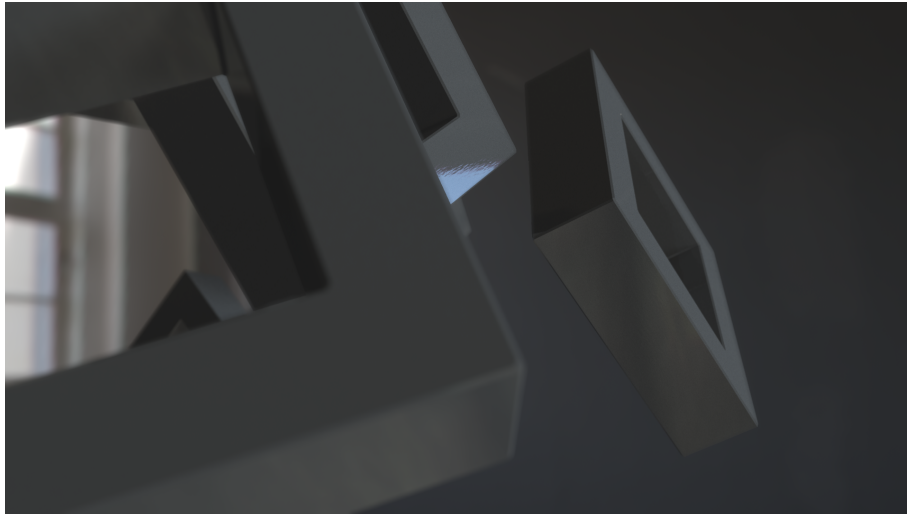


Abbildung 4.6: Künstliche filmische Unschärfe im Projekt *Ars Rata*, um die Effekte der Schärfentiefe zu imitieren.

ters. Das realistische Imitieren dieser filmischen Unschärfe hilft der Glaubwürdigkeit von CGI und 2D-Elementen in einem Compositing immens. Die Steuerung der Schärfentiefe über die unterschiedlichen Bereiche des Bildes hinweg muss mit Hilfsmitteln vom Artist bewerkstelligt werden oder kann über die in einem Z-Depth-Pass gespeicherte Tiefeninformation erfolgen. Bei *Ars Rata* wurde für die Skulptur und auch für den Schatten ein Z-Depth-Pass gerendert und beide Elemente mit einem Plug-In bearbeitet, so dass eine realistische Schärfentiefe entstand, wie in Abbildung 4.6 zu sehen.

Ein interessantes Beispiel für filmische Unschärfe und die Reproduktion von analogen Effekten im Allgemeinen bietet der Vergleich der Filme *Tron* von 1984 und *Tron: Legacy* von 2010: die Darstellung der Computerwelt war 1984 noch wesentlich aufwändiger zu realisieren und hebt sich formal deutlich von anderen filmischen Werken dieser Zeit ab. Im Gegensatz dazu wirkt die Darstellung des Inneren des Computers im Werk von 2010 so realistisch wie die Teile des Filmes, die in der echten Welt spielen, auch wenn die Computerwelt fantastisch ist und ebenso rein virtuell. Doch wurde Letztere mit heutigen Möglichkeiten zu einem perfekten Compositing mit den Schauspielern verschmolzen, bei der die Grenzen von Realität und CGI nicht mehr wahrzunehmen sind (siehe Abbildung 4.7).

Grain und Noise

In einem der letzten Schritte im Compositing wird meist eine *Grain* Funktion, also ein leichtes Bildrauschen, auf das in den Hintergrund einzufügende Element angewandt. Dieser Schritt ist besonders bei CGI-Elementen sehr



Abbildung 4.7: Konstruierte Realität im Filmlook in *Tron: Legacy* (2010).
 Oben: original Bluescreen Plates, unten: finale Compositings. Bildquelle: [3, S. 41 und 49].

wichtig, da sonst das Bild zu statisch wirkt. In nahezu jeder Aufnahme, sei es analoger Film oder digitales Material, gibt es winzige Unterschiede zwischen den Einzelbildern, die – beim analog Film – durch das Filmkorn (englisch Grain) oder – bei der digitalen Kamera – durch Rauschen verursacht werden. Diese Unterschiede erzeugen Mikrobewegungen im Bild, die dem Betrachter, selbst bei sich nicht veränderndem Bildinhalt, einen Hinweis darauf geben, dass er gerade ein Bewegtbild betrachtet und kein Standbild. Bei der Bildsynthese, die ein technisch fehlerfreies Bild liefert, fehlt dieses leichte Rauschen und kann eine gerenderte Sequenz unbewusst als unecht entlarven. Bei der Arbeit mit Realaufnahmen aus verschiedenen Quellen wird oft das Rauschen mit speziellen Tools entfernt und später wieder auf das Gesamtbild angewandt. So ergibt sich ein gleichförmiges Rauschen über das gesamte Bild. Beim Projekt Ars Rata war es ausreichend die CGI-Skulptur mit dem selben Rauschen zu versehen, wie der Hintergrund, was mit der verwendeten Compositing-Software problemlos möglich war.

4.5.2 Die 8-Bit-Problematik

In Abschnitt 4.2 wurde bereits erläutert, dass eine möglichst hohe Farbtiefe, also eine große Anzahl an möglichen unterschiedlichen Farbwerten, erstre-

benswert ist. Ein weiterer Grund dafür ist die Tatsache, dass bestimmte Ergebnisse von digitalen Effekten verfälscht werden, wenn die hellsten Stellen des Bildes gesättigte Farbwerte sind, also der hellste aufzeichnbare Wert einer Kamera überschritten wurde. Dieser Sachverhalt hat zwar einen technischen Hintergrund, offenbart sich aber in unglaublichen Ergebnissen im Compositing. Wenn Bilder, Filmaufnahmen oder 3D-Renderings mit zu geringem Informationsgehalt – vor allem in den hellen Bereichen des Bildes – durch VFX verarbeitet werden, ergeben sich durch bestimmte Funktionen Ergebnisse, die nicht dem entsprechen, was diese Funktionen zu imitieren versuchen. Problematisch sind vor allem die in Abschnitt 4.5.1 beschriebenen Blur-Effekte. Sei es durch Bewegungsunschärfe, geringe Schärfentiefe oder aus anderen Gründen bei Effekten, die im Compositing einen Blur zur Imitierung bedürfen, liefern Bilder mit niedriger Farbtiefe, also beispielsweise 8 Bit pro Farbkanal, meist verfälschte Ergebnisse (siehe [13, Kap. 9.2.5]). Wie hoch die für eine korrekte Berechnung der Effekte benötigte Farbtiefe ist, hängt vom Motiv und den Belichtungseinstellungen ab. Entscheidend ist, ob das Bild beim Aufzeichnen durch sogenanntes *Clipping* verfälscht wird. Beim Clipping, werden alle Farbwerte, die heller sind als der maximal ab-speicherbare Wert, „abgeschnitten“. Jegliche Informationen über Bildinhalte, die heller als ein bestimmter Wert sind, werden als Weiß abgespeichert und ihre Farbinformation wird dadurch verfälscht. Als praktisches Beispiel stelle man sich ein Bild von einer weißen Kugel und einer leuchtenden Glühbirne vor. Stellt man die Kamera so ein, dass die weiße Kugel exakt dem maximalen Farbwert, also 100% Helligkeit, im aufgenommenen Bild entspricht, so wird die hellere Glühbirne ebenso mit 100% Helligkeit abgespeichert. Obwohl die Glühbirne eigentlich deutlich Heller ist als die Kugel und außerdem einen orangen Farbton aufweist, besitzen in der Aufnahme beide Objekte den selben Farbwert. Wendet man jetzt Effekte in Form von einem oder mehreren Filtern auf das Bild an, so werden die Berechnungen für die Glühbirne mit den „nur“ 100%ig hellen und monochromen Pixeln durchgeführt, statt dem tatsächlichen, deutlich höheren Werten. Ein abstraktes Beispiel demonstriert in Abbildung 4.8, welchen Unterschied die Erhaltung von Information im Endergebnis eines digitalen Effektes bewirkt. Abbildung 4.9 zeigt einen praktischen Vergleich, wie die Anwendung eines Filters auf ein geclipptes Bild zu einem falschen Ergebnis führt.

Im Projekt Ars Rata wurde deswegen darauf geachtet die CGI mit hoher Bit-Tiefe (16 Bit pro Kanal) zu rendern. Das ermöglichte die weitestgehend korrekte Nachbildung der Effekte ohne Probleme durch drastisch geclippte Bildinformationen. In Abbildung 4.10 ist gut zu erkennen, dass selbst die Spiegelungen und Glanzlichter in der Skulptur einen großen Wertebereich aufweisen, da sie Reflexionen des HDR-Panoramas sind. Die rein virtuellen Shots des Projektes, wurden ebenfalls auf HDR Hintergründe eingebettet, sodass diese korrekt mit den Effekten versehen werden können, wie Abbildung 4.11 zeigt. Die Reduktion auf den 8-Bit-Wertebereich (pro Kanal), wird

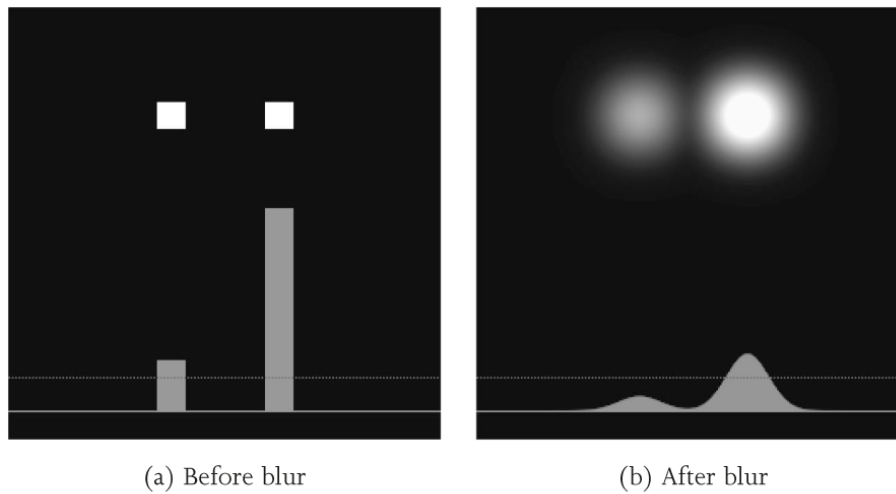


Abbildung 4.8: Beschreibung und Abbildung aus [13, S. 377]: „Two bright image squares (a) with pixel values 1.5 and 6 are shown on a display with a white point of 1. Because of clipping, the squares appear the same. A graph of pixel intensity for a scan line passing through the centers of the squares is shown below, with “white” indicated by the dotted line. After applying a Gaussian blur (b), the blurred squares are very different in appearance, even though they are still clipped to the display white point.“

erst beim Exportieren des Compositings vorgenommen, äquivalent, wie beim Aufnehmen eines Bildes, bei dem die Effekte im unendlichen Wertebereich wirken und erst in der Kamera auf einen kleineren Wertebereich beschnitten werden.

4.5.3 Serielle statt Parallele Effekte

Auch wenn beim Projekt Ars Rata versucht wurde sämtliche relevanten Effekte der Realaufnahme auch auf die virtuelle Skulptur zu übertragen, so gibt es doch ein Defizit. Während in der Natur bestimmte Effekte praktisch gleichzeitig und parallel passieren und nur das Endergebnis von der Kamera aufgezeichnet wird, so mussten bei Ars Rata einzelne Effekte seriell, also hintereinander auf die Elemente angewandt werden. Für die meisten Anpassungen gibt es eine logische Reihenfolge, die sich aus dem in Kapitel 2 beschriebenen Modell und somit sozusagen aus der Chronologie der Effekte ergibt, doch ist es nicht möglich Bewegungsunschärfe und Schärfentiefsimulation gleichzeitig zu berechnen, wie dies eigentlich in der Kamera stattfindet. Durch die Verwendung der technischen Passes, müssten sich diese gegenseitig beeinflussen, was derzeit in der Compositing-Software technisch nicht möglich ist. Es wurde die Entscheidung getroffen, dass zuerst die Schär-

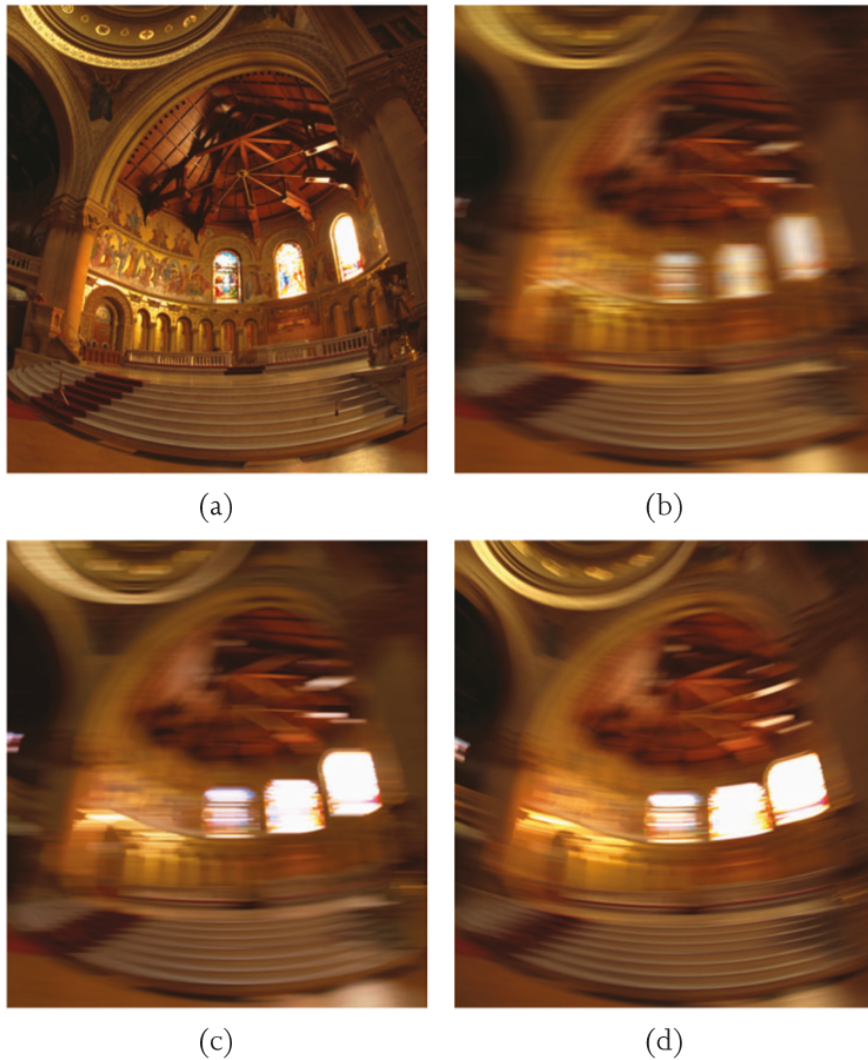


Abbildung 4.9: Beschreibung und Abbildung aus [13, S. 378]: „An HDR scene inside a church with bright stained-glass windows. (b) Horizontally blurring the clipped LDR image gives the effect of image motion, but it noticeably darkens the appearance of the stained-glass windows. (c) Blurring an HDR image of the scene produces bright and well-defined streaks from the windows. (d) Real motion blur obtained by rotating camera during the exposure validates the HDR blurring simulated in image c.“

fentiefe berechnet werden sollte und danach erst die Bewegungsunschärfe. Die Alternative dazu, diese beiden Effekte in der Compositing-Software zu simulieren, wäre die Berechnung bereits in der Rendering-Software gewesen, die dazu technisch in der Lage wäre. Dieses Defizit der seriellen Nachahmung

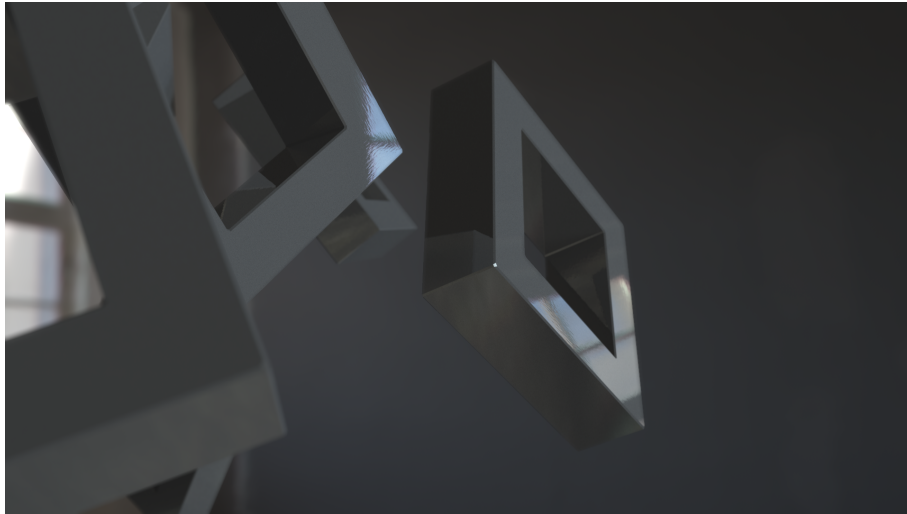


Abbildung 4.10: Durch Verwendung von HDR-Bildern für die Reflexionen auf der Skulptur beim Projekt *Ars Rata* wird übermäßiger Informationsverlust vermieden. Die Fenster sind in der Spiegelung gut zu erkennen und nicht durch zu geringen Dynamikumfang verfälscht.

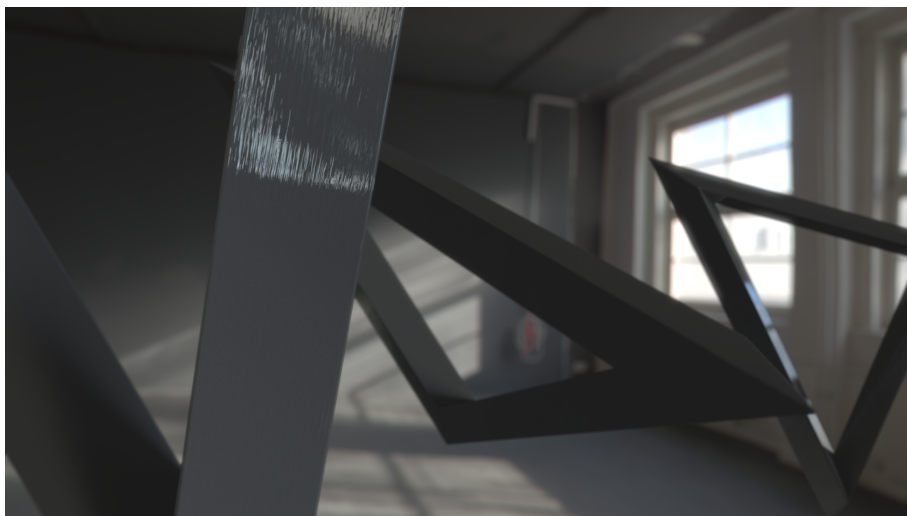


Abbildung 4.11: Rein virtueller Shot aus dem Projekt *Ars Rata*. Der Hintergrund entstand aus dem HDR-Panorama, die Kamera wurde animiert.

wurde allerdings bewusst in Kauf genommen, da die schließlich verwendete Methode bessere Flexibilität im Workflow gewährleistete.

4.6 Reproduktion: Kategorie III & IV: Rendering und Wiedergabe

Die letzten beiden Abschnitte des Workflows, das Exportieren der finalen Bilder eines Filmes und deren Wiedergabe, sind natürlich sehr wichtig, um dem Publikum die Betrachtung des Werkes in einer Qualität zu ermöglichen, die den Vorstellungen der Macher entspricht und außerdem den Ansprüchen des Betrachters genügen. Allerdings ist diese Thematik sehr speziell und für die Erzeugung und Bearbeitung von Visual Effects selbst nur wenig relevant. Nach der Bearbeitung durch einen Visual Effects-Artist wird dieser die bearbeiteten Shots in der Regel immer möglichst unverfälscht und unkomprimiert exportieren und an den Filmschnitt übergeben. Dieser fügt die einzelnen Shots zu einem Film zusammen und danach wird das Gesamtwerk exportiert, wobei es dabei, wie bereits in Abschnitt 4.4.1 erwähnt, stark auf den angestrebten Verwendungszweck ankommt.

Aus der Compositing-Software wurden die einzelnen Shots bei Ars Rata letzten Endes bewusst verlustfrei komprimiert und mit 8 Bit pro Kanal exportiert, wobei dieser Reduktionsschritt erst nach allen Bearbeitungsschritten vollzogen wurde. Diese Renderings wurden in die Schnitt-Software geladen und dort zu einem Film zusammengefügt. An diesem Punkt wurde das Bild nicht mehr grundlegend bearbeitet, es ging nur noch um eine entsprechende Anpassung der Chronologie. Außerdem wurde eine Tonspur erarbeitet und dem Film hinzugefügt.

Unter Anwendung der in diesem Kapitel beschriebenen Schritte und unter Verwendung der in dieser Arbeit beschriebenen Erkenntnisse konnte so letzten Endes ein vollendetes Werk generiert und zu einem fertigen Film vollendet werden. Dieser Film existiert nur digital und kann so verlustfrei vervielfältigt und betrachtet werden.

Kapitel 5

Schlussbemerkungen

In dieser Arbeit sollte versucht werden sich den Thematiken von Compositing und Visual Effects aus einem etwas anderen Blickwinkel zu nähern, um so etwas Abstand zu halten von der gängigen technisch orientierten Literatur und anschließend den Praxisbezug mit der Beschreibung der Arbeit am Projekt Ars Rata herzustellen.

Es wurde ein Modell entwickelt, mit dem sich die bildverändernden Effekte kategorisieren lassen, um so eine gezieltere Analyse vornehmen zu können. Dabei wurde eine Auswahl getroffen und nur Effekte beschrieben, die für die Arbeit mit VFX relevant sind. Das Modell soll es erlauben, die Besonderheiten von verschiedenen Effekten zu begreifen und dadurch eine bessere digitale Reproduktion ebendieser zu gewährleisten.

Letzten Endes ist die Arbeit mit filmischen Werken immer abhängig vom Betrachter und so war es das Ziel, auch die Eigenschaften der menschlichen Wahrnehmung mit den physikalischen Gesetzen der Filmaufzeichnung in Einklang zu bringen. Das sollte besondere Erkenntnisse ermöglichen, die auch einen theoretischeren Ansatz an die Problematiken erlaubt, die ansonsten lediglich praktisch bearbeitet werden. So wurden auch die Relevanz und andere abstrakte Thematiken von Visual Effects reflektiert betrachtet, um Ansatzpunkte für weitere Überlegungen zu bieten.

Im letzten Kapitel wurden die erläuterten Themen zur Anwendung in der Praxis gebracht. Die beschriebenen Techniken erheben dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die digitale Technik entwickelt sich wohl auch zu schnell, um dem jemals dauerhaft gerecht zu werden. Es sollte vor allem versucht werden aufzuzeigen, welche Problematiken entstehen können und wie diese bearbeitet werden könnten. Ähnlich der Parabel des Mannes, dem man einen Fisch gibt, um ihn einen Tag vom Hunger zu befreien, sollte in dieser Arbeit kein reines Tutorial beschrieben werden, sondern – um im Gleichnis zu sprechen – das Fischen erklärt werden, um den Mann ein Leben lang zu ernähren.

Anhang A

Inhalt der CD-ROM

Format: CD-ROM, Single Layer, ISO9660-Format

A.1 Hauptdokument

Pfad: /

ma_palnstorfer_moritz.pdf Die Masterarbeit *Simulation von Realität durch die digitale Reproduktion bildverändernder Effekte*

A.2 Bilder

Pfad: /Bilder/

*.png und *.jpg Verwendete Rastergrafiken

*.pdf Verwendete Vektorgrafiken

A.3 PDF

Pfad: /PDFs/

*.pdf Verwendete Quellen, die im PDF-Format vorliegen

A.4 Online-Quellen

Pfad: /Online-Quellen/

*.htm und *.html Gespeicherte Onlinequellen

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] Michael S. Bittermann, I. Sevil Sariyildiz und Özer Ciftcioglu. *Blur in Human Vision and Increased Visual Realism in Virtual Environments*. Online. 2007. URL: <http://www.cs.virginia.edu/~gfx/courses/2006/DataDriven/bib/illumination/debevec98.pdf>.
- [2] Ron Brinkmann. *The Art and Science of Digital Compositing*. San Diego, CA: Academic Press, 1999.
- [3] Jody Duncan. „Tron:Legacy“. In: *Cinefex* 124 (Jan. 2011), S. 28–57.
- [4] Barbara Flückiger. *Visual Effects - Filmbilder aus dem Computer*. Marburg: Schüren Verlag, 2008.
- [5] Cindy M. Goral u. a. *Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces*. Online. Cornell University. Ithaca, New York 14853. 1984. URL: <http://courses.be.washington.edu/ARCH/481/00HomePage/4.Miscellaneous/0.Handouts/1984.radiosity.siggraph.pdf>.
- [6] Philipp Hahn. *Mit High Definition ins digitale Kino*. Marburg: Schüren, 2005.
- [7] Rudolf Kingslake. *Optics in Photography*. Bellingham, WA: SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1992.
- [8] Kodak. *Kodak Image Sensors - Shutter Operations for CCD and CMOS Image Sensors*. URL: <http://www.kodak.com/ek/US/en/ShutterOperations.htm>.
- [9] Ben de Leeuw. *Digital Cinematography*. London: Academic Press Limited, 1997.
- [10] Margaret W. Matlin. *Sensation and Perception*. 4. Aufl. Needham Heights, MA: Allyn und Bacon, 1997.
- [11] David B. Mattingly. *The Digital Matte Painting Handbook*. Indianapolis, IN: Wiley Publishing, Inc., 2011.
- [12] Zoran Perisic. *Visual Effects Cinematography*. Woburn, MA: Butterworth-Heinemann, 2000.

- [13] Erik Reinhard u. a. *High Dynamic Range Imaging - Acquisition, Display and Image-Based Lighting*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- [14] Richard Rickitt. *Special Effects - the History and Technique*. New York, NY: Billboard Books, 2000.
- [15] Derek Spears. „3D Compositing“. In: *The VES Handbook of Visual Effects - Industry Standard VFX Practices and Procedures*. Hrsg. von Jeffrey A. Okun und Susan Zwerman et al. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2010. Kap. 7.
- [16] Scott Squires. „Clean Plates“. In: *The VES Handbook of Visual Effects - Industry Standard VFX Practices and Procedures*. Hrsg. von Jeffrey A. Okun und Susan Zwerman et al. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2010. Kap. 3.
- [17] Dave Stump, Mary Ollstein und David Reisner. „Digital Cinematography“. In: *The VES Handbook of Visual Effects - Industry Standard VFX Practices and Procedures*. Hrsg. von Jeffrey A. Okun und Susan Zwerman et al. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2010. Kap. 3.
- [18] Bill Taylor. „Greenscreen and Bluescreen Photography“. In: *The VES Handbook of Visual Effects - Industry Standard VFX Practices and Procedures*. Hrsg. von Jeffrey A. Okun und Susan Zwerman et al. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2010. Kap. 3.
- [19] Marc Cotta Vaz und Craig Barron. *The Invisible Art - The Legends of Movie Matte Painting*. San Francisco, CA: Chronicle Books, 2002.
- [20] Steve Wright. *Digital Compositing for Film and Video*. Burlington, MA: Focal Press, 2002.
- [21] Friedrich von Zglinicki. *Der Weg des Films*. Hildesheim: Olms Georg AG, 1984.

Filme und audiovisuelle Medien

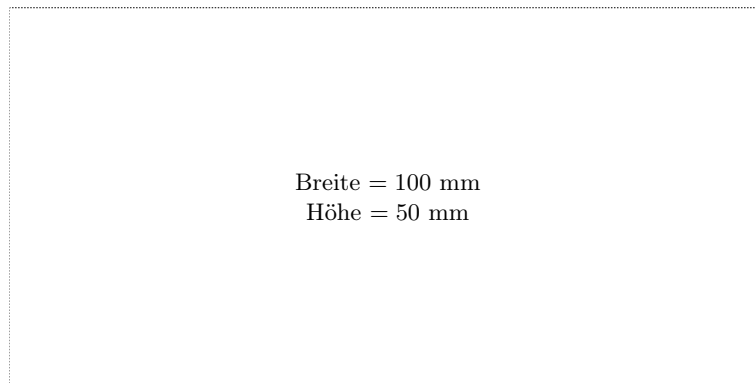
- [22] *L'homme à la tête de caoutchouc*. Film. Regie/Drehbuch: Georges Méliès. 1902.
- [23] *Star Trek II: The Wrath of Khan*. Film. Regie: Nicholas Meyer; Drehbuch: Jack B. Sowards, Harve Bennett. 1982.
- [24] *Star Wars: Episode IV A New Hope*. Film. Regie/Drehbuch: George Lucas. 1977.
- [25] *Tron*. Film. Regie: Steven Lisberger; Drehbuch: Steven Lisberger, Bonnie MacBird. 1982.

Online-Quellen

- [26] URL: http://www1.appstate.edu/~kms/classes/psy3203/Gibson/texture_gradient1.gif (besucht am 04.10.2012).
- [27] Florian Adler. URL: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/HafenMuenster.JPG> (besucht am 04.10.2012).
- [28] Arri. *ALEXA Specifications*. URL: http://www.arri.com/camera/digital_cameras/cameras/camera_details.html?product=9&subsection=technical_data&cHash=162d1b0527fd98e5f204488ab9cc7257 (besucht am 04.10.2012).
- [29] Friedrich Böhringer. URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Zimba_Panorama.jpg (besucht am 04.10.2012).
- [30] Edward H. Adelson. URL: http://web.mit.edu/persci/people/adelson/images/checkershadow/checkershadow_double_full.jpg (besucht am 04.10.2012).
- [31] *Licht – Wechselwirkung mit Materie*. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Licht#Wechselwirkung_mit_Materie (besucht am 04.10.2012).
- [32] Lola Rain. URL: http://4.bp.blogspot.com/_i0T9TZmSo1E/TG1Cv6r1AII/AAAAAAAAAZM/P6-U0oyPX1A/s1600/bw+train+tracks.jpg (besucht am 04.10.2012).
- [33] *Raumwahrnehmung*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Raumwahrnehmung> (besucht am 04.10.2012).
- [34] snty-tact. URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Lens_Flare.JPG (besucht am 04.10.2012).
- [35] Thomas Steiner. URL: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Schaerfentiefe.svg>.
- [36] *Strahlenoptik*. URL: <http://www.scandig.info/Strahlenoptik.html> (besucht am 04.10.2012).
- [37] *Verzeichnung*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Verzeichnung> (besucht am 04.10.2012).
- [38] Paul van Walree. *Vignetting*. URL: <http://toothwalker.org/optics/vignetting.html> (besucht am 04.10.2012).
- [39] Mathias Will. *Zehnminütiges „Der Hobbit“-Screening erntet negative Reaktionen*. URL: <http://www.filmstarts.de/nachrichten/18473445.html> (besucht am 04.10.2012).

Messbox zur Druckkontrolle

— Druckgröße kontrollieren! —



— Diese Seite nach dem Druck entfernen! —