
Praxisnahe Einführung in das 3D - Compositing

Bachelorarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien
vorgelegt von

Matthias Jürgensen

Matrikelnummer 18305

an der Hochschule der Medien Stuttgart,
Fakultät Electronic Media

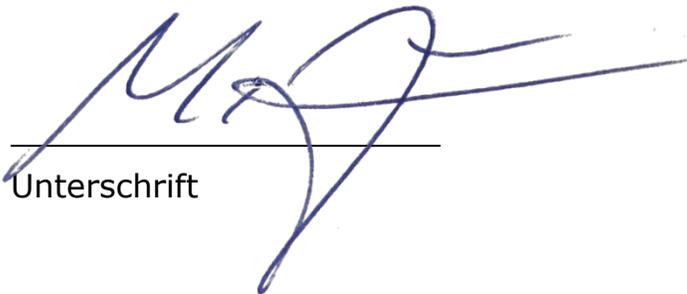
Im April 2011

1. Prüferin: Prof. Katja Koepl
2. Prüfer: Peter Ruhrmann

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich meine Bachelorarbeit selbständig angefertigt und die wörtlich oder inhaltlich benutzten Quellen und Hilfsmittel als solche kenntlich gemacht habe.

Stuttgart, den 01.04.2011



Unterschrift

Inhalt

Vorbemerkung	5
1. Einleitung	5
2. Grundlegender Arbeitsablauf eines VFX- Postproduktionshauses	7
2.1 Matchmoving-Department	8
2.2 3D-Department / CGI	12
2.3 Matte-Painting	14
2.4 Digitales Compositing	14
3. Compositing Tools.....	16
3.1 Node-basiertes Compositing	16
3.2 Einbettung von 3D-Ressourcen	18
3.3 Marktführende Compositingsysteme	19
3.4 Nuke – Ein Muss für den Spielfilm-Compositor.....	20
4. Leitfaden durch ein NukeX 3D-Compositing-Setup	22
4.1 Grundkomponenten des 3D-Setup	22
4.2 Manual für einen einfachen Set-Extension-Shot.....	27
4.2.1 Ausgangssituation.....	28
4.2.2 Laden des Materials	29
4.2.3 Matchmoving mit integriertem CameraTracker	30
4.2.4 Cleanplate-Projection	34
4.2.5 Set-Extension: Einsetzen des Hintergrunds	38
4.2.6 Finales Rendering	41
4.3 Produktionsaufwand mit und ohne 3D-Compositing	43

5. Praxisnahe Anwendungsbeispiele 3D-Compositing	44
5.1 Set-Extension durch bewegte Camera-Projection.....	45
5.2 Beleuchtungsmodelle im 3D-Compositing	53
5.3 Plate Cleaning für CGI Integration & 2,5Relighting	58
5.3.1 Plate Cleaning für CGI-Integration.....	58
5.3.2 Optimierung der CG Bildintegration durch 2,5D Relighting ..	62
6. Fazit: Verschwimmen der Grenzen 3D - 2D?	66
Abkürzungsverzeichnis / Glossar	68
Literatur- und Quellenverzeichnis	68
Abbildungsverzeichnis	78

Vorbemerkung

In dieser Arbeit wird vielfach von "3D" gesprochen. Dabei ist die Rede von der Bearbeitungsmöglichkeit visueller Komponenten im virtuellen, dreidimensionalen Raum.

Dies ist nicht gleichzusetzen mit dem umgangssprachlich häufig als 3D bezeichneten Stereoskopie-Verfahren, bei dem durch spezielle Aufnahme- und Wiedergabeverfahren zweidimensionaler Abbildungen ein räumlicher Bildeindruck vermittelt wird!

1. Einleitung

Ob für Fernsehen, Kino oder im Bereich anderer multimedialer Anwendungen, die Visual-Effects¹ Branche befindet sich seit vielen Jahren in stetigem Wachstum und Weiterentwicklungsprozess. In der folgenden Arbeit wird auf Anwendungen im Spielfilmbereich Bezug genommen. Gerade hier spielen visuelle Effekte eine große Rolle und zwar nicht nur bei lebensechter Darstellung unglaublicher Weltuntergangsszenarien oder fotorealistischer Science-Fiction Geschichten. Neben diesen Effekt-Schlachten sind es häufig „Non-Effekt-Produktionen“, bei denen auf VFX nicht mehr verzichtet werden kann. Der Betrachter ahnt hier nicht, dass ein Teil der gesehenen Bilder erst nach den Dreharbeiten zum Leben erweckt wurde. Ob aus praktischen oder kostentechnischen Gründen, letztlich gibt es fast immer etwas, das nach den Dreharbeiten hinzugefügt oder aus dem

¹ Visuelle Effekte Abk. VFX. In der Postproduktion digital erzeugter Bildeffekt

Bild entfernt werden soll. Dabei trägt das digitale Compositing einen entscheidenden Anteil für das technische und künstlerische Gelingen eines Films. Mit ansteigender Komplexität der Aufgaben und zunehmender Verlagerung vom Set in die VFX-Postproduktionshäuser, unterliegen die einzelnen Bereiche dieser Firmen einer ständigen Weiterentwicklung um Arbeitsabläufe effizienter zu gestalten. So werden im digitalen Compositing laufend die Möglichkeiten verbessert, diese ursprünglich zweidimensionale Arbeit um Kapazitäten im dreidimensionalen Raum zu erweitern.

Diese Arbeit erklärt zunächst die Bedeutung des digitalen Compositings im Rahmen der VFX-Produktion und beleuchtet praxisnah einige Vorteile, die durch Einbindung der 3D-Fähigkeiten in das Compositing entstehen.

2. Grundlegender Arbeitsablauf eines VFX-Postproduktionshauses

Auf die inhaltlichen und planerischen Prozesse zwischen Auftraggeber und VFX-Firma vor der eigentlichen Postproduktion wird an dieser Stelle nicht eingegangen (wie z.B. Mood² oder Previsualisierung³).

Der hauptsächliche Arbeitsprozess, also die Effekt-Bearbeitung des Materials, beginnt in der Regel dann, wenn erste Teile der finalen Schnittversion (dem sog. Locked Cut⁴) zur Verfügung stehen. Die Auswahl und Länge dieser Shots⁵ zzgl. der Handles⁶ stehen zu diesem Zeitpunkt bereits fest. Im Gegensatz zu manch anderen Produktionsbereichen, verursacht jedes einzelne Frame⁷ bei der visuellen Effektbearbeitung einen hohen Arbeitsaufwand. Die Berücksichtigung solcher Aspekte ist ebenso erforderlich, wie eine gute Kommunikation innerhalb einer VFX-Produktions-Pipeline⁸. Daher ist der Einblick in die wesentlichen Abteilungen einer Produktion für das Verständnis des später behandelten 3D-Compositings wichtig. In dem normalen VFX-Arbeitsprozess sind die folgenden Bereiche beteiligt:

² Engl. „mood“ - „Stimmung“, bezeichnet Grundstimmung, Atmosphäre die eine VFX-Sequenz unter Berücksichtigung aller Bildkomponenten erzielen soll, wird im Vorfeld als Zeichnung oder oberflächliches Compositing erstellt

³ Vor dem Dreh erstellte, sehr einfache 3D-Animation als hilfreiche Voransicht für VFX eines Shots

⁴ Die finale Schnittversion, keine Änderungen werden mehr durchgeführt.

⁵ Engl. „shot“ - „Einstellung“. Einzelbildsequenz die ohne Unterbrechung aufgenommen wurde, in der VFX-Bearbeitung hat sich „Shot“ als Begriff etabliert.

⁶ Länge vor und nach dem Shot, zunächst nur grob mitbearbeitet für Spielraum im Schnitt.

⁷ Engl. „frame“ - „Einzelbild“, z.B. 24 Einzelbilder/Sek. bei Aufnahmen mit normaler Filmkamera

⁸ Engl. „pipeline“ - „(Rohr)leitung“. Bezeichnet das vernetzte Produktionssystem einer VFX-Firma

2.1 Matchmoving-Department

Nicht selten handelt es sich beim Drehmaterial um Einstellungen, die bspw. per Handkamera, vom Kamerakran oder vom Dollywagen⁹ aus aufgenommen wurden. Anders als bei Stativaufnahmen, bei denen die Kameraposition unverändert bleibt, besteht hier eine Verschiebung der Kamera-Achse. Je nachdem in welcher Tiefe des Raumes sich die Bildinhalte zueinander befinden, können dabei Parallaxe¹⁰ und perspektivischen Veränderungen der Bildinhalte auftreten (Abb.1).

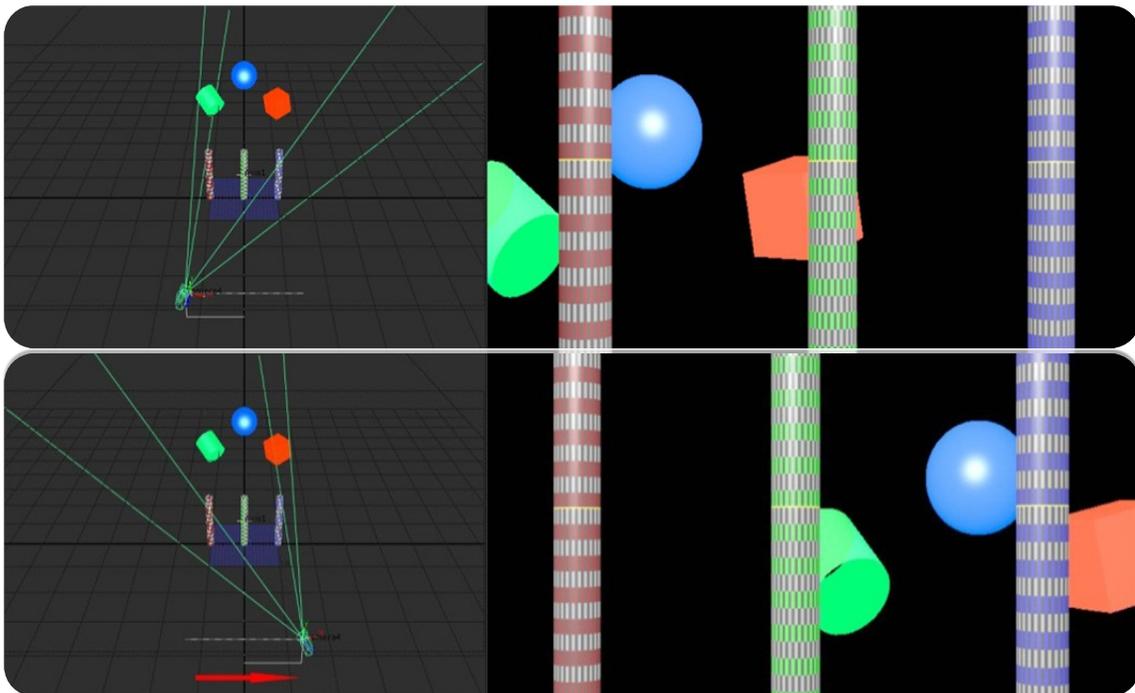


Abb.1 Parallaxe: Durch die Kamerafahrt entsteht eine Verschiebung der Raumebenen im Bildausschnitt

Jedes Bildelement, das im Compositing hinzugefügt werden soll, muss diese Veränderungen ebenso verinnerlichen um nicht wie ein

⁹ Kamerawagen mit dem ruckelfreie Kamerafahrten umgesetzt werden können

¹⁰ Griech. „παράλλαξις“ – „Vertauschung“. Der Winkel zwischen den Sehstrahlen zu einem Punkt (Objekt) von zwei verschiedenen Beobachtungsorten aus.

Fremdkörper zu wirken. Die hierfür notwendigen Daten werden im Matchmoving Department erstellt.

Der Matchmove-Artist benötigt möglichst genaue Angaben vom Set wie z.B. Größe des Kamerasensors bzw. des belichteten Filmformats oder die Brennweite der verwendeten Kameraoptik. Unter Verwendung eines 3D-Tracking-Programms (auch Matchmoving Tool) begleitet der Artist im Wesentlichen einen dreistufigen Prozess.

Beim **Tracking** werden Bildbereiche erfasst, die einen hohen Kontrastumfang aufweisen und so als Muster für einen Trackpunkt dienen. Möglichst über das gesamte Bild „sät“ das Matchmoving Tool eine Vielzahl an Trackpunkten, im Weiteren auch als Feature bezeichnet. Verschiebt sich während des Trackingprozesses nun der Bildinhalt, so vergleichen die gesetzten Features ihre zugewiesenen Bildmuster aus dem vorigen Frame und repositionieren sich an die entsprechende Stelle im aktuellen Frame. Über die gesamte Shot-Länge werden solche Bildbereiche verfolgt und für die weitere Verwendung gespeichert.

Wichtig für den erfolgreichen 3D-Track ist, dass die Features über den gesamten Bildausschnitt gestreut werden, und dabei insbesondere unterschiedliche Tiefenebenen abdecken (Abb.2). Nur so lassen sich später die Kamerabewegungsdaten errechnen. Der Artist optimiert den Vorgang, indem er bestimmte Bildbereiche mit zusätzlichen Features bestückt oder dem Programm Bewegungsabläufe des Shots prognostiziert. Inhalte, die sich eigenständig verändern -also unabhängig von der Kamerabewegung- müssen maskiert¹¹ und dadurch vom Trackingprozess isoliert werden. Z.B. lassen sich durch eine Person, die während einer Kamerafahrt das

¹¹ Eine Maske begrenzt Bildbereiche die eine Bearbeitung ein- oder ausschließen soll. Besteht aus Graustufeninformation im sog. Alpha-Kanal des Bildes.

Bild durchquert, keine Rückschlüsse auf die eigentliche Kamerabewegung ziehen. Die Person müsste daher vom Tracking separiert werden, da sie das Ergebnis des Matchmovings verfälschen würde.



Abb.2 Tracking Features beim Matchmoving mit NukeX

Im zweiten Schritt findet das **Solving** statt. Mit Hilfe der getrackten Features aus verschiedenen Tiefenebenen des Bildes, können durch inverse Berechnung der Sehstrahlen¹² der Kamera die Positions- und Rotationsdaten der ursprünglichen Set-Kamera reproduziert werden. Diese virtuelle Kamera wird mitsamt ihrer Bewegung in einem dreidimensionalen Raum abgebildet und in ein räumlich festes Verhältnis zu der ebenfalls erzeugten Point-Cloud¹³ angeordnet. Bei Letzterer handelt es sich um ein unbewegtes, dreidimensionales Abbild bestimmter Punkte am Set, das ebenfalls während des

¹² Hier: Die Strahlen die vom Augpunkt den durch die Kameraöffnung erfassten Bildbereich abdecken

¹³ Die dreidimensionale Reproduktion von Objekten in Form einer Punktwolke im Koordinatensystem, erstellt durch Matchmoving oder 3D-Scanning (z.B. lidarvfx.com)

Solvings errechnet wird (Abb.3). Mit der Kamera und der Point-Cloud erhält man eine grobe 3D-Nachbildung des Drehortes, repräsentativ genug, um weitere Bildelemente in korrektem räumlichem Verhältnis einzusetzen. Betrachtet durch die virtuelle Kamera, entspricht die Wahrnehmung neu eingebauter Elemente hinsichtlich Bewegung und Perspektive der des Drehmaterials.

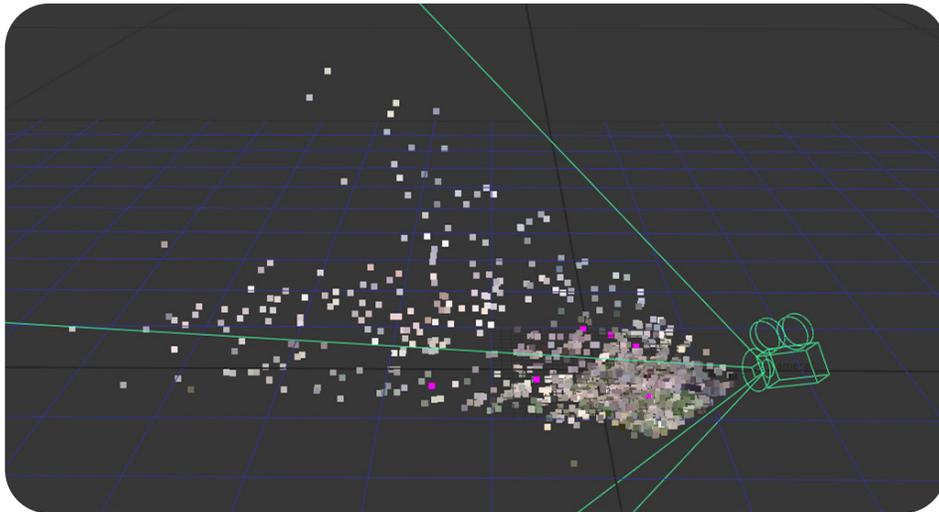


Abb.3 Point-Cloud im NukeX 3D-Viewer, erstellt aus den Track Features in Abb.2

Im nächsten Schritt wird die sog. **Ground-Plane**¹⁴ festgelegt. Dabei bestimmt der Artist, welche Punkte der Point-Cloud sich auf der Grundfläche des Weltkoordinatensystems¹⁵ befinden sollen. Dies ist hilfreich für die Orientierung im weiteren Verlauf. Wird bspw. ein Zimmer mit Tisch getrackt, um später ein CG-Objekt auf der Tischplatte zu integrieren, so wäre es sinnvoll auch diese als Ground-Plane zu bestimmen und nicht die Bodenfläche, wie in vielen anderen

¹⁴ Bezeichnet die Grundfläche des Koordinatensystems ($y=0$)

¹⁵ Abk. WKS, ist das Ursprungskoordinatensystem dem alle anderen Koordinatensysteme zugrunde liegen

Fällen. Zuletzt wird die virtuelle Kamera fest verkoppelt mit der Point-Cloud exportiert, um sie im 3D¹⁶- oder 2D-Department¹⁷ weiter zu verwenden.

Zu den bekannten Matchmoving-Paketen gehören „Boujou“ (Vicon), „PFTrack“ (The Pixel Farm) oder das deutlich günstigere „Syntheyes“ (Andersson Technologies). Besonders praktisch ist die Integration des „CameraTracker-Tools“ in das Compositing Programm „NukeX“ (The Foundry). Diese Verbindung von Matchmoving und Compositing kann in vielen Fällen den Arbeitsablauf deutlich beschleunigen¹⁸.

2.2 3D-Department / CGI¹⁹

Hier kreieren unterschiedlich spezialisierte 3D-Artists mithilfe entsprechender Software-Pakete computergenerierten Bildelemente (Abb.4). Dazu gehören neben der vielschichtigen Erzeugung klassischer 3D-Objekte auch das Herstellen von Elementen wie z.B. Feuer, Rauch oder Flüssigkeiten, auch „FX“ genannt. Auf die einzelnen Stufen und Unterteilungen der Prozesse wird hier nicht näher eingegangen²⁰. Entscheidend an dieser Stelle ist die perspektivisch korrekte Integration der erzeugten Objekte in die Live-Action-Plate²¹. Mit den aus dem Matchmoving gewonnenen Daten werden die Objekte im 3D-Raum so platziert, dass Sie die gewünschte Position im Raum der Originalaufnahmen repräsentieren.

¹⁶ Siehe Kapitel 2.2

¹⁷ Siehe Kapitel 2.4

¹⁸ Anwendungsbeispiel dazu in Kapitel 4

¹⁹ „Computer Generated Imagery“. Durch 3D-Computergrafik erzeugte Bilder in Filmproduktion

²⁰ Z.B. Modeling, Rigging, Animation oder Texturing. Literaturhinweis: John Edgar Park: Understanding 3D Animation Using Maya, Springer, Aufl.1

²¹ Bezeichnung für das am Drehort aufgenommene Bildmaterial, im Folgenden auch „Plate“ genannt

Hilfe bieten dabei die Referenzpunkte der Point-Cloud (s.o.). Beim Rendering²² wird das CG-Objekt nun durch die virtuelle Kamera „abgefilmt“, da diese in Position und Bewegung der realen Kamera entspricht.

Das gerenderte Objekt kann im nächsten Schritt an das Compositing oder Matte-Painting weitergegeben werden.

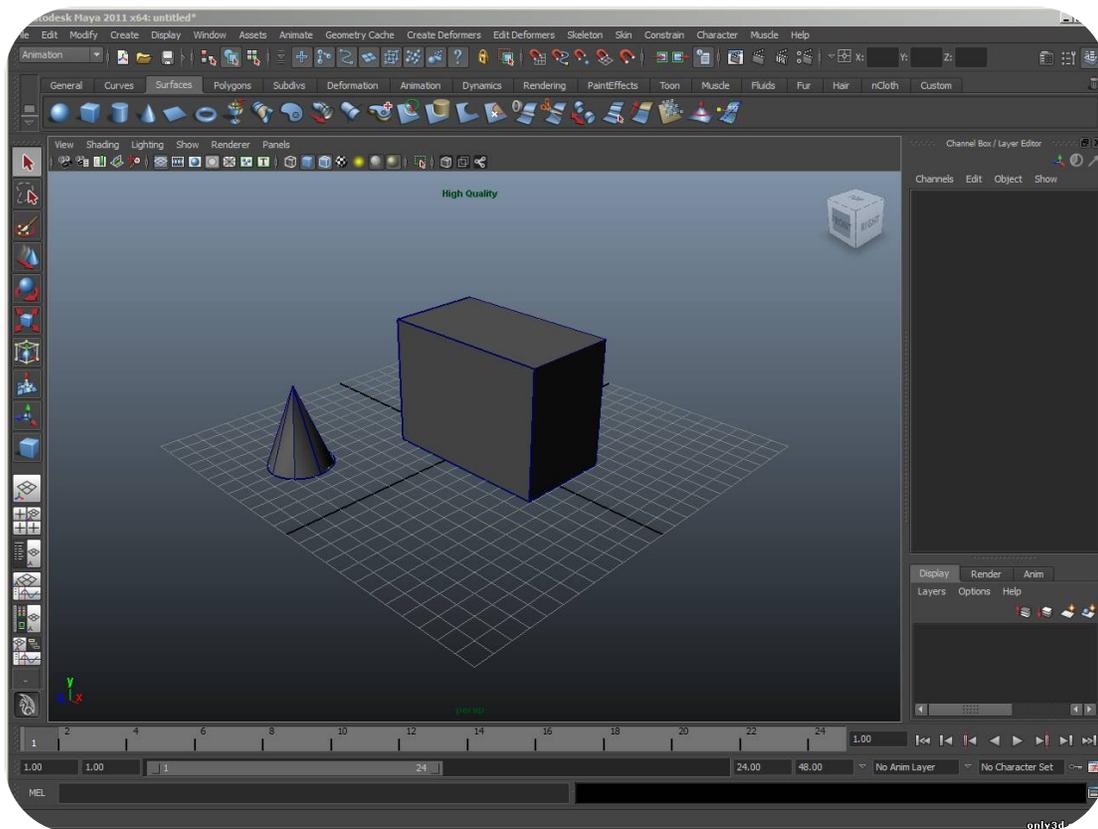


Abb.4 Maya2011 3D Visualisierungs- und Animationssoftware

²² Rechenoperationen, die aus 3D-Rohdaten oder den 2D-Elementen die finalen Bilddaten erzeugen.

2.3 Matte-Painting

Zu den hauptsächlichen Aufgaben eines Matte-Painting-Artists zählt die Erschaffung von Background-Plates²³, die im Rahmen digitaler Set-Extensions benötigt werden. Dafür werden sowohl 2D-als auch 3D-Elemente foto-realistisch miteinander verbunden und durch digital „gemalte“ Elemente ergänzt. Bei einer Set-Extension werden Teile des Hintergrunds vom Original-Set oder dem Greenscreen-Studio ausgetauscht und durch eine unbestimmte Zahl an gestaffelten Bildebenen erweitert. Matte-Painting Artist arbeiten dominant mit Software wie z.B. Adobe Photoshop.

2.4 Digitales Compositing

Innerhalb der VFX-Produktion stellt das digitale Compositing den finalen und für die Glaubwürdigkeit eines VFX-Shots sehr wichtigen Abschnitt im Workflow dar. Es geht im Allgemeinen darum, mindestens 2 Bildelemente so zusammenzufügen, dass sie vom Betrachter als einheitlich stimmiges Bild wahrgenommen werden. Das Publikum soll den ungetrübten Eindruck haben, die sichtbaren Dinge wären bereits am Drehort so aufgenommen worden. Dabei kommen für den Compositing-Artist die unterschiedlichsten Quellen für die zu verbindenden Komponenten in Frage: Ob real gedrehtes Filmmaterial, Fotos oder Computer-generierte Bilder (CGI), das Grundprinzip des zweidimensionalen Compositings bleibt vergleichbar. Stark vereinfacht dargestellt werden dabei die verschiedenen Bildelemente in separaten Ebenen, ähnlich einer Kollage flach

²³ Compositing Element bzw. Ebene für den Hintergrund

übereinandergelegt. Die Transparenz und andere Eigenschaften dieser Ebenen können durch vielfältige Operationen selektiv beeinflusst werden. Dadurch entsteht eine fotoreale Zusammensetzung aller Komponenten, das sog. Composite, zu deutsch „zusammengesetzt“.



Abb.5 Greenscreen Keying - gängige Aufgabe im Compositing

In großen VFX-Unternehmen werden die Tätigkeiten des Compositings in verschiedene Arbeitsbereiche unterteilt, ähnlich wie im 3D-Department. Die unterschiedlich spezialisierten Artists arbeiten sich gegenseitig aus Abteilungen wie Rotoscoping-²⁴, Paint-²⁵ und Compositing-Department²⁶ zu. Nach Fertigstellung und Abnahme der Arbeiten ist der Compositing-Artist i.d.R. auch für das finale Rendering der Shots sowie der entsprechenden Masken-Layer verantwortlich, die anschließend in das Color-Grading²⁷ übergeben werden.

²⁴ Das Erstellen von Masken Frame für Frame (unter Benutzung von Interpolation wenn möglich)

²⁵ Technik um in Bildsequenzen bestimmte Bereiche mit Malwerkzeugen zu retuschieren oder zu (re)produzieren.

²⁶ Compositing (als Teilbereich des 2D-Departments): Bezeichnet das eigentliche Zusammensetzen der Bildkomponenten, ohne die anderen genannten Arbeitsbereiche.

²⁷ Zuständig für die Beeinflussung der Licht- und Farbstimmung eines Films.

3. Compositing Tools

3.1 Node-basiertes Compositing

Im professionellen Spielfilm Bereich hat sich bei den Compositing Tools das Arbeiten mit node-basierten Interfaces bewährt.

Wie in Abb. 6 dargestellt, werden alle Operationen, die die Bilddaten beeinflussen jeweils als „Node“ (Knotenpunkt) dargestellt. Dabei wird das Material über einen „Read-Node“²⁸ als Quelle in den Arbeitsbereich²⁹ geladen. Ähnlich einer Baumstruktur werden weitere Nodes mit unterschiedlichen Bildmanipulationsfunktionen über Branches³⁰ verbunden. Die Bildinformation „fließt“ nun von der Quelle aus entlang der verbundenen Tools. Schritt für Schritt finden dort die jeweiligen Modifikationen statt bis das Ergebnis im gewünschten Bildformat über einen „Write-Node“³¹ in das festgelegte Zielverzeichnis geschrieben werden kann.

Bei zunehmender Komplexität des zu bearbeitenden Shots bietet diese node-basierte Programmstruktur bessere Verknüpfungsmöglichkeiten der verschiedenen Tools untereinander und dabei eine logischer nachvollziehbare Arbeitsoberfläche als ein auf Ebenen basierendes Tool wie „After-Effects“ von Adobe.

Bei Letzterem werden die Bilddaten durch das Übereinanderlegen von Effektebenen modifiziert und diverse Verknüpfungen erstellt. Bei zunehmender Komplexität des Shots wird die Bearbeitung unübersichtlicher und umständliche Untergliederungen in zahlreiche Precomps³² werden notwendig.

²⁸ Quell-Node im Programm Nuke. In anderer Software auch „FileIn“ oder „Loader“ genannt

²⁹ Auch Script oder Comp genannt

³⁰ Unidirektionale Verbindungslinien. Übergeben die Daten an das nächste Tool.

³¹ Auch „FileOut“ oder „Saver“ genannt

³² Das Zusammenfassen mehrerer Layer zu einer Untercomposition

Nicht zuletzt deshalb hat sich die node-basierte Compositing-Skriptstruktur im Bereich Spielfilm durchgesetzt während Ebenenbasierte Programme auf Grund ihrer Vorzüge beim Animieren den Bereich Motion-Graphics anführen.

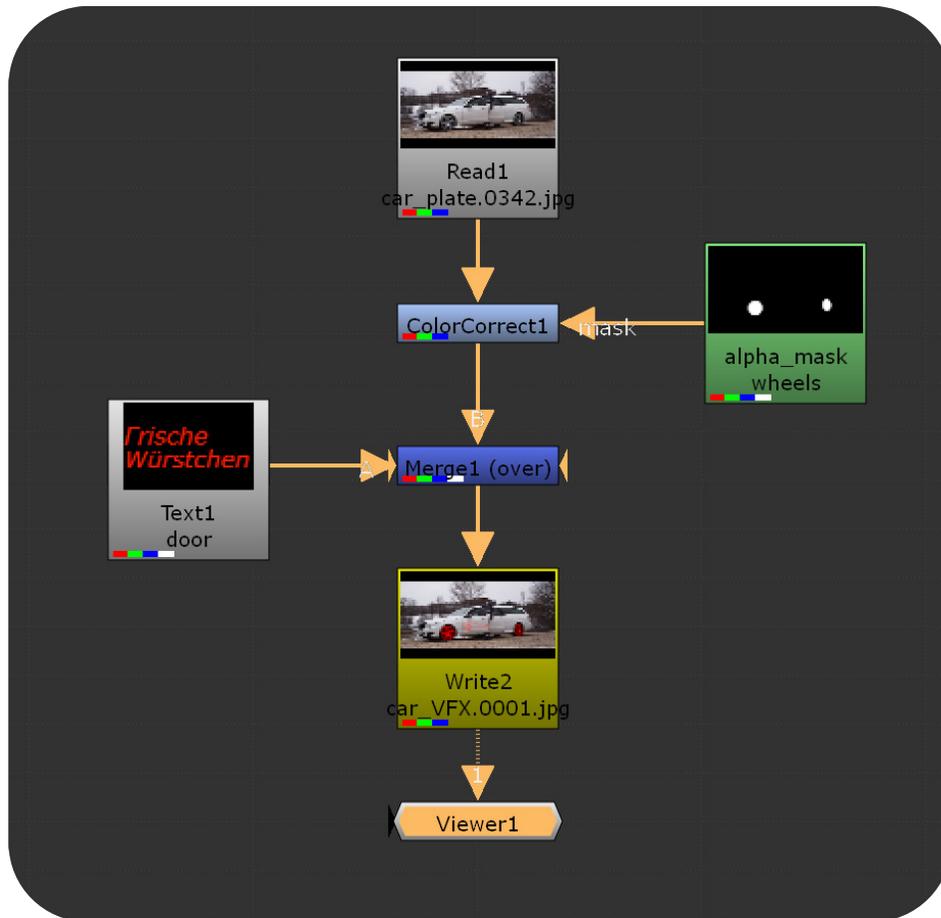


Abb.6 Node-basiertes Compositing- Script

3.2 Einbettung von 3D-Ressourcen

Die zunehmende Komplexität vieler VFX-Produktionen lässt die direkten Bearbeitungsmöglichkeiten eines reinen 2D-Compositing-Tools schnell an Grenzen stoßen. Insbesondere wird das deutlich beim Arbeiten mit Footage, welches nicht aus einer festen Kameraposition aufgenommen wurde, wie bspw. einer Fahrt oder Aufnahmen „aus der Hand“. Die daraus resultierenden perspektivischen Auswirkungen auf zusammensetzende Bildelemente im Compositing wurden im Kapitel Matchmoving erklärt. Die dort gewonnenen Daten -also virtuelle Kamera und Point-Cloud- können jedoch nur in einer Applikationen mit entsprechendem 3D-Raum genutzt werden. Steht nur ein 2D-Compositing Tool zur Verfügung, müssen die Bildelemente zuvor in einem 3D-Animationsprogramm mithilfe der Matchmoving-Information animiert werden. Um dieser Einschränkung entgegenzutreten und dem Compositing-Artist eine direkte und zeitsparende Arbeitsweise zu ermöglichen, wurde in viele Compositing-Tools sukzessive ein vollwertiger 3D-Raum implementiert (Abb.7).



Abb.7 3D-Composite & 2D-Ergebnis

Viele Aufgaben des 3D-Departments können seitdem ohne Umwege direkt im Compositing umgesetzt werden. Darüber hinaus bietet ein 3D-Raum eine bessere Visualisierung beim Bearbeiten komplizierter Anordnungen der Bildkomponenten. Einige Vorteile werden in den folgenden Kapiteln verdeutlicht.

3.3 Marktführende Compositingsysteme

Unter den hardwaregebundenen Compositing-Tools ist besonders „Flame“ von Autodesk hervorzuheben. Als „schlüselfertiges“ System wird es in Form eines speziell geschnürten Pakets aus Hochleistungs-hardware mit betriebsbereiter Software vertrieben. Die inzwischen ebenso erhältliche Softwareversion ist nur für wenige High-End-Workstations zertifiziert. Bemerkenswert ist vor allem die sehr hohe Arbeits- und Reaktionsgeschwindigkeit bei Effekten in höchster Qualität und maximalen Auflösungen, insbesondere bei komplexen Arbeiten in dem voll entwickelten 3D-Compositing Raum.

In der Regel kommen Software-Only³³ Compositing-Tools noch nicht an diese Geschwindigkeitwerte, dafür bieten Sie qualitativ vergleichbare Ergebnisse und vor allem einen um zwei Stellen geringeren Kaufpreis. Für die Nutzung der Software geben die Hersteller lediglich Systemempfehlungen ab, wobei hier im mittleren Preissegment bereits gute Ergebnisse erzielt werden können. Aus diesen Gründen sowie den guten Vernetzungs- und Modifikationsmöglichkeiten, machen diese Compositing-Tools den Hauptanteil in der Branche aus.

³³ I.G.z. hardwarebasierten Tools werden diese Programme ohne die Bindung an bestimmte Hardwarekomponenten vertrieben.

Hervorzuheben sind hier die Programme „Nuke“ vom britischen Entwickler The Foundry und „Fusion6“ von der kanadischen Firma Eyeon. Beide Programme verfügen über 3D-Fähigkeiten und die notwendigen Renderer³⁴, um dreidimensionale Arbeiten direkt in den zweidimensionalen Compositing-Workflow einzubinden.

Die in dieser Arbeit erklärten Fallbeispiele und die verwendeten Features beschränken sich auf NukeX (Vers. 6.2.1.). NukeX ist eine erweiterte Version des regulär erhältlichen Nuke. Die Erweiterung bezieht sich auf Features wie den integrierten CameraTracker oder einem DepthGenerator³⁵.

3.4 Nuke – Ein Muss für den Spielfilm-Compositor³⁶

Nuke ist 1993 ursprünglich als Inhouse-Tool³⁷ der VFX-Firma Digital Domain entwickelt worden. Insbesondere bei der Arbeit an James Camerons „Titanic“ 1997 wuchsen die Bemühungen der Entwickler die 3D-Fähigkeiten des Tools voranzubringen. 2002 wurde Version 4 von der Tochtergesellschaft D2 dann an die Öffentlichkeit vertrieben, mittlerweile mit integriertem OpenGL³⁸-unterstütztem 3D-Workspace. Die Weiterentwicklung und der Vertrieb wurden 2007 schließlich von der britischen Firma TheFoundry übernommen, die das Tool in engem Austausch mit führenden VFX-Facilities stetig weiterentwickelt. Oberfläche und Prozessstruktur basieren auf der Programmiersprache Python³⁹. Das Tool ist dementsprechend gut modifizierbar

³⁴ siehe Rendering

³⁵ NukeX-Tool entwickelt von The Foundry. Generiert eine Depth Map aus der Live Action Plate

³⁶ Andere Bezeichnung für Compositing Artist

³⁷ Nur für die eigene Produktionspipeline entwickelt, nicht am Markt erhältlich.

³⁸ „Open Graphics Library“ Spezifikation für programmiersprachenunabhängige Schnittstelle zur Entwicklung von 2D- und 3D-Computergrafik.

³⁹ Objektorientierte Open Source, Als Skriptsprache häufig genutzt für Wartung und Modifikation div. Programme

und lässt sich gezielt individuellen Workflows anpassen oder in eine firmenspezifische Pipeline einbinden. Befehle in der bis Version 4 eingesetzten TCL⁴⁰ Skriptsprache sind noch parallel ausführbar. Aufgrund des universellen Einsatzes von Python, auch bei vielen anderen VFX-Applikationen, wird TCL wohl eine abnehmende Rolle spielen. Nuke arbeitet nativ im linearen 32bit-floating-point⁴¹ Farbraum und ist ausgelegt auf Multi-Channel-EXR⁴² Bildmaterial, was gerade auf die vielseitige Bearbeitung mit CGI-Render-Passes⁴³ im Bereich Spielfilm Rücksicht nimmt.

In den letzten Jahren hat Nuke sehr stark an Marktpräsenz gewonnen und scheint sich an die Spitze der node-basierten Compositing Tools im Spielfilmbereich zu setzen. Mittlerweile benutzen das Tool die größten VFX-Häuser weltweit als zentrale Compositing Plattform. Dazu gehören unter anderem Firmen wie ILM, Digital Domain, Framestore, Weta Digital oder Double Negative.

⁴⁰ „Tool Command Language“ Open Source Skriptsprache die -weil sehr textbasiert- als simpel gilt

⁴¹ Engl. "Floating Point number" – Gleitkommazahl. Gängige Darstellung reeler Zahlen in Computersystemen. Nuke arbeitet nativ mit 32bit pro Farbkanal.

⁴² Auch "OpenEXR". Open Source HDR-Grafikformat, von ILM entwickelt. Ermöglicht Einbindung von bis zu 1024 beliebigen Datenkanälen in einer Datei unter verlustfreier Kompression.

⁴³ Die Oberflächenbeschaffenheit eines CG-Elements werden für die bessere Beeinflussbarkeit im Compositing in separaten Passes gerendert. Man spricht auch vom Multipass-Rendering.

4. Leitfaden durch ein NukeX 3D-Compositing-Setup

Die große Verbreitung von Nuke als vorwiegend benutzte Compositing Applikation vieler VFX-Häuser, macht es für angehende Artists unumgänglich, sich mit dieser Software zu beschäftigen. *„Jeder Digital Artist, der im VFX Compositing in vorderster Linie mitspielen möchte, sollte mit Nuke umgehen können“*⁴⁴.

Die folgenden Abschnitte sollen den Einstieg in die 3D-Welt des Tools erleichtern.

4.1 Grundkomponenten des 3D-Setup

Die Einbindung des 3D-Raums innerhalb eines regulären 2D-Compositing-Scripts ist einfach nachvollziehbar. Innerhalb des normalen 2D-Workflows eröffnet man durch Anwendung entsprechender Nodes das 3D-Setup. Diese 3D-Nodes unterscheiden sich äußerlich durch Ihre abgerundete Form. Im Viewer⁴⁵ lässt sich daraufhin in die Ansicht des 3D-Raums wechseln, in dem man sich wie in üblicher 3D-Software frei bewegen und gemäß eines WKS orientieren kann (Abb.8). Geometrie⁴⁶, Kameras oder Beleuchtungsquellen können hier gemäß entsprechender Translations-, Rotations- und Skalierungsparameter räumlich positioniert und ausgerichtet werden.

⁴⁴ Wright, Steve, www.swdfx.com/PDF/Nuke_article_v3.pdf

⁴⁵ Betrachtungsfenster eines Compositing-Tools

⁴⁶ Grundgerüst eines computergenerierten dreidimensionalen Objekts

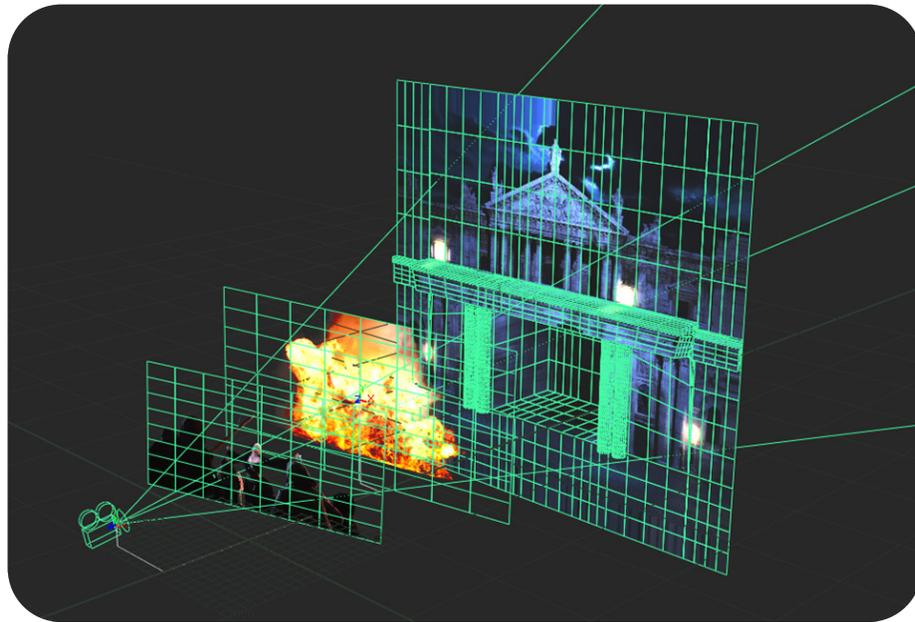
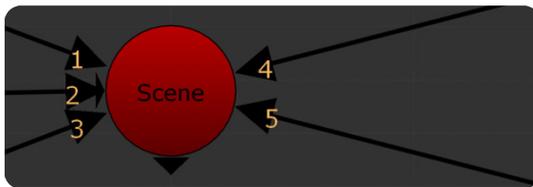


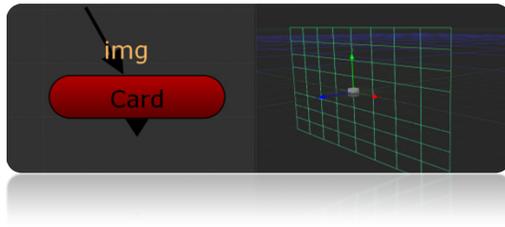
Abb.8 3D-Set durch Positionierung div. Geometrie

Für die Funktionsfähigkeit eines minimalen 3D-Setups in Nuke sind die folgenden Nodes notwendig.

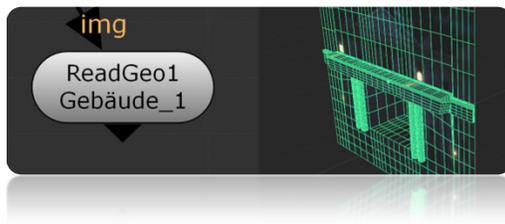
Scene:



Er bildet den Knotenpunkt der 3D-Szene an sich und bietet als Verbindungsglied Eingänge für eine nahezu unbegrenzte Anzahl weiterer 3D-Nodes wie bspw. Geometrien, Lichter oder Kameras. Bei Verwendung nur einer Komponente kann auf diesen Node verzichtet werden.

Card:

Eine Card stellt das einfachste geometrische Objekt dar das Nuke bietet. Auf dieser einfachen Fläche lassen sich bspw. 2D-Inhalte abbilden bzw. projizieren. Wie jedes andere Objekt lässt sich auch die Card im Raum frei bewegen, kombinieren und in Ihrer Form verändern. Weitere verfügbare simple Geometrien sind Cube, Cylinder und Sphere.

ReadGeo:

Anstelle einfacher Geometrien wie der Card lassen sich mit dem ReadGeo-Node komplexe, in 3D-Software generierte Geometrien im .fbx-⁴⁷ oder .obj-⁴⁸ Austauschformat in das Nuke-Script importieren. Das somit im 3D-Raum erstellte Mesh⁴⁹ lässt sich mit 2D-Material texturieren⁵⁰ bzw. als Projektionsfläche für dieses nutzen. Das von Autodesk entwickelte fbx-Format dient darüber hinaus nicht nur als Container für die Geometrie. Es lassen sich beim Export aus der 3D-Applikation auch weitere Komponenten der 3D-Szene speichern wie z.B. virtuelle Kamera, Lichter oder Displacement-

⁴⁷ Von Autodesk entwickeltes Dateiformat für den Austausch von 3D-Inhalten

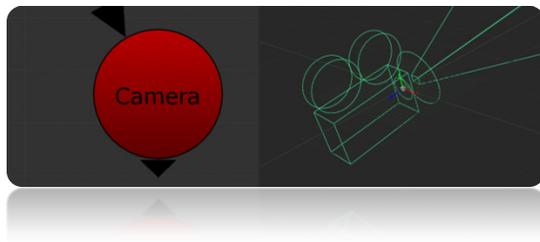
⁴⁸ Austauschformat für 3D-Inhalte

⁴⁹ Bezeichnung für die Polygonnetzstruktur eines 3D-Objektes

⁵⁰ Das „Überziehen“ eines 3D-Objektes mit einer aus Bildmaterial bestehenden Textur

Maps⁵¹. Letztere und eine Vielzahl anderer Modifikationen lassen sich auch in Nuke selbst erstellen, um Geometrie zu deformieren. Mit NukeX 6.2 wurde ein Modeler⁵² integriert, um direkt einfache 3D-Geometrie zu anfertigen. Dieser ist zwar begrenzt einsetzbar, aber sehr zweckmäßig bspw. für das unmittelbare Modeln detaillierterer Projektionsflächen.

Camera:



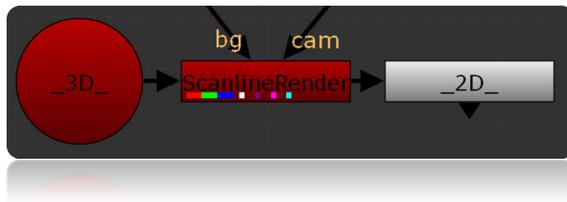
Durch diesen Node lässt sich eine virtuelle Kamera im 3D-Raum anordnen und nach Belieben animieren. Insbesondere lassen sich jedoch Kameradaten aus dem Matchmoving importieren, um die Bewegungspfade einer realen Kamera zu reproduzieren (vgl. Kapitel 2.1). Die dafür notwendigen Bewegungsdaten werden über .chan-files⁵³ ausgetauscht, die nicht nur auf die Kamera, sondern auch auf jedes andere Objekt im 3D-Raum angewendet werden können. Sie enthalten ein Set kartesischer Koordinaten für jedes einzelne Frame. Zudem können wichtige Parameter, wie z.B. Brennweite, Blenden-einstellungen oder Near- und Far-plane⁵⁴ vorgenommen werden.

⁵¹ Graustufeninformation, wird angew. auf 3D-Obj. um Oberfläche zu verformen bzw. zu detaillieren

⁵² Ermöglicht das Modeln einfacher Geometrie innerhalb Nukes 3D-Raum

⁵³ „Channel-Files“ Austauschformat für 3D Bewegungsdaten, beinhalten kartesische Koordinatenwerte für jedes einzelne Frame

⁵⁴ Definiert die vorderste und hinterste Aufnahme-Ebene der Kamera, das sog. View-Frustum, nur innerhalb dieses Bereichs berücksichtigt die Render Kamera Objekte im 3D-Raum

ScanlineRender / PrmanRender:

Zuletzt werden sämtliche Objekte über den Scene-Node mit dem ScanlineRender-Node verbunden. Entsprechend des Bildausschnitts der verbundenen Kamera errechnet dieses Tool aus der 3D-Szene das zweidimensionale Bild. Der Renderer bietet dazu Einstellungsmöglichkeiten für Features wie Multisampling⁵⁵, Antialiasing⁵⁶, Motion Blur⁵⁷ oder der Erzeugung des z-channels⁵⁸ für die spätere Verwendung der Tiefeninformation aus dem 3D-Setup.

Mit der Version 6.2 wurde der reguläre ScanlineRender um den PrmanRender-Node ergänzt. Dieser alternative 3D-Render-Node greift innerhalb des 3D-Setups auf den „PhotoRealistic RenderMan®“ Renderer der Firma Pixar zurück. Er liefert qualitativ noch höherwertige Ergebnisse und bietet bessere Möglichkeiten Features wie Schatten, Reflection oder Refraction⁵⁹ zu steuern.

⁵⁵ Mehrstufiger Renderprozess, i.d. für die Errechnung jedes Pixel mehrere Subpixel gemittelt werden, in Nuke u.a. für Motion Blur und Antialiasing der 3D-Szene verwendet

⁵⁶ *Auch Kantenglättung.* Verfahren zur Verminderung des Treppeneffekts bei Computergrafik

⁵⁷ Bewegungsunschärfe durch die Bewegung eines Objekts während der Belichtung eines Frames

⁵⁸ Tiefenkanal der als Graustufeninformation die Abstand zwischen Renderkamera und Objekten enthält

⁵⁹ Brechung des Lichts durch Eintritt in ein anderes Mediums

4.2 Manual für einen einfachen Set-Extension-Shot

Dieser Leitfaden erklärt stufenweise den Grundaufbau einer sehr einfachen Set-Extension und der Erstellung einer Cleanplate⁶⁰. Es handelt sich dabei um eine der häufigsten Anwendungen im 3D-Compositing. Unter anderem werden dabei die zuvor beschriebenen Nodes verwendet. Um den Rahmen jedoch nicht zu sprengen, wird nur auf das 3D-Setup eingegangen. Vorgänge wie Keying⁶¹, Color-Correction usw. werden ausgeklammert. Das Ergebnis ist daher entsprechend grob und hat nicht den Stand eines finalen Composites.

Ein wenig Grundkenntnis im Umgang mit node-basierten Compositing-Tools ist vorteilhaft, aber nicht dringend notwendig, um dieses sehr grundlegend erklärte Setup nachzubauen.

Zunächst muss die NukeX Free Trial Software installiert sein, sollte keine volle NukeX-Version zur Verfügung stehen. Download für Win/Mac/Linux unter:

<http://www.thefoundry.co.uk/products/nukex/>

Das notwendige Bildmaterial und weitere Hilfsmittel befinden sich auf der beigelegten CD-Rom. Die da-rauf befindliche Ordnerstruktur muss unverändert und ohne über-geordnete Ordner auf das Laufwerk „C“ kopiert werden, da sonst Fehler in den Dateipfaden präparierter Tools auftreten können.⁶²

⁶⁰ Bildmaterial, separat zur normalen Plate unter Ausschluss bestimmter Vordergrundobjekte gedreht. Kann auch nachträglich durch versch. VFX-Anwendungen erzeugt werden.

⁶¹ Eingrenzung bestimmter Farb- oder Helligkeitswerte im Bild für die Erzeugung einer Maske

⁶² Datenträger anderer Systeme können unterschiedl. Bezeichnung haben

Alternativ kann auch ein bereits fertiggestelltes Script geöffnet und anhand der folgenden Abschnitte nachvollzogen werden:

C:\comp_3D_work\3Dcomp_exercise_final.nk

Im Anschluss wird der Produktionsaufwand gegenübergestellt ohne Nutzung der im Compositing gegebenen 3D-Fähigkeiten.

4.2.1 Ausgangssituation

Für einen Werbespot wurde ein Auto vor einer Waldlandschaft aufgenommen. Leider boten sich am Set unvorhersehbare Wetterbedingungen und der Kunde änderte im Nachhinein seine Vorstellungen hinsichtlich der landschaftlichen Umgebung.



Abb.9 Plate & Final Render



Im Compositing soll daher der graue Himmel im Hintergrund durch eine entfernte Bergkette und einen farbintensiven Himmel ersetzt

werden. Zudem sollen die Schneereste auf dem Kiesboden verschwinden (Abb.9).

Die Einstellung ist durch eine seitliche Kamerafahrt mit Schwenk von einem Dollywagen umgesetzt worden. Durch diese Verschiebung der Kameraachse entsteht Parallaxe zwischen den in der Tiefe gestaffelten Bildebenen, wie z.B. dem Auto, der Baumreihe am hinteren Seeufer und dem Waldrand im Hintergrund. Die hinter Letzterem einzusetzende Berg- und Himmelebene, sollte daher gemäß Kamerabewegung und räumlicher Distanz ebenso einer individuellen Verschiebung unterliegen. Außerdem müssen im Vordergrund die perspektivischen Veränderungen bei der Entfernung der Schneeablagerungen berücksichtigt werden.

Diese Aufgaben können durch Aufbau eines einfachen 3D-Compositing-Setups gelöst werden. Dabei werden Kenntnisse aus Kapitel 2.1 Matchmoving und 3. Compositing umgesetzt.

4.2.2 Laden des Materials

NukeX 6.2 wird geladen und das vorbereitete Projekt⁶³ geöffnet:

```
C:\comp_3D\_work\3dcomp_exercise_v001.nk
```

Alle notwendigen Bildelemente, also die Plate, der Hintergrund und die sauber gepainteten Kiesbodenflächen („Patch“⁶⁴), werden in das Script geladen. Dies geschieht in Nuke über den „Read“ Node aus der Toolbar *oder* Hotkey „R“. Es öffnet sich ein Dialogfenster, in dem die Dateien ausgewählt werden können. Über den „next“ Button ist eine

⁶³ Mit Voreinstellungen wie z.B. Bildformat und Hinweisen für diese Übung

⁶⁴ Engl. „patch“ – „Flicker“ Sauberes Stück Bildmaterial zum Überdecken eines Bildbereichs

Mehrfachauswahl von Elementen aus unterschiedlichen Ebenen der Ordnerstruktur möglich.

C:\comp_3D_elements\...Alle 3 Elemente...!!

Die soeben geladenen Nodes können jetzt im Node Graph verwendet werden und per Doppelklick lassen sich ihre jeweiligen Eigenschaftsfenster öffnen. Grundsätzlich können alle Nodes in den kommenden Schritten über die *Tabulatortaste* „Tab“ und anschließende Eingabe des Nodenamens hinzugefügt werden.

Bewegung im 2D-Viewer und im Node Graph ->

translate: alt+LMB, zoom: alt+MMB.

Nodes werden durch ihre Auswahl und Taste „1-0“ im Viewer angezeigt.

4.2.3 Matchmoving mit integriertem CameraTracker

Bevor die Bildelemente verbunden werden ist ein Matchmoving notwendig, um das Verhalten der Kamera auf die hinzuzufügenden Bildelemente übertragen zu können. Der übliche Weg wäre nun die notwendigen 3D-Trackingdaten von einem Artist aus dem Matchmoving Department zu importieren. In Nuke wurden die 3D-Kapazitäten daher um ein effizientes Matchmoving Tool erweitert⁶⁵. Dieser sog. CameraTracker kann wie alle Tools über *Tab* hinzugefügt werden. Jedoch sind im vorliegenden Shot neben wichtigen

⁶⁵ „X“-Version vorbehalten

Voreinstellung⁶⁶ des Trackers auch Masken zum Isolieren von Darsteller und Auto notwendig⁶⁷. Zur Vereinfachung dieser Übung, wird daher ein bereits voreingestellter CameraTracker mit Holdout Matte⁶⁸ aus den Projektdateien importiert.

File>ImportScript...

C:\comp_3D_prepared_tools\cameratracker_prep.nk

Der CameraTracker wird via Source-Eingang mit der Plate verbunden und über Taste 1 im Viewer angezeigt. Durch Doppelklick auf den Node öffnet sich das Eigenschaftspanel, um den Trackingvorgang über den Button „Track Features“ zu starten (Abb.10).

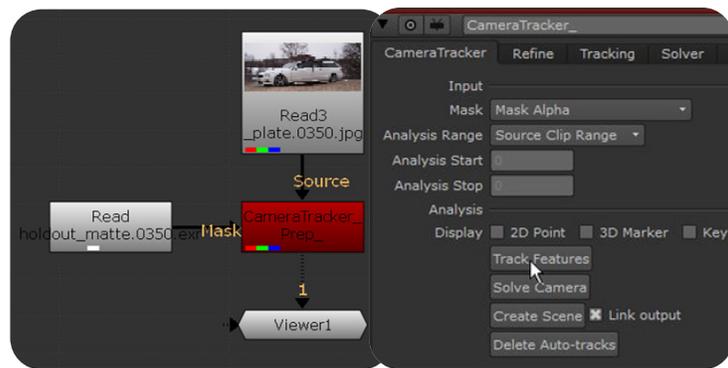


Abb.10 CameraTracker & Einstellungspanel

Nach Abschluss des Trackings lassen sich im Viewer die Features bewerten (Abb.11). In diesem Fall erscheint das Resultat ausreichend, sodass über „Solve Camera“ die Point-Cloud und die Kamera erstellt werden kann. Nach Auswertung wird über „Create Scene“ automatisch ein Node-Setup im Script erzeugt.



Abb.11 Tracking Features

⁶⁶ Brennweite, Kamerasensorgöße

⁶⁷ vgl. Kapitel 2.1

⁶⁸ Maske die einen best. Bereich von einer Operation ausschließt

Ein ScanlineRender Node wird ebenso über *tab* geladen und die Eingänge mit den Nodes gemäß der angegebenen Bezeichnungen verbunden! Der *bg-Eingang* bestimmt den Hintergrund und somit auch das Bildformat⁶⁹ des später gerenderten Bildes und wird daher mit dem Read Node der Plate verbunden (Abb.12).

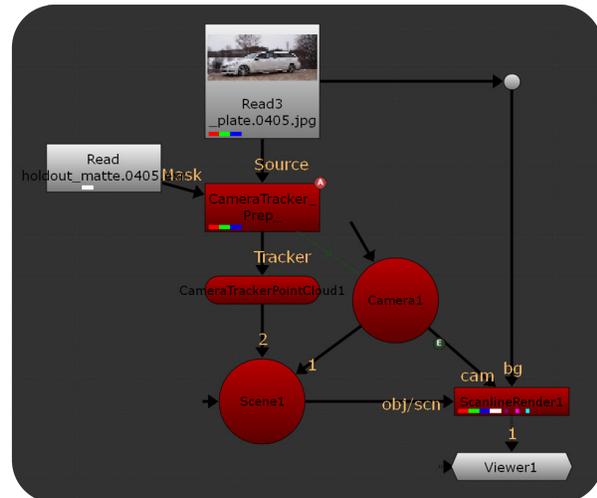


Abb.12 CameraTracker Matchmoving Setup

Bei Betrachtung durch den ScanlineRender Node im 3D-Viewer⁷⁰, sieht man die Point-Cloud welche den Bildinhalt dreidimensional repräsentiert. Die ebenfalls erstellte Kamera verhält sich analog der Originalkamera am Set (Abb.13).

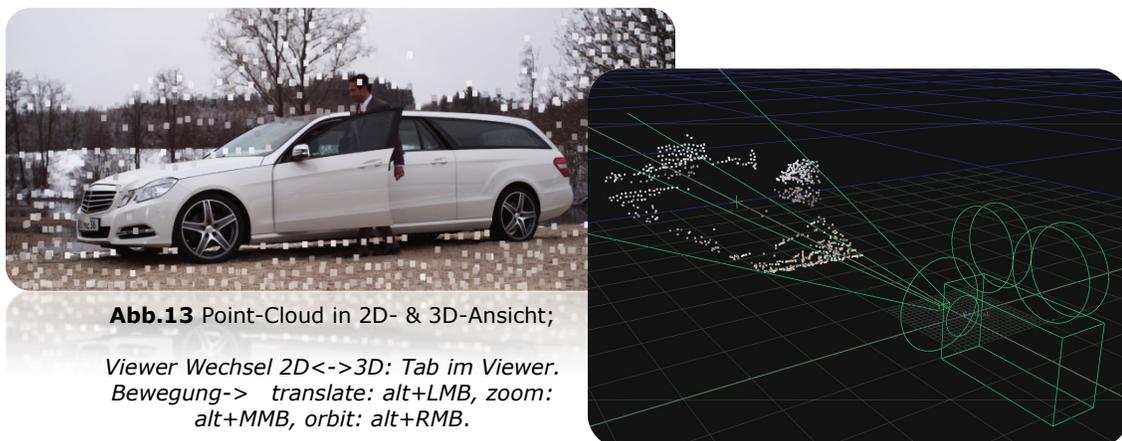


Abb.13 Point-Cloud in 2D- & 3D-Ansicht;

Viewer Wechsel 2D<->3D: Tab im Viewer.
Bewegung-> translate: alt+LMB, zoom:
alt+MMB, orbit: alt+RMB.

⁶⁹ Falls von den Projektsettings (shift+s) abweichend

⁷⁰ Viewer Wechsel 2D<->3D: Tab im Viewer.

Bewegung: translate: alt+LMB, zoom: alt+MMB, orbit: alt+RMB.

Für eine bessere Orientierung bietet es sich an, die Punkte der Cloud, die den Kiesboden repräsentieren, an die Grundfläche des WKS zu setzen. Bei Ansicht des CameraTrackers im 2D-Viewer werden dazu mehrere Features über *shift+LMB* gut verteilt auf der Kiesbodenfläche angewählt. Die angewählten Punkte werden über *RMB>ground plane>set to selected* als neue Grundfläche festgelegt. Die Anpassung lässt sich in der 3D-Ansicht sofort überprüfen (Abb.14).

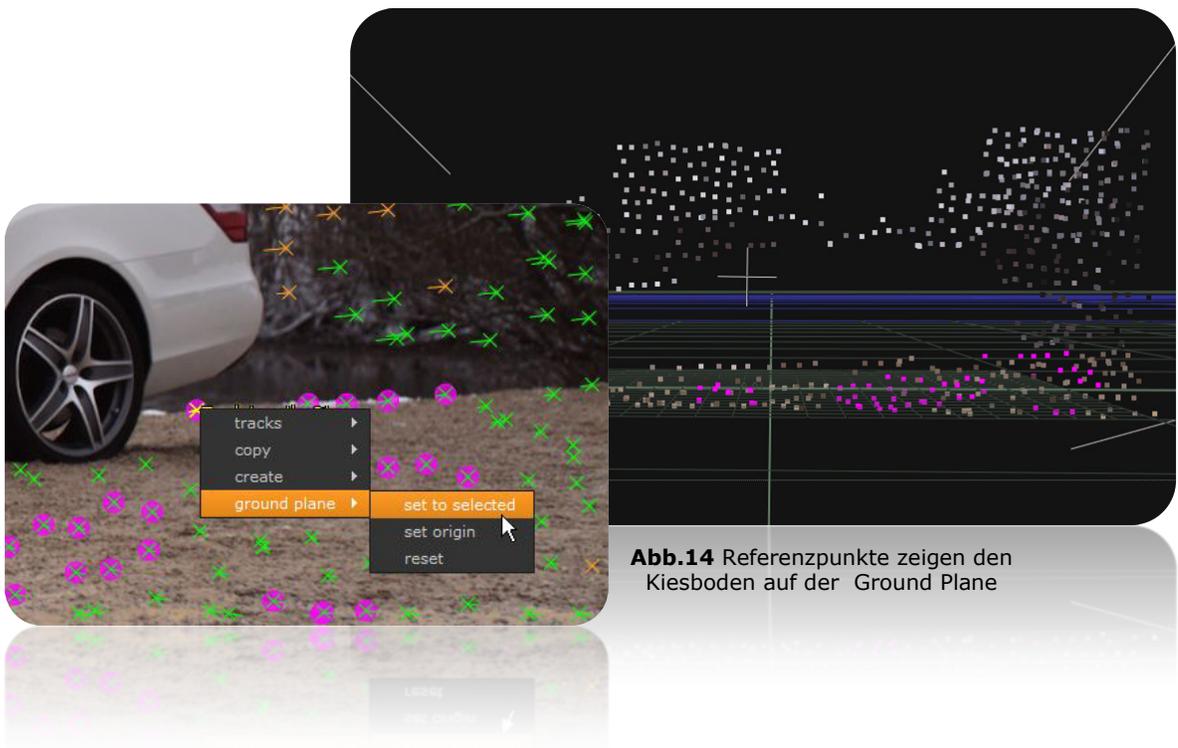


Abb.14 Referenzpunkte zeigen den Kiesboden auf der Ground Plane

4.2.4 Cleanplate-Projection

Die sauberen Patches vom Kiesboden sollen über die Schneereste an der Uferkante projiziert werden. Dafür wird eine Projektionsfläche in Form einer Card erstellt. Durch Mehrfachauswahl wird jeweils ein Feature vor und hinter dem Auto direkt an einer Schneeposition ausgewählt. Durch *RMB>create>card ZX* wird durch diese beiden Punkte verlaufend eine Card angelegt. Im 3D-Viewer erscheint diese an der ZX-Ebene und bildet somit eine Fläche analog zur Kiesbodenebene (Abb.15). Um den gesamten Bereich abzudecken, wird die Größe der Card in ihrem Einstellungspanel grob verdoppelt *Card>uniform scale: „2“*.



Bei den vorbereiteten Patches vom Kiesboden handelt es sich um Ausschnitte aus einem Still⁷¹ des Frames 405, die mit Nukes integriertem Painttool bereits vom Schnee befreit wurden. Sie stehen

⁷¹ Engl. „still“ – „Standbild“

nur zur Vereinfachung dieser Übung zu Verfügung und werden normalerweise durch das RotoPaint-Tool im selben Script erstellt. Als Projektor wird eine Kopie der im Matchmoving erzeugten Kamera benötigt die in ihrer Ausrichtung bei besagtem Frame 405 verbleibt. Dafür wird die Matchmoving Kamera kopiert *Strg+c/v*, danach ein Project3D⁷² Node hinzugefügt und mit ihr verbunden. Auf der Timeline im Viewer wird der Shot auf Frame 405 gesetzt und daraufhin das Einstellungspanel der kopierten Projektionskamera via Doppelklick geöffnet. Bei den blau hinterlegten Translations- und Rotationseinstellungen der Kamera werden über den kleinen „Animation-Menu-Button“ die Animationen der Kamera gelöscht (Abb.16).

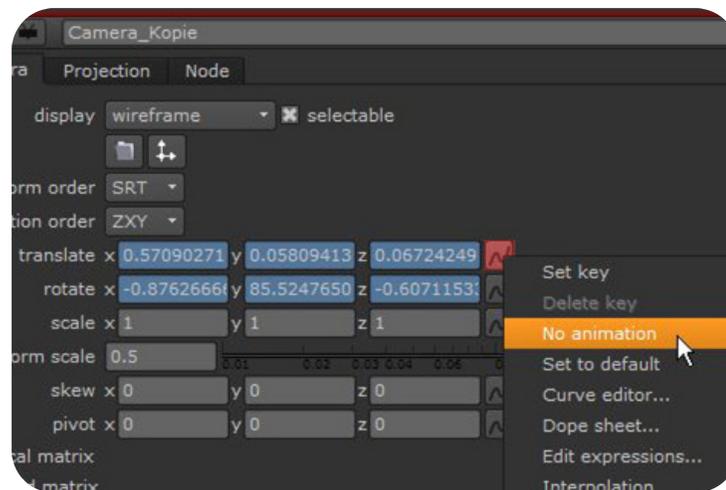


Abb.16 Einfrieren der Kamerakopie

Dadurch frieren ihre Werte an der momentanen Position (Frame 405!) ein und sie projiziert die aus Frame 405 stammenden Patches aus korrekter Richtung und Position.

⁷² Wandelt die Kamera um in einem Projektor für Texturen

Der Eingang des Card-Nodes wird mit dem Project3D-Node verbunden, welcher seinerseits mit dem Read-Node des Groundpatches verbunden wird. Die Patches werden also aus der Quelle (Read) über den Projektor (Camera+Project3D) auf die Projektionsfläche (Card) projiziert (Abb.17).

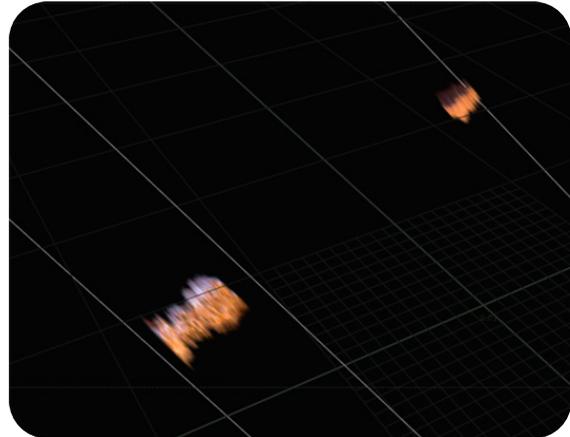


Abb.17 Projizierte Patches im 3D-Raum
(unter Ansicht des Card Nodes)

Zuletzt wird das Projektions-Setup mit der Gesamtszene verkoppelt, indem der freie Eingang des Scene-Nodes mit der Card verbunden wird. Ein erstes Zwischenergebnis lässt sich nun im 2D-Viewer betrachten. Dafür wird zunächst die Point-Cloud und der CameraTracker-Node deaktiviert *Auswahl+d*. Durch Wechseln der Viewer-Eingänge 1 (Read-Node der plate) und 2 (ScanlineRender-Node) kann ein „Vorher-Nachher“ betrachtet werden kann (Abb.18).

Bei dem eben beschrieben Setup sieht man durch den Scanline-Render-Node bereits das fertige Composite aus Plate und der Grpoundpatches, da an dem „bg“-Eingang bereits die Plate als Hintergrund dient (Abb.18). Im folgenden Abschnitt 4.2.5 wird dazu eine gängige Alternative beschrieben, in der die Komponenten nicht bereits im ScanlineRender-Node sondern erst im Verlauf des 2D-Composites verbunden werden.

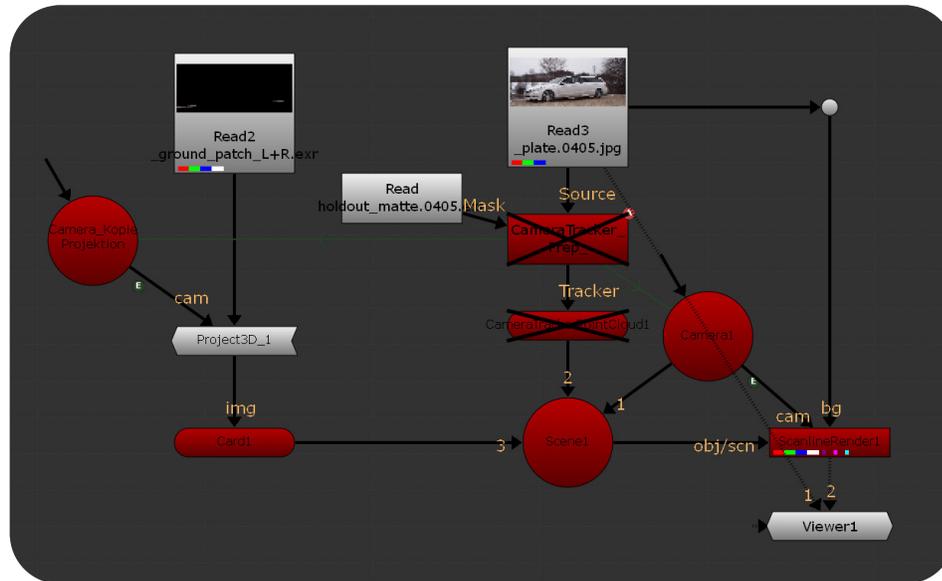


Abb.18 Camera-Projection Setup

Warum kein herkömmlicher 2D-Lösungsansatz?

Durch die räumliche Projektion auf eine Fläche, die der Kiesbodenebene am Set entspricht und durch das „Wiederabfilmen“ dieser Fläche mit dem virtuellen Pendant der Setkamera, erhalten wir zweidimensionale Patches, die sich in Position und perspektivischer Veränderung wie die ursprüngliche Schneefläche verhalten.

Ein 2D-Lösungsansatz, wie z.B. den Kiesboden über die komplette Länge, Frame für Frame mit dem Clone-Tool⁷³ zu säubern, führt zu untragbaren Ergebnissen. Die einzelnen Paint-Arbeiten in den aufeinanderfolgenden Frames besitzen zu große Unterschiede, was im Bewegungsablauf zu einer Art „Wabern“ oder „Blubbern“ führt. Abgesehen davon erhöht ein derartige Arbeitsweise den zeitlichen Produktionsaufwand.

⁷³ Vgl. Photoshop Clone Stamp; Dupliziert den an anderer Stelle eines Bildes aufgenommen Inhalt

4.2.5 Set-Extension: Einsetzen des Hintergrunds

Für die Weiterbearbeitung wird der ScanlineRender-Node im 2D-Viewer geöffnet. Die Point-Cloud und der CameraTracker werden reaktiviert *Auswahl+d* und via Doppelklick werden ihre Eigenschaften angezeigt.

Die Bergkette soll in größerer Distanz hinter die zuletzt sichtbare Bildebene, also die der Baumkronen gesetzt werden. Dafür wird ein Feature ausgewählt, das sich möglichst mittig und an den hintersten Baumspitzen befindet. Über *RMB>create>card YZ* wird dort eine Card für die Abbildung des Hintergrunds erstellt. Im 3D-Viewer sitzt die Card somit bereits in guter Ausgangsposition zur Kamera und wird darauf mit dem Read-Node des Hintergrunds verbunden (Abb.19).

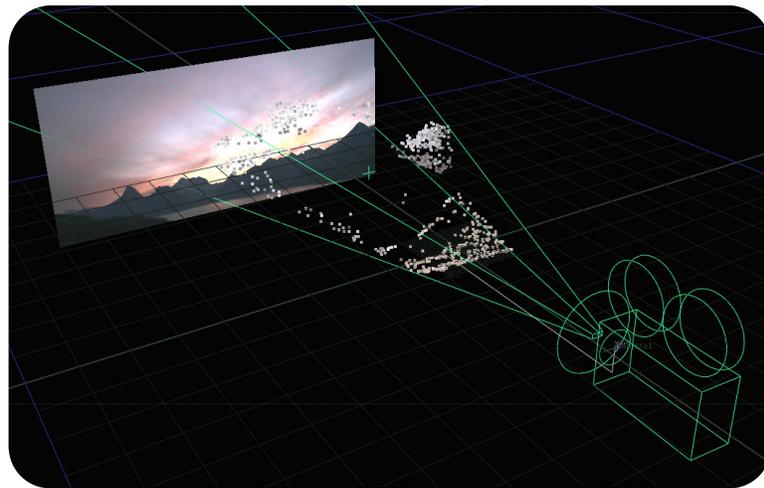


Abb.19 Eingesetzte BG-Plate im 3D-Raum

Um den Hintergrund als alleinstehende Komponente in das folgende 2D-Compositing einzubinden, wird ein weiterer ScanlineRender-Node geöffnet, der nur die neue Berg-Plate rendert. Dieser Node wird ebenfalls mit der Camera und der „obj/scn“-Eingang mit der neuen Card verbunden. Der „bg“-Eingang bleibt diesmal unbenutzt, weil das

Bildformat bereits in den Projekteinstellungen korrekt gesetzt wurde und anders als im Abschnitt 3 keine weitere Komponente innerhalb des ScanlineRender-Tools über „bg“ verbunden werden soll.

Um die 2D-Resultate aus den beiden ScanlineRender-Nodes zu verbinden, ist eine Multiply-Operation sinnvoll. Dabei werden die Helligkeitswerte beider Plates miteinander multipliziert, was bei dem hellen Himmel der Original-Plate wie eine Ausmaskierung desselben wirkt. Diese Multiply-Operation muss jedoch grob begrenzt werden, da die sonst ebenfalls hellen Bereiche wie das Auto oder die Lichtung nicht mit einbezogen werden sollen. Zur Vereinfachung wird dafür ein vorbereiteter Multiply-Node mit einer vorgefertigten Maske aus den Projektdateien importiert.

File>ImportScript...

C:\comp_3D\prepared_tools\multiply_merge_prep.nk

Der Eingang „B“ eines jeden Nodes übernimmt stets das angeschlossene Bildformat. Da auch hier das ursprüngliche Bildformat beibehalten werden soll, wird der Multiply-Node über „B“ mit dem ScanlineRender-Node der Fahrzeug-Plate verbunden, „A“ mit dem ScanlineRender-Node der Berg-Plate. Beim Öffnen des Multiply Nodes im Viewer wird sichtbar, dass der neue Hintergrund zu weit unten sitzt, da die Berge über die Waldkante hinaus ragen sollen. Zudem befindet sich die Card noch im gleichen Kameraabstand wie das Track-Feature der Baumkrone, das für ihre Erstellung genutzt wurde.

Die notwendigen Verschiebungen werden im 3D-Viewer vorgenommen. Um zeitgleich das Ergebnis im 2D-Viewer beurteilen zu können, wird über *strg+i* ein weiterer Viewer geöffnet. Dieser legt

sich zunächst als zweites Tab über Viewer1, kann aber mit *strg+LMB* separiert und verschoben werden, um beide Viewer zeitgleich zu betrachten. Die zwei Viewer werden mit dem Multiply-Node verbunden, einer in 3D-, der andere in 2D-Ansicht. In der 3D-Ansicht wird die Card durch Doppelklicken aktiviert und kann so über das Transformations-Handle in XYZ-Richtung verschoben werden. Falls nötig lässt sich mit *strg* über alle drei Achsen rotieren. Die Card wird in eine passende Höhe geschoben bis im 2D-Viewer die Berge über den Baumkronen positioniert sind (Abb.20).



Abb.20 Preview und Bearbeitung durch 2-Viewer Ansicht

Da sich die Bergebene bei dem fertigen Composite noch weit hinter der Baumebene befinden soll, muss die daraus resultierende Parallaxe berücksichtigt werden. Die Card wird daher um ca. eine Einheit im 3D-Raum (1 Kästchen/Wert 0.1) in die Tiefe verschoben, die Distanz zur Kamera wird vergrößert (Abb.21).



Abb.21 Verschiebung der BG-Card in der Tiefe

Über den Play-Button im Viewer wird die fertige Sequenz gestartet. Nach einmaligem Durchlauf der Timeline wurde im Disk-Cache zwischengespeichert und das Ergebnis kann im 2D-Viewer relativ flüssig begutachtet werden. Die Point-Cloud sollte dafür wieder deaktiviert werden.

Eine Echtzeit-Vorschau lässt sich über die integrierte Flipbook Software Framecyler⁷⁴ starten durch Auswahl des Multiply-Node und *alt+f*.

4.2.6 Finales Rendering

Nach Begutachtung und Korrekturen der Compositing-Arbeiten, wird das Resultat gerendert. An den Multiply Node wird dafür ein Write-Node gehängt, *Hotkey „W“*. (Abb.22)

Der gewünschte Zielpfad und das Dateiformat werden eingegeben und über *f7* werden die Bilddaten gerendert und ausgeschrieben.

Beispiel für Schreibweise des Zielpfads⁷⁵:

C:/comp_3D/_comp/exercise/3Dcomp_exercise_v001.%04d.jpg

⁷⁴ RAM-gepufferter Echtzeit-Player der Firma Iridas

⁷⁵ Die Anzahl für eine bspw. 4 Ziffern-Einzelbildsequenz wird in Nuke durch „.%04d.“ oder „.####.“ vor der Dateiendung festgelegt.

Diese Übung sollte lediglich den Einstieg in Nukes 3D-Compositing vereinfachen. Daher wurde sie auf minimale Arbeiten im 3D-Setup beschränkt. Eine finale Version kann als Read zur Ansicht geladen werden.

C:\comp_3D\comp\final_composite\final_comp

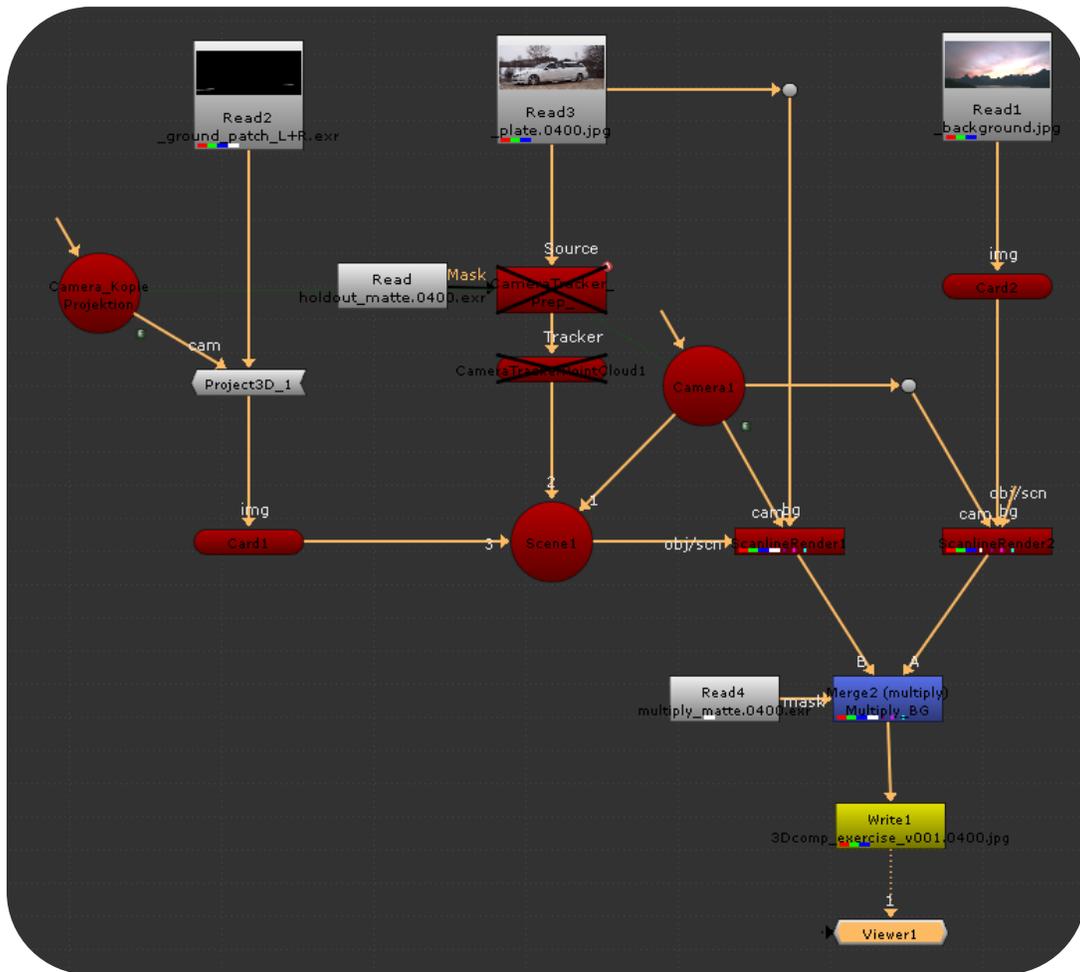


Abb.22 Finales 3D-Setup
(ohne weitere Compositing-Arbeiten)

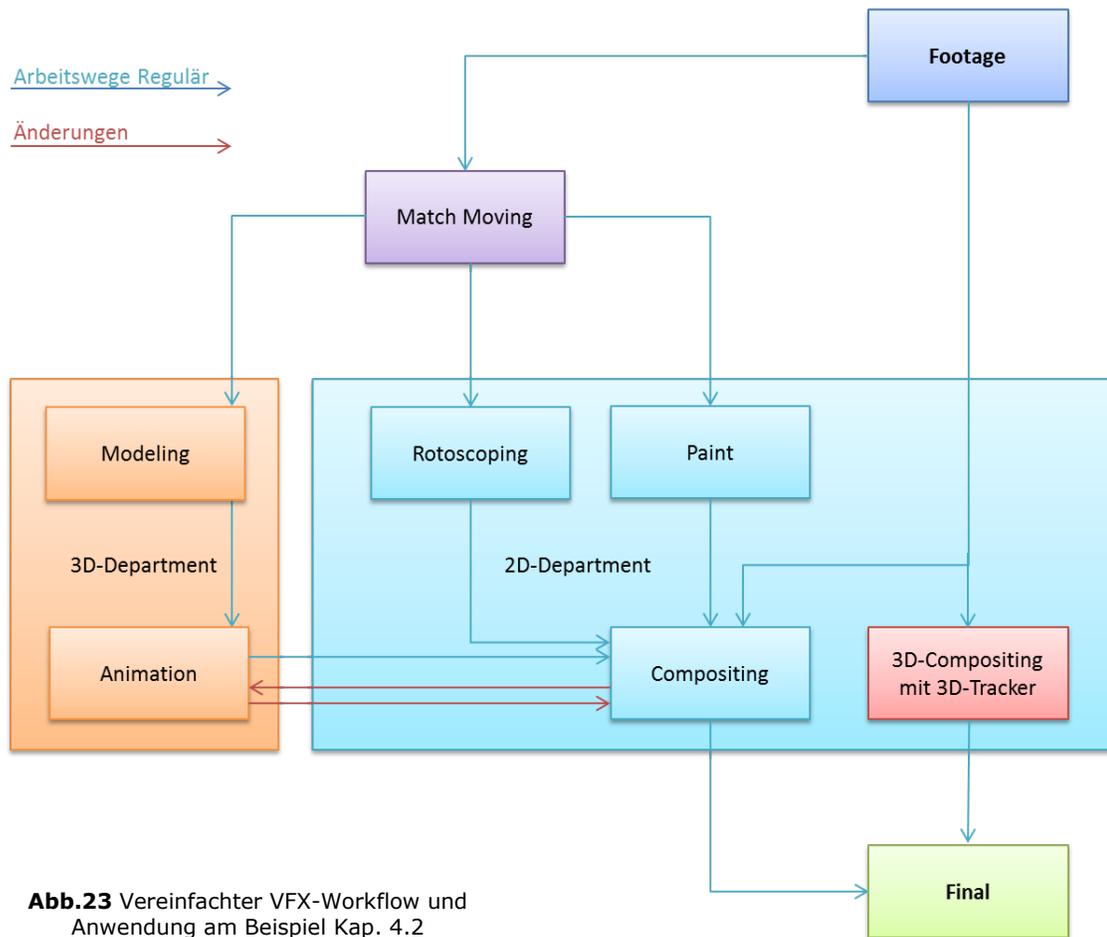


4.3 Produktionsaufwand mit und ohne 3D-Compositing

Das erklärte Beispiel müsste im Rahmen eines „herkömmlichen“ Produktionsablaufs ohne 3D-Compositing zunächst beim Matchmoving als auch beim 3D-Department Station machen. Damit wären zwei weitere Artists in diesen Shot involviert, bevor er im Compositing fertiggestellt werden kann. Mehr Briefing durch Supervisoren, mehr Kommunikation der Artists untereinander und mehrfacher Datenaustausch wären notwendig. Auch bei nachträglichen Änderungswünschen hinsichtlich der 3D-Elemente, müsste der 3D-Artist erneut eingebunden werden, damit eine Folgeversion des finalen Composites erstellt werden kann.

In diesem Beispiel könnten dies z.B. die Neuausrichtung der Hintergrundebene oder Texturanpassungen der Boden-Patches sein. Es handelt sich dabei um keine komplexen Modifikationen eines CG-Modells an sich, so dass die Änderungen in einem 3D-Compositing-Tool direkt umsetzbar sind. Neben der Zeit- und Personalsparnis lässt sich jede Änderung unmittelbar anhand des finalen Bildergebnisses betrachten. Ideal in Situationen, in denen der Kunde vor Ort seinen Einfluss nehmen möchte. Umwege übers 3D-Department entfallen.

Abb. 23 verdeutlicht vereinfacht die Arbeitszusammenhänge innerhalb eines generellen VFX-Workflows. Verglichen wird das o.g. Beispiel anhand der Arbeitswege mit und ohne 3D-Compositing.



5. Praxisnahe Anwendungsbeispiele 3D-Compositing

In Kapitel 4 wurde die Vorgehensweise für den Nachbau eines Nuke-3D-Skripts anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht. Mit dem hier vermittelten Wissen um das technische Grundprinzip zeigen die folgenden Beispiele weitere Anwendungsmöglichkeiten des 3D-Compositing auf.

5.1 Set-Extension durch bewegte Camera-Projection

Erklärt anhand der Auto-Crash-Szene aus „This Is Love“ von Matthias Glasner, VFX: RiseFX⁷⁶

In diesem Beispiel handelt es sich um eine 15 Sekunden lange Einstellung aus dem Inneren eines Autos gefilmt. Der Hauptdarsteller des Films steuert nachts eine breite Allee entlang, biegt in die Gegenspur und rast auf einen entgegenkommenden LKW zu. Durch die Wucht des Aufpralls schleudert der Wagen mehrfach im Kreis und bleibt auf der Straßenkreuzung stehen. Der Hauptdarsteller sackt schließlich rückwärts auf den Beifahrersitz, mit dem Gesicht zur Kamera (Abb.24).

Vorgabe war, die Szene ohne Schnitt, mit Handkamera und von der Rücksitzbank aus zu drehen. In realem Umfeld hätte dies deutliche Bewegungen der Kamera zur Folge, mit Parallaxe zwischen Wageninnenraum und der Umgebung außerhalb.



Abb.24 Final der Crash-Sequenz aus „This Is Love“

⁷⁶ Bildmaterial u.a.: fxguide.tv; badlands-film.de

Überlegungen die Szene als Stuntreh abzuwickeln, wurden verworfen, da es dabei zu wenig Einflussnahme auf den tatsächlichen Drehverlauf und Unsicherheiten wie z.B. bei der Umsetzung eines Facial-Replacement⁷⁷ des Stuntman gegeben hätte.

Die Firma RiseFX in Berlin war zuständig für die VFX, einschließlich der Set-Supervision⁷⁸. Man erarbeitete einen Lösungsansatz, bei dem Stuntcar- und Greenscreenaufnahmen durch Camera-Projection in Nukes 3D-Compositing-Raum schnell und qualitativ verbunden werden konnten.

Nachfolgend wird zunächst auf die Arbeiten am Stunt-Set und im Greenscreen-Studio eingegangen, um die anschließenden VFX-Bearbeitungen besser zu verdeutlichen.

Am Stunt-Set werden entlang des gesamten Straßenverlaufes kleine Leuchtdioden-Tracking-Marker⁷⁹ für das Matchmoving angebracht. Ein spezielles Stuntcar wird in Höhe des Armaturenbretts mit 2 festen 35mm Kameras in Fahrtrichtung ausgestattet. Eine davon geradeaus, die zweite um ca. 40° nach links gedreht. Die Zusammenfassung beider Bilder entspricht einem Bildwinkel von ca. 160°, vergleichbar dem Sichtbereich durch die Front- und linke Seitenscheibe aus einem Autoinnenraum. Die komplette Fahrt und der echte Aufprall auf den LKW werden mit diesen beiden Stuntcar-Kameras gedreht (Abb.25).

⁷⁷ Effekt-Verfahren um das Gesicht oder Gesichtsbereiche zu ersetzen.

⁷⁸ Ein Set-Supervisor bereitet die Dreharbeiten für die spätere VFX-Postproduktion vor.

⁷⁹ Kontraststarke Muster auf Karten oder Kugeln, werden am Set angebracht um den Trackvorgang zu unterstützen



Abb.25 Tracking-Marker & Stunt-Kamera-Setup

Das Timing für alle beteiligten Fahrzeuge stammt aus der Previsualisierung, welche im Vorfeld durch den groben 3D-Nachbau mit einfacher Geometrie erstellt wurde. Nach dem Aufprall auf der Straßenkreuzung, wird das Stuntcar in die gewünschte Endposition rangiert, um die Sicht nach dem Schleudern zu filmen. Ein echtes Schleudern mit den gewünschten 1,5 Drehungen hätte der beste Stuntman nicht kontrollieren können. Die dazwischen sichtbaren Bereiche der Kreuzung, die während einer echten Drehung aus dem Fahrzeuginnenraum zu sehen sein müssten, werden durch eine separate Foto-Panoramaaufnahme vom Drehpunkt auf der Kreuzung ergänzt.

Diese Aufnahme wird mit denen der Stuntkameras zusammengefasst. Damit wird der sichtbare Bereich durch die Front- und Seitenscheibe aus dem Fahrzeuginnenraum für die komplette Szene abgedeckt.

Im Greenscreen-Studio

wird der Hauptdarsteller auf dem Fahrersitz per Handkamera von der Rücksitzbank aus aufgenommen. Für Cast und Crew dienen die Stuntsetaufnahmen als Orientierung für das Timing. Ein Gabelstapler unter dem Fahrwerk sorgt für Wackelbewegungen. Zudem wird für die Nachahmung der vorbeiziehenden Straßenbeleuchtung eine im Stuntcar aufgezeichnete Lichtkugel als Referenz verwendet. Von der mittleren Rückbank aus dreht die Kamerafrau über die Schulter des Darstellers und bleibt beim Bildausschnitt stets innerhalb der Front- und der linken Seitenscheibe (Abb.26). Als Hilfe für das Matchmoving der Handkamera-bewegung werden auch hier kleine Leuchtdioden in das Auto geklebt.



Abb.26 Handkameraaufnahmen im Greenscreen-Studio

In der VFX-Nachbearbeitung wird die in der Previs verwendete Geometrie des Straßenblocks in ein neues Nuke 3D-Setup importiert. Hergestellt wird solch dreidimensionale Repräsentation vom Set mit gängigen Modeling-Tools wie z.B. 3ds Max⁸⁰ oder Blender⁸¹. Mit Hilfe von Fotos, Schemaabbildungen und Messungen vor Ort wird ein Gittermodell erzeugt, welches sich u.a. als Projektionsoberfläche in Anwendung mit 3D-Raum verwenden lässt.

⁸⁰ Bekannte 3D-Animationssoftware von Autodesk

⁸¹ Kostenfreie Open Source 3D-Animationssoftware

Im Matchmoving wird aus dem Material der Stuntkameras die Point-Cloud erzeugt, welche eine Anzahl markanter Punkte vom Set repräsentiert. Zudem werden die Kameras selbst mitsamt ihrer Fahrtbewegungen im 3D-Raum reproduziert. Im Nuke 3D-Setup werden sie so verschoben und skaliert, dass die einzelnen 3D-Punkte der Point-Cloud mit den zugehörigen Koordinaten der importierten Straßen-Geometrie übereinstimmen. Da der Bewegungspfad der Kamera fest mit der Point-Cloud verkoppelt ist, entsteht ein Abbild der echten Stuntkameras, jedoch innerhalb der virtuellen Geometrie des Originaldrehorts.

Um die gitterförmige 3D-Darstellung der Häuser und Straßen mit ihrer Originaltextur zu versehen, werden die Kameras im weiteren Verlauf als Projection-Cameras verwendet. Man kann sie sich dabei als fahrende Filmprojektoren vorstellen, die sich analog zur Fahrt der Original-Stuntkameras durch die 3D-Geometrie bewegen. Ihr ursprünglich aufgenommenes Bildmaterial projizieren sie währenddessen als Textur auf die 3D-Geometrie der Häuser und Straßen zurück (Abb.27). Da alle Kameraparameter übereinstimmen, entspricht das projizierte Material exakt dem zuvor aufgenommenen. Auf diese Weise wird das 3D-Abbild der realen Umgebung vervollständigt und zwar mitsamt der vorhandenen Beleuchtung und aller bewegten Elemente vom Drehort (z.B. andere Fahrzeuge oder Passanten).

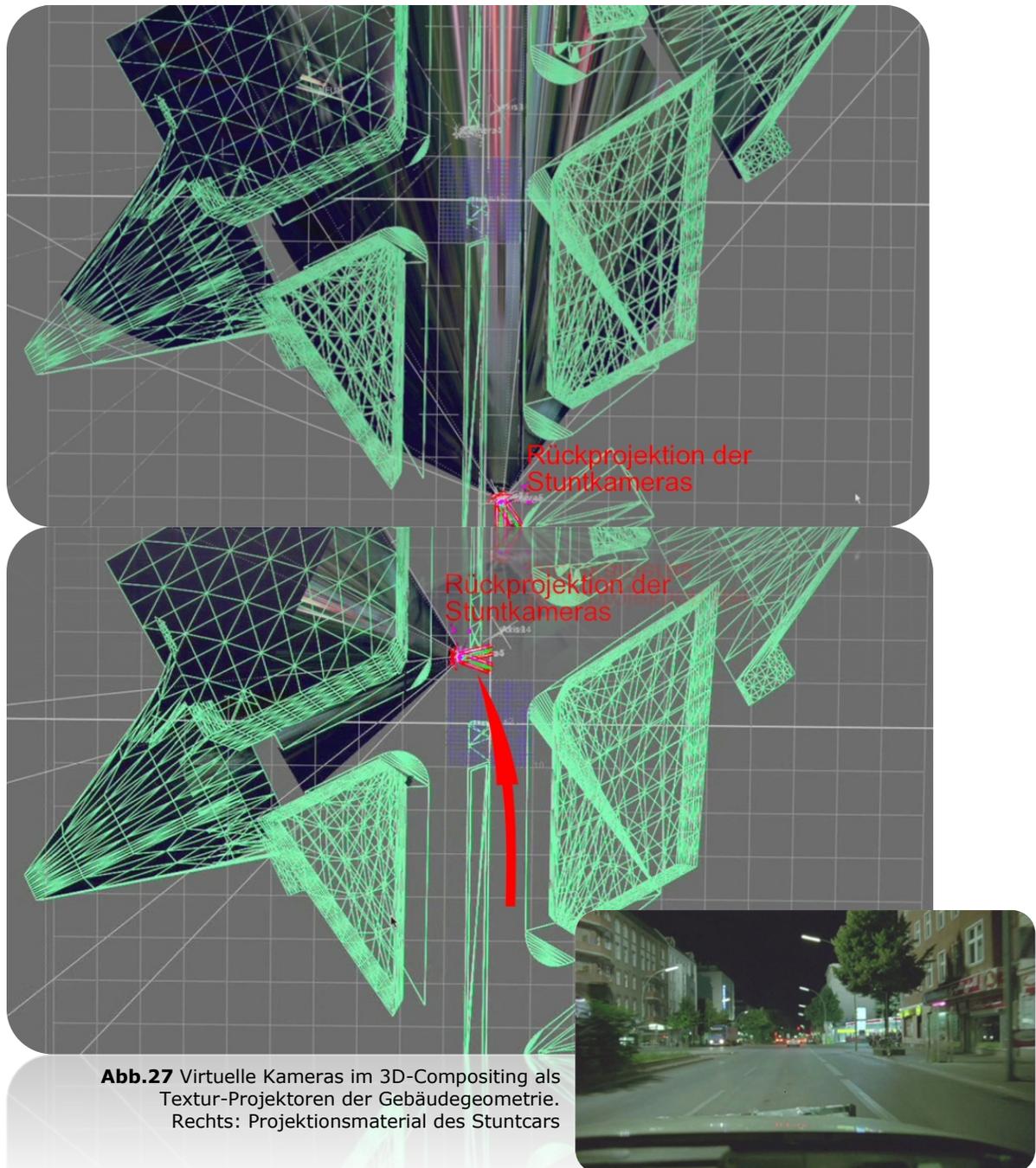


Abb.27 Virtuelle Kameras im 3D-Compositing als Textur-Projektoren der Gebäudegeometrie. Rechts: Projektionsmaterial des Stuntcars

Die ebenfalls im Matchmoving erstellten Bewegungsdaten der **Handkamera** aus dem Innenraum des Studioautos werden gleichermaßen in das Nuke 3D-Setup importiert. Hier werden sie fest mit dem Bewegungspfad der Projektionskameras verkoppelt und so ausgerichtet, dass die Position des ursprünglichen Stuntcars mit der des Studioautos übereinstimmt. Die Handkamerabewegung innerhalb des Autos bleibt erhalten, während die Fahrtbewegung durch die Straße hinzugefügt wird.

Über den ScanlineRenderer wird die daraus resultierende „Handkamera-Fahrt“ durch das nachgebaute 3D-Set in eine zweidimensionale Bildsequenz umgerechnet. Das so entstandene Material wird als Hintergrund-Plate für die gekeyten Innenaufnahmen des Studioautos verwendet. Die Bewegung, Parallaxe und perspektivischen Veränderungen des Hintergrunds verhalten sich nun entsprechend der Handkameraaufnahmen im Fahrzeuginnenraum (Abb.28). Kleinere Korrekturen oder nachträgliche Animationen der virtuellen Kamera im 3D-Raum sind ebenso möglich und lassen sich durch die direkte Verknüpfung von 3D- und 2D-Setup interaktiv betrachten.

Zu diesem Zeitpunkt sind die Arbeiten bis zum Moment des Aufpralls fertiggestellt. Von den Projektionskameras ebenso abgedeckt wird die Endposition des Autos. Das dazwischen liegende Schleudern, welches durch die Frontscheibe als schnell „vorbeiwischende“ Häuser sichtbar sein muss, wird durch eine sphärische Projektion der Straßenkreuzung unter Verwendung der eingangs erwähnten Panoramaaufnahme vervollständigt.

Zuletzt schwenkt die Handkamera direkt in das Gesicht des zusammensinkenden Hauptdarstellers, der sich dank des 3D-Compositings bester Gesundheit erfreut.



Abb.28 Crash-Sequenz „This Is Love“, Greenscreen-Plate & Final Comp

Die noch ausstehenden Feinarbeiten innerhalb des Autos sind im 3D-Compositing ebenso schnell zu erledigen. 2D-Elemente wie die animierte Armaturenanzeige, die Retusche der Trackingmarker oder notwendige Masken im Innenraum werden dafür lediglich auf Cards gelegt. Mit Hilfe der Point-Cloud vom Fahrzeuginnenraum werden sie positioniert und durch die virtuelle Handkamera gerendert. Zusätzliches 4-Corner-Tracking ist für das Einsetzen daher nicht mehr notwendig.

5.2 Beleuchtungsmodelle im 3D-Compositing

Am Beispiel des finalen Shots aus Roland Petrizzas „Infernal Nuns“

In dieser Szene wird die Hauptdarstellerin aus einer mächtigen Explosion geschleudert und fliegt über den brennenden Petersplatz auf den Balkon des Palasts zu (Abb.29).



Abb.29 Shot aus „Infernal Nuns“, Bsp. für 3D-Lighting

Der komplette Shot wird durch eine Zusammenstellung von Cards und Gebäudegeometrie im 3D-Compositing-Raum umgesetzt. Die Personen wurden zuvor im Greenscreen-Studio aufgenommen. Die Explosionen, Feuer, Rauch und Partikel stammen aus Stock-Footage⁸² oder wurden mit FumeFX⁸³ erstellt. Die Geometrien werden durch

⁸² Live-Footage Elemente, häufig vor Greenscreen oder neutralem BG gedreht. Für den vielseitigen Einbau in Shots diverser Produktionen

⁸³ Plugin der Firma Sitni Sati für 3dsMax zum Simulieren gasförmiger Substanzen (Feuer, Qualm u.ä.)

Camera-Projection passender Bilddateien texturiert. Es entsteht ein komplett im 3D-Raum entwickeltes Set, in welchem die Bewegung der virtuellen Kamera nach Belieben handanimiert werden kann. Kurz gesagt ist dies eine Szene, die erst im 3D-Compositing entsteht, ohne dass aufwändige Setaufnahmen notwendig waren.

Um die nächtliche Szene beeindruckend darzustellen, wurden viele Elemente wie Feuer, Explosionen oder Funken über das gesamte 3D-Set verteilt. In einer realen Umgebung würden die lodernden Flammen die in der Umgebung befindlichen Gebäude aus verschiedenen Richtungen erhellen. Für die Authentizität des Shots müssen also Lichtquellen geschaffen werden, die sich auf die Geometrie der Gebäude und Personen auswirken. Im 3D-Compositing geschieht das unter Zuhilfenahme von Beleuchtungsmodellen wie sie auch aus herkömmlichen 3D-Applikationen bekannt sind. Die Lichtquellen werden wie Objekte in den 3D-Raum geladen, frei positioniert und ausgerichtet. Nuke bietet im Einzelnen das

- **Point-Light:** Vergleichbar mit einer Glühbirne strahlt es in alle Richtungen zu gleichen Anteilen.
- **Directional-Light:** Ähnlich des Sonnenlichts das auf die Erde trifft, emittiert es parallele Lichtstrahlen bei gleichbleibender Intensität und von einer in der Unendlichkeit liegenden Position. Relevant ist daher nur der Einfallswinkel, die Positionierung des Tools spielt keine Rolle.
- **Spot-Light:** Es strahlt kegelförmiges Licht ab, das dem eines Scheinwerfers entspricht und über Parameter für Winkel und Randabfall des Lichtkegels verfügt.

Die genannten Beleuchtungstypen verfügen über Einstellungen wie z.B. Lichtfarbe, Schattenwurf und distanzabhängigen Intensitätsabfall.

Anders hingegen verhält sich das ebenso verfügbare

- **Environment-Light:**

Dieses auch als Image Based Lighting bekannte Beleuchtungsmodell wird nicht in Form eines speziell ausgerichteten Lichtemitters positioniert. Das Tool wird als Sphäre (Kugel) im 3D-Raum geöffnet, welche die gesamte Szene umgibt. Ein am Set als light probe⁸⁴ aufgenommenes HDR-Bild⁸⁵ wird als Environment Map bildlich vorgestellt in die komplette Oberfläche Sphäre „ausgebreitet“. Die Lichtverhältnisse die zuvor am Drehset existierten, werden so aus allen Himmelsrichtungen und auf alle Objekte der 3D-Szene übertragen. Dieses häufig benutzte Beleuchtungsmodell kann gerade beim Einbau komplexer CG-Objekte in eine Realumgebung sehr schnell ein gutes Grundergebnis erzielen.

Alle genannten Lichtmodelle zeigen jedoch erst dann ihre gewünschte Wirkung wenn die im 3D-Raum befindlichen Objekte mit entsprechenden Material-Shadern⁸⁶ belegt und somit für die Beleuchtung „empfänglich“ gemacht werden. Nuke bietet neben einfachen Shadern wie Diffuse⁸⁷ oder Specular⁸⁸ auch einen Phong⁸⁹ Shader. Seit

⁸⁴ Omnidirektionales HDR-Bild das Lichtinformationen einer realen Situation speichert und so für 3D-Szene als Lichtquelle genutzt werden kann, aufgenommen z.B. mit Fisheye-Lens oder über Spiegelkugel

⁸⁵ Auch HDRI, High Dynamic Range Image Bild mit sehr hohem Kontrastumfang zur Speicherung der in der Natur vorhandenen, extremen Helligkeitsunterschiede

⁸⁶ Engl. „Shader“ – „Schattierer“ Renderalgorithmus der die Oberfläche eines 3D-Objekts anhand von Materialbestimmung und Beleuchtungseinfluss errechnet

⁸⁷ Diffuse Reflektion der auf ein Objekt treffenden Lichtstrahlen durch Vielzahl verstreuter Ausfallswinkel. Weiche, kontrastarme Lichtreflektion

⁸⁸ Direkte, spiegelähnliche Reflektion. Licht-Einfallswinkel auf ein Objekt entspricht dem Ausfallswinkel. Erstellt Highlights der Objektoberfläche.

der Einbindung des PrmanRenderer-Tools können auf Grundlage des Ray-tracing⁹⁰ Spiegelungen und Lichtbrechungen erzeugt werden. Kurz erklärt bewirken die Einstellungen dieser Shader wie sich die Objektoberflächen den Beleuchtungsquellen gegenüber verhalten, z.B. hinsichtlich der Schattierung, Spiegelung oder Lichtbrechung des Materials.

Im hier behandelten Beispiel bietet sich die einfache Möglichkeit, die Positionsdaten einer „Feuer-Card“ mit denen eines Point- oder Spot-Lights zu verlinken. Positionsänderungen der Feuerquellen übertragen sich damit sofort auf ihre Lichtemission in der 3D-Szene. Bei den ständig anfallenden Änderungen eines solchen Shots ist dies enorm zeitsparend. Zudem kann die Intensität des Lichtes durch das Verhalten der abgebildeten Flamme gesteuert werden. Das geschieht in Nuke über das CurveTool, welches die RGB-Werte der Flammen-textur über jedes Frame abtastet und an die Intensitätsparameter des zugehörigen 3D-Lichts überträgt. Die Lichtquellen verhalten sich damit in Position, Farbe und Flackerverhalten wie die zugehörigen Feuerquellen auf den im Raum verteilten Cards. Das Licht wird an den entsprechenden Bereichen des Gebäudes reflektiert und steuert so zur Bildintegration der Bildelemente bei (Abb.30).

Vorteilhaft ist die Unmittelbarkeit, mit der die Modifikationen der Lichtquellen auf den vielseitigen Compositing-Elementen beurteilt werden können. Bei einem vergleichbaren Arbeitsprozess durch das 3D-Department und 2D-Compositing wäre dies zeitlich nicht machbar.

⁸⁹ Vereint u.a. Shader wie Diffuse oder Specular, arbeitet qualitativ höherwertig, da zur Bestimmung jedes einzelnen Polygons die Abstufungen zwischen den Flächennormalen interpoliert werden

⁹⁰ Engl. „Raytracing“ – „Strahlenverfolgung“ Verfahren zur Darstellung einer 3D-Szene, bei der der Lichtstrahl zur Erzeugung eines Pixels in die Szene rückverfolgt wird, unter Berücksichtigung aller Einfluss nehmenden Objekte

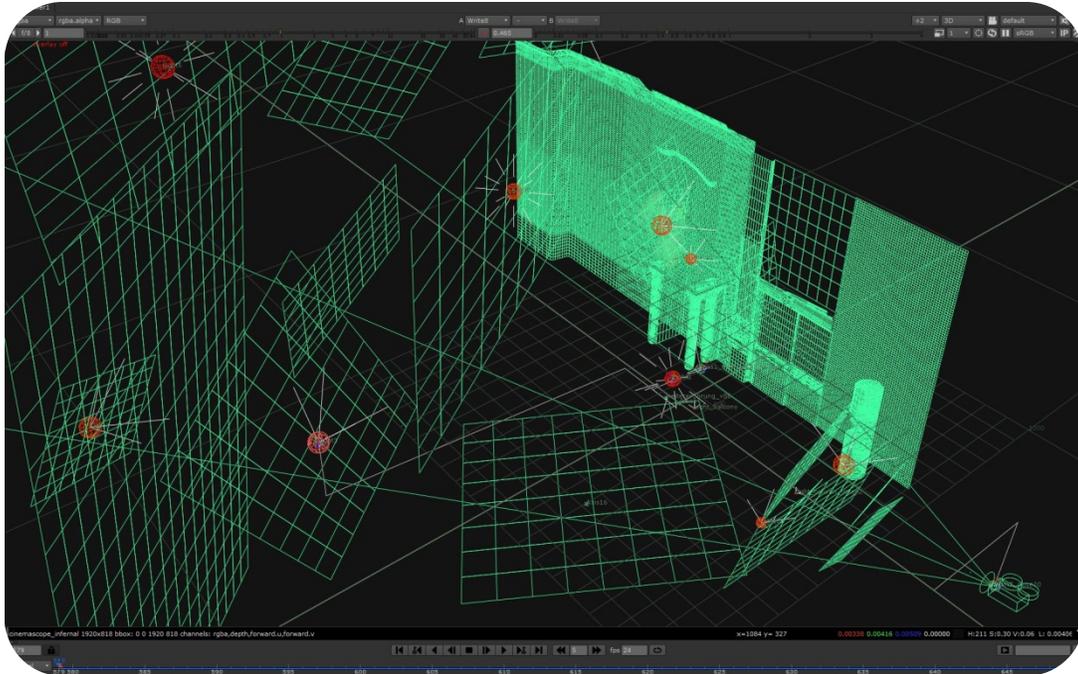


Abb.30 3D-Lichtquellen repräsentieren Feuertexturen um die Szene interaktiv zu beleuchten

Zu berücksichtigen ist, dass es im genannten Anwendungsbeispiel um die Beleuchtung einer verhältnismäßig einfachen 3D-Szene geht. Beim derzeitigen Stand wird in hochkarätigen VFX-Kinoproduktionen die fotorealistische Beleuchtung nach wie vor von Lighting-Spezialisten mit entsprechender 3D-Lighting Software erledigt. Bessere Bedienung, höhere Programmstabilität⁹¹ bei sehr komplexen Geometrien⁹² oder die umfangreicheren Möglichkeiten hinsichtlich des Shadings (z.B. SSS⁹³ oder Shadermodifikationen) sind Vorteile, die das Lighting häufig im 3D-Department belassen.

⁹¹ Bei durchschnittlichen PC-Systemen und/oder Verwendung mehrerer Displacement-Maps sind ab ca. 1Mio Polygonen deutliche Verlangsamungen mit der derzeitigen Nuke Version zu bemerken.

⁹² Mehrseitige Flächen, die über Vertices (Eckpunkte) zusammengesetzt das Gitternetz des 3D-Objekts ergeben.

⁹³ *Abk. Engl. "Subsurface Scattering" – "Volumenstreuung"* Streuung des Lichts bei teildurchlässiger Oberflächenbeschaffenheit des Objekts

5.3 Plate Cleaning für CGI Integration & 2,5Relighting

Verdeutlicht anhand von Neill Blomkamps „District 9“

VFX: Image Engine

In „District9“ strandet eine außerirdische Spezies aus einer Notlage heraus in Johannesburg. Wegen technischer Probleme sind sie zu einem Leben auf der Erde gezwungen, wo sie über Jahre von den Menschen in einer Slum ähnlichen Siedlung gehalten werden.

5.3.1 Plate Cleaning für CGI-Integration

Viele Shots, in denen die außerirdischen CG-Kreaturen eine interaktive Rolle spielen, wurden durch echte Darsteller gemimt. Einige von ihnen trugen optische Motion-Capture-Anzüge⁹⁴, um die Körperbewegungsdaten über das Rotomation-Verfahren⁹⁵ zu gewinnen. Durch diese Daten konnte bereits eine Grundanimation der Aliens erstellt werden. Zudem wurden dadurch Interaktionen, wie z.B. das Benutzen oder Berühren realer Objekte am Set gewährleistet (Abb.31).

Die Aliens besaßen jedoch eine andere Körperkontur als der Mensch und ihre Bewegungen sollten teilweise von denen der Darsteller leicht abweichen. Daher wurden Clean-Plates des jeweiligen Hintergrunds benötigt, um die Darsteller sauber zu entfernen und die gerenderten CG-Aliens entsprechend einzusetzen. Da die meisten dieser Einstellungen per Handkamera gedreht wurden, mussten sie dafür zunächst einem Matchmoving unterzogen werden. Daraufhin konnte

⁹⁴ Anzüge, die über spezielle Marker verfügen um Körperbewegungen zu extrahieren (hier: Verwendung non-reflektiver Marker) und auf 3D-Character zu übertragen.

⁹⁵ Durch 2D-Trackingverfahren und Handanimation wird ein Bewegungsabbild einer Person erstellt, welches sich auf 3D-Charakter anwenden lässt.

das bereits in Kapitel 4.2 angeschnittene Verfahren der Clean-Plate-Projection angewendet werden:



Abb.31 Darstellern mit optischen für das Rotomation

Dabei wird mittels einfacher Cards und der Matchmoving Daten ein geometrisches Abbild des Sets im 3D-Raum erstellt. Um diese Flächen zu texturieren, wird zunächst für jede Card ein einzelnes Frame an einer Zeitposition gewählt, in welchem keine Darsteller den Hintergrund verdecken. Dieses Einzelbild vom sauberen Hintergrund wird als Still weiterverwendet. Von der Matchmoving Kamera wird eine Kopie gemacht und ihre Ausrichtung wird an genau derselben Zeitmarke eingefroren. Sie kann somit als Projektor verwendet werden, der das besagte Still auf die zugehörige Card über die komplette Shotlänge projiziert (Abb.32 li). Nach Anwendung dieses Camera-Projection-Verfahrens auf alle verbliebenen Cards, ist die komplette Set-Geometrie texturiert und die 3D-Szene kann durch die Matchmoving-Kamera gerendert werden.

Das entstandene 2D-Material kann jetzt gezielt durch Masken eingegrenzt und über die Darsteller gelegt werden. Man erhält eine saubere Cleanplate, die sich gemäß der ursprünglichen Kamerabewegung verhält (Abb.32).



Abb.32 Cleanplate-Erstellung durch Camera -Projection

Mit Hilfe der Bewegungsdaten der Darsteller werden die CG-Kreaturen gerendert und dann im 2D-Compositing in das „gesäuberte“ Bild integriert (Abb.33). Von Vorteil an diesem Prinzip ist, dass die tatsächlich vorhandenen Darsteller auch Bezugspunkte für ihr Handeln untereinander haben. Die menschlichen Charaktere gucken z.B stets in die richtige Richtung oder reagieren entsprechend auf Aktionen eines „Alien-Darstellers“.

Zudem wurden die physischen Einwirkungen der Darsteller auf Objekte direkt für die CG-Kreaturen genutzt, wie im Beispiel die Benutzung der Schubkarre sichtbar (Abb. 31-33).



Abb.33 Einbindung CGI nach Clean Up des Background



Abb.34 Weiteres Beispiel BG-Clean Up für CGI „District9“

5.3.2 Optimierung der CG Bildintegration durch 2,5D Relighting

Grundsätzlich spielt das 3D-Lighting für Look und Integration eines CG-Objekts in das Realbild eine herausragende Rolle. Wie in Kapitel 5.2 angesprochen, sind diesbezügliche Kapazitäten im 3D-Compositing teilweise eingeschränkt. Der Compositor gerät jedoch in Situationen, in denen trotz der vielfältigen Bearbeitungsmöglichkeiten durch Render Passes, noch weitere wechselseitige Lichteinflüsse zwischen den Bildelementen ergänzt werden müssen. Die erneute Bearbeitung des Modells durch den 3D-Lighting-Artist bedeutet einen zeitlichen Mehraufwand durch erneutes Laden, Ändern und Rendern des Objekts.

Im Fall der CG-Kreaturen in „District9“ hat die Firma Image Engine daher das Relighting genutzt. Die Oberfläche der Aliens wurde sehr detailreich und schuppenähnlich gemodelt, was fein strukturierte Lichtreaktionen mit sich brachte (Abb.35).

Im Compositing kann durch das Relighting richtungsabhängiges Licht samt abgeschatteter Bereiche auf das bereits gerenderte Objekt, also das 2D-Material, geworfen werden. Diese Veränderungen kann in Echtzeit und im fertigen Composite beurteilt werden, da es sich nicht um die Beleuchtung rechenintensiver, fein aufgelöster Objektgeometrie handelt.



Abb.35 Beleuchtungsbeispiel CGI in „District9“

Das Relighting basiert auf Nutzung des Normal-Pass und des Pointposition-Pass, die als Beiprodukt beim Multipass-Rendering in der 3D-Applikation miterrechnet werden können. Da es sich bei den Render-Passes um zweidimensionale Bildinformationen handelt, spielt es keine Rolle wie aufwändig die CG-Objekte zuvor gemodelt, texturiert oder geshadet wurden. Das Bildformat des gerenderten Materials bleibt gleich. Die hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit beim Relighting ist möglich, da man sich eben nicht mehr im 3D-Raum befindet, in welchem jede Lichtveränderung von einem Renderer erneut berechnet werden muss.

- **Normal Pass:**



Entspricht dem eigentlichen Bildinhalt, jedoch mit einer neu ausgelegten RGB-Information. Die Farbinformation der Pixel, übersetzt das Compositing Tool in Werte, die der Ausrichtung der Normalenvektoren am ursprünglichen 3D-Model entsprechen. Ein Normalenvektor bestimmt die Ausrichtung in welche eine Polygonfläche in den 3D-Raum zeigt (Abb.36). So wird ein Polygon maximal beleuchtet, wenn sein Normalenvektor den gleichen Einfallswinkel eines auftreffenden Lichtstrahls hat. Der Beleuchtungsgrad nimmt ab, bei Zunahme der Winkel-differenz. Ab 90° aufwärts bleibt das Polygon unbeleuchtet.

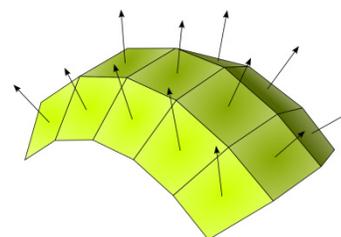


Abb.36 Polygone mit Normalenvektoren

- **Pointposition Pass:**



Vom Compositing Programm neu interpretiert, entsprechen die Farbwerte dieses Passes der Pixel-Position im WKS relativ zur Renderkamera. Der Wert des R-Kanals entspricht dabei den Einheiten der X-Koordinate, G der Y-Koordinate und B der Z-Koordinate. Auf diese Weise lässt sich die einstige 3D-Position des Models für jedes Pixel rekonstruieren.

Diese beschriebenen Passes, die Anordnung einer Lichtquelle und die Position der Renderkamera aus dem 3D benutzt das Relight-Tool, um einen dreidimensional wirkenden Beleuchtungseffekt aus flachen Bildern zu errechnen. Daher auch die Bezeichnung „2,5D“. Die gewonnen Positions- und Richtungsinformationen der Pixel werden für den Relighting-Prozess neu interpretiert und können dadurch Lichtabstufungen von maximaler Beleuchtung bis zu kompletter Schattierung definieren.

In einer EXR-Datei lassen sich die beschriebenen Passes in das Compositing laden. Die Positionierung der Lichter geschieht im parallel geöffneten 3D-Viewer. Eine Orientierungshilfe bietet hier das Tool PositionToPoints, das aus Beauty- und Position-Pass ein ressourcenschonendes Abbild des CG-Objekts in Form einer Point-Cloud im 3D-Raum erzeugt. Dort findet jedoch nur die räumliche Ausrichtung der Lichtquelle zum Objekt statt und nicht die eigentliche Beleuchtung wie in Kapitel 5.2. (Abb.37)

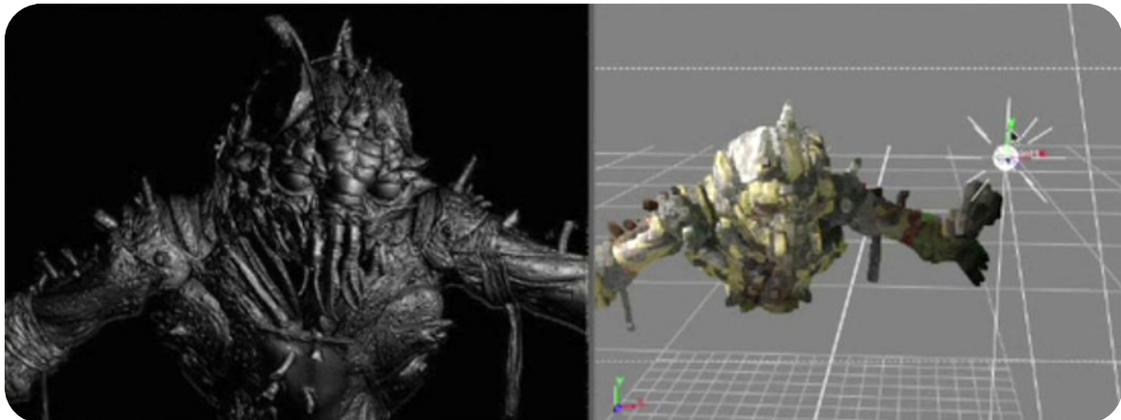


Abb.37 Licht erzeugt durch Relighting (links), Ausrichtung der Lichtquelle im 3D-Viewer unter Zuhilfenahme einer Point-Cloud des Objekts (rechts)

Dieses Verfahren ist kein Ersatz für herkömmliches Lighting und Shading im 3D-Department. Es bietet bei Weitem nicht die Möglichkeiten wie z.B. echten Schattenwurf zwischen mehreren Objekten. Im genannten Beispiel „District9“ ist es den Compositing-Artists aber möglich gewesen, einen Alien bspw. mit zusätzlichen Kantlichtern oder Aufhellungen zu versehen oder das Abschatten eines Körperbereiches durch andere Bildkomponenten zu realisieren. Licht und „Schatten“ verhalten sich auf dem zweidimensionalen Objekt so, als seien sie auf sein Pendant im 3D-Raum getroffen.

6. Fazit: Verschwimmen der Grenzen 3D - 2D?

Es stellt sich die Frage, ob der Compositing-Artist auch zukünftig immer mehr Aufgaben aus dem 3D-Department übernehmen wird oder ob eine klare Grenze gezogen werden kann. Wurde das 3D-Compositing anfänglich vor allem für digitale Set-Extensions genutzt, so besteht inzwischen ein klarer Trend dahin, mehr Bereiche in das 2D-Department zu verschieben, um schneller und kosteneffizienter qualitative Ergebnisse zu erzielen. *„Die VFX-pipeline entwickelt sich in eine Richtung, in der das 3D-Dep. weiterhin fürs Modeling und die Animation komplizierter CGI zuständig ist, während das 2D-Dep. sich neben dem Compositing auch um das damit eng verknüpfte Lighting und die Materialbestimmung der CGI kümmert.“*⁹⁶ Diese Aussage findet Bestätigung in den großen VFX-Facilities, die Ihre Compositing Tools dementsprechend modifizieren bzw. durch eigens entwickelte Plugins⁹⁷ erweitern. Zum anderen setzen auch die Softwareentwickler bei der Weiterentwicklung Ihrer Compositing-Produkte einen Schwerpunkt im Bereich 3D-Kapazitäten. The Foundry hat bei der X-Version ihres Compositing Tools neben dem funktionalen 3D-Tracker auch mehrere Tools zum Modeln simpler Geometrien und für die automatische Ausrichtung von Projektions-Kameras integriert. Die Einbindung eines echten 3D-Partikelsystems, wie schon seit längerem in Fusion verfügbar, wird in der kommenden Nuke Version 6.3 erscheinen. Über die jetzt bereits vorhandenen Fähigkeiten im Lighting hinaus würde die geplante Einbindung des 3D-Lighting-tools „Katana“⁹⁸ eine beachtliche Erweiterung der Möglichkeiten bedeuten.

⁹⁶ Wright, Steve, www.weynand.com/wt/katana (2010)

⁹⁷ Programm das in andere Software implementiert werden kann um dessen Funktionsumfang zu erweitern

⁹⁸ 3D-Lighting Software, urspr. entwickelt von Sony Pictures Imagework's, 2009 von The Foundry übernommen und im Weiterentwicklungsprozess

Eine Verschmelzung der klassischen Bereiche aus 2D und 3D wird es in absehbarer Zeit jedoch nicht geben, da beide Gebiete zu vielfältig sind, um für einen sinnvollen Produktionsworkflow vereinheitlicht zu werden. Die Spezialisierungen der verschiedenen Artists werden für den effizienten Arbeitsablauf bei großen Produktionen weiterhin eine wichtige Rolle spielen.

Abkürzungsverzeichnis / Glossar

3D-Tracking Programm Andere Bezeichnung für das „Matchmoving Programm“

Antialiasing *Auch Kantenglättung.* Verfahren zur Verminderung des Treppeneffekts bei Computergrafik

Background-Plate Compositing Element das als Ebene für den Hintergrund genutzt wird

Branch Unidirektionale Verbindungslinien. Übergeben die Daten an das nächste Tool

CGI *Abk. „Computer Generated Imagery“,* durch 3D-Computergrafik erzeugte Bilder in Filmproduktionen

chan *Dateityp „Channel-Files“* Austauschformat für 3D Bewegungsdaten, beinhalten kartesische Koordinatenwerte für jedes einzelne Frame

Cleanplate Bildmaterial, separat zur normalen Plate unter Ausschluss bestimmter Vordergrundobjekte gedreht. Kann auch nachträglich durch div. VFX-Anwendungen erzeugt werden

Color-Grading Zuständig für die Beeinflussung der Licht- und Farbstimmung eines Films

Compositing (als Teilbereich des 2D-Departments): Bezeichnet das eigentliche Zusammensetzen der Bildkomponenten, ohne die anderen genannten Arbeitsbereiche

DepthGenerator NukeX-Tool entwickelt von The Foundry. Generiert unter Einbindung des CameraTrackers eine Depth Map (z-Depth Map) aus der Live Action Plate

Depth Map (oder z-Depth Map) Repräsentiert den Abstand zwischen den Objekten einer Szene zur Kamera in Form eines Graustufenbildes

Displacement-Map Graustufeninformation, wird angewandt auf 3D-Objekt um Oberfläche zu verformen bzw. zu detaillieren

Dolly Kamerawagen mit dem ruckelfreie Kamerafahrten umgesetzt werden können

EXR *Dateityp, auch "OpenEXR"*. Open Source HDR-Grafikformat, welches von ILM herausgegeben wurde. Ermöglicht Einbindung von bis zu 1024 beliebigen Datenkanälen in einer Datei unter verlustfreier Kompression

Facial Replacement Effekt-Verfahren um das Gesicht oder Gesichtsbereiche zu ersetzen

FBX *Dateityp* Von Autodesk entwickeltes Dateiformat für den Austausch von 3D-Inhalten

Floating Point *Engl. "Floating Point number" – Gleitkommazahl*, gängige Darstellung reeler Zahlen in Computersystemen, Nuke arbeitet nativ mit 32bit pro Farbkanal

Frame *Engl. „frame" – „Einzelbild"*, z.B. 24 Einzelbilder/Sek. bei Aufnahmen mit normaler Filmkamera

Handles Länge vor und nach dem Shot, zunächst nur grob mitbearbeitet für Spielraum im Schnitt

HDR *Auch HDRI, High Dynamic Range Image* Bild mit sehr hohem Kontrastumfang zur Speicherung der in der Natur vorhandenen, extremen Helligkeitsunterschiede

Holdout Matte Maske die einen best. Bereich von einer Operation ausschließt

Inhouse-Tool Exklusiv für die eigene Produktionspipeline entwickelt, nicht am Markt erhältlich

Keying Eingrenzung bestimmter Farb- oder Helligkeitswerte im Bild für die Erzeugung einer Maske

Light Probe Omnidirektionales HDR-Bild das Lichtinformationen einer realen Situation speichert und so für 3D-Szene als Lichtquelle genutzt werden kann, aufgenommen z.B. mit Fisheye-Lens oder über Spiegelkugel

Live-Action-Plate Bezeichnung für das am Drehort aufgenommene Bildmaterial, im Folgenden auch „Plate“ genannt

Locked Cut Die finale Schnittversion, keine Änderungen werden mehr durchgeführt

Maske, maskiert Eine Maske begrenzt Bildbereiche die eine Bearbeitung ein- oder ausschließen soll. Besteht aus S/W Information im sog. Alpha-Kanal des Bildes

Matchmoving Artist Auch als „Matchmover“ bezeichnete Position. Zuständig für das 3D-Tracking bzw. Matchmoving

Mesh Bezeichnung für die Polygonnetzstruktur eines 3D-Objektes

Mood Engl. „mood“ - „Stimmung“, bezeichnet Grundstimmung, Atmosphäre die eine VFX-Sequenz unter Berücksichtigung aller Bildkomponenten erzielen soll, wird im Vorfeld als Zeichnung oder oberflächliches Compositing erstellt

Motion Blur Bewegungsunschärfe durch die Bewegung eines Objekts während der Belichtung eines Frames

Multisampling Mehrstufiger Renderprozess, in dem für die Errechnung jedes Pixel mehrere Subpixel gemittelt werden, in Nuke u.a. für Motion Blur und Antialiasing der 3D-Szene verwendet

Near- /Far-Plane Definiert die vorderste und hinterste Aufnahme-Ebene der Kamera, das sog. View-Frustum, nur innerhalb dieses Bereichs berücksichtigt die Render Kamera Objekte im 3D-Raum

Obj Dateityp Austauschformat für 3D-Inhalte

OpenGL „Open Graphics Library“ Spezifikation für programmiersprachenunabhängige Schnittstelle zur Entwicklung von 2D- und 3D-Computergrafik

Paint Technik um in Bildsequenzen bestimmte Bereiche zu retuschieren oder zu reproduzieren

Phong Shader Vereint u.a. Shader wie Diffuse oder Specular, arbeitet qualitativ höherwertig, da zur Bestimmung jedes einzelnen Polygons die Abstufungen zwischen den Flächennormalen interpoliert werden

Pipeline Engl. „pipeline“ – „(Rohr)leitung“, Bezeichnet das vernetzte Produktionssystem einer VFX-Firma

Plugin Programm das in andere Software implementiert werden kann um dessen Funktionsumfang zu erweitern

Point-Cloud Die dreidimensionale Reproduktion von Objekten in Form einer Punktwolke im Koordinatensystem, erstellt durch Matchmoving oder 3D-Scanning (z.B. lidarvfx.com)

Polygon Mehrseitige Flächen, die über Vertices (Eckpunkte) zusammengesetzt das Gitternetz des 3D-Objekts ergeben.

Precomp Das Zusammenfassen mehrerer Layer zu einer Untercomposition

Previsualisierung (Abk. „Previz“) Vor dem Dreh erstellte, sehr einfache 3D-Animation als hilfreiche Voransicht eines VFX-Shots

Python Objektorientierte Open Source, Als Skriptsprache häufig genutzt für Wartung und Modifikation div. Programme

Raytracing Engl. „Raytracing“ – „Strahlenverfolgung“ Verfahren zur Darstellung einer 3D-Szene, bei der der Lichtstrahl zur Erzeugung eines Pixels in die Szene rückverfolgt wird, unter Berücksichtigung aller Einfluss nehmenden Objekte

Refraction Brechung des Lichts durch Veränderung des befindlichen Mediums

Rendering Rechenoperationen, die aus 3D-Rohdaten oder den 2D-Elementen die finalen Bilddaten erzeugen

Render-Passes Die Oberflächenbeschaffenheit eines CG-Elements werden für die bessere Beeinflussbarkeit Compositing in separaten Passes gerendert. Man spricht auch vom Multipass-Rendering

Rotomation Durch 2D-Trackingverfahren und Handanimation wird ein Bewegungsabbild einer Person erstellt, welches sich auf 3D-Charakter anwenden lässt

Rotoscoping Das Erstellen von Masken Frame für Frame (unter möglicher Nutzung von Interpolation)

Sehstrahlen hier: Die Gesamtheit der Strahlen die vom Augpunkt aus durch die Kameraöffnung den gesamten Bildbereich abdecken

Shader Engl. „*Shader*“ – „*Schattierer*“ Renderalgorithmus der die Oberfläche eines 3D-Objekts anhand von Materialbestimmung und Beleuchtungseinfluss errechnet

Shot Engl. „*shot*“ – „*Einstellung*“ Einzelbildsequenz die ohne Unterbrechung aufgenommen wurde, in der VFX-Bearbeitung hat sich „Shot“ als Begriff etabliert

Software Only Tool I.G.z. hardwarebasierten Tools werden diese Programme ohne die Bindung an bestimmte Hardwarekomponenten vertrieben

SSS Abk. Engl. "*Subsurface Scattering*" – "*Volumenstreuung*" Streuung des Lichts bei teildurchlässiger Oberflächenbeschaffenheit des Objekts

Still Engl. „*still*“ – „*Standbild*“

TCL Abk. „*Tool Command Language*“ Open Source Skriptsprache die -weil sehr textbasiert- als simpel gilt

Texturieren Das „Überziehen“ eines 3D-Objekts mit einer aus Bildmaterial bestehenden Textur

Tracking Marker Kontraststarke Muster auf Karten oder Kugeln, werden am Set angebracht um den Trackvorgang zu unterstützen

VFX siehe Visual Effects

Visual-Effect In der Postproduktion digital erzeugter Bildeffekt

Weltkoordinatensystem Abk. WKS, ist das Ursprungskoordinatensystem dem alle anderen Koordinatensysteme zugrunde liegen

z-Channel Tiefenkanal der als Graustufeninformation die Abstand zwischen Renderkamera und Objekten enthält

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Adobe Systems Inc.: *Using ADOBE AFTER EFFECTS CS5 (2010)*
- Andersson Technologies: *SynthEyes™ 2008.0.1000 User Manual, (2008)*
- Autodesk: *Flame, (Stand 2011)* <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=403786&id=14609749>
- Badlands Film: *News "This is Love" Making Of,* http://www.badlands-film.de/newsdetail_news-4_de.html
- Braun, S.: *Matchmoving, (2007)*
- Brinkmann, Ron: *The Art and Science of Digital Compositing 2nd Edition, (2008) Morgan Kaufmann*
- ENCYCLO Online Encyclopedia: *Beauty Pass, (Stand 2011),* <http://www.encyclo.co.uk/define/Beauty%20Pass>
- ENZYKLO Online Enzyklopädie: *Weltkoordinatensystem, (Stand 2011)* <http://www.enzyklo.de/Begriff/Weltkoordinatensystem>
- Failes, Ian in FX Guide: *District 9, (2009)* http://www.fxguide.com/featured/District_9/
- Flückiger, Barbara: *Visual Effects. Filmbilder aus dem Computer 1.Auflage, (2008) Schüren Verlag*
- Frazer, Bryant.: *How They Did it: District 9, (2009) Studio Daily -Film&Video-* http://www.studiodaily.com/filmandvideo/currentissue/How-They-Did-It-District-9_11250.html
- Free Online Dictionary Of Computing: <http://foldoc.org/>
- Frickinger, Andreas: *Dreidimensionales Compositing im Visual Effects Workflow (2008)*
- Gellinger, Florian in FX Guide: *fxguideTV Episode 70, (2009)* http://www.fxguide.com/fxguidetv/fxguidetv_070/

- Hellard, Paul, CG-Society:
Production Focus "District 9" Part 1&2, (2009),
http://features.cgsociety.org/story_custom.php?story_id=5302
http://features.cgsociety.org/story_custom.php?story_id=5322
- Idagrove: *VFX-Glossar, (Stand 2011)*
<http://www.idagrove.de/glossar.php>
- Industrial Light & Magic: *OpenEXR, (Stand 2011)*
<http://www.openexr.com/>
- Kirchner, Sven: *HDRI – High Dynamic Range Image-, (2005)*
Fachhochschule Wiesbaden
- Landis, Hayden: *Production-Ready Global Illumination, (2002)*
Siggraph Course Notes, Vol. 16
- Maus, Helge: *Einstieg in Cinema 4D 11 Aufl. 11, (2009) Galileo Design*
- Nukepedia: *ITV with Jonathan Egstad – Nuke Developer, (2010)* <http://www.nukepedia.com/interviews/interview-jonathan-egstad/>
- Okun, Jeffery A.: *The VES Handbook of Visual Effects, (2010)*
Focal Press
- Park, John Edgar: *Understanding 3D Animation Using Maya 1st Edition, (2004) Springer Verlag*
- Python™ Software Foundation: *What is Python? Summary, (Stand 2011)* <http://www.python.org/doc/essays/blurb/>
- Shoghian, Shervin in *FX Guide: fxguideTV Episode 71, (2009)*
http://www.fxguide.com/fxguidetv/fxguidetv_071/
- The Foundry Visionmongers Ltd.: *Nuke 6.2v1, Visual Effects Software User Guide (2010)*
- The Foundry: *2.5D-Relighting in Nuke Masterclass Jan. 2009, (Stand 2011)*

<http://www.thefoundry.co.uk/articles/2009/01/29/101/nuke-masterclass-january-2009/>

- The Foundry Visionmongers Ltd.: *Nuke – Powerfull Node-based Compositor, (Stand 2011)*

<http://www.thefoundry.co.uk/products/nuke/>

- The 3Delight Team: *Global Illumination in 3Delight 9.0 User´s Manual*

- Ulthryvasse.de: *Gleitkommazahlen, (Stand 2011),*

<http://www.ulthryvasse.de/db72.html>

- Visual Dynamics: *VRay for Rhino Manual, (Stand 2011)*

http://www.vray.com/vray_for_rhino/manual/environment_lighting.shtml

- Wikipedia: *Antialiasing, (Stand 2011)*

http://de.wikipedia.org/wiki/Antialiasing_%28Computergrafik%29

- Wikipedia: *Computer-generated imagery, (Stand 2011)*

http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-generated_imagery

- Wikipedia: *Diffuses Licht, (Stand 2011)*

http://de.wikipedia.org/wiki/Diffuses_Licht

- Wikipedia: *Dolly (Kamerawagen), (Stand 2011)*

http://de.wikipedia.org/wiki/Dolly_%28Kamerawagen%29

- Wikipedia: *Python (programming language), (Stand 2011),*

http://en.wikipedia.org/wiki/Python_%28programming_language%29

- Wikipedia: *Volumenstreuung, (Stand 2011)*

<http://de.wikipedia.org/wiki/Volumenstreuung>

- Wikipedia: *Weltkoordinatensystem, (Stand 2011)*

<http://de.wikipedia.org/wiki/Weltkoordinatensystem>

- Wolfram Mathworld: *Normal Vector*, (Stand 2011)
<http://mathworld.wolfram.com/NormalVector.html>
- Wright, Steve: *Compositing Visual Effects, Essentials for the Aspiring Artist* (2008) Focal Press
- Wright, Steve: *Digital Compositing for Film and Video 3rd Edition*, (2010) Focal Press
- Wright, Steve: *Katana – 3D Lighting*, (2010)
<http://www.weynand.com/wt/katana/>
- Wright, Steve: *2D Goes 3D*,
<http://www.weynand.com/wt/2d-goes-3d/>
- Zwerman, Susan: *The Visual Effects Producer: Understanding the Art and Business of VFX*, (2009) Focal Press
- 3D-animation.com.ar: *3D Glossary*, (Stand 2011)
http://www.3d-animation.com.ar/glossary_3d_4.php
- 3D-Center.org: *Das Floating-Point-Format im Detail*, (2004)
http://alt.3dcenter.org/artikel/fp_format/ (Stand 2011)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	M. Jürgensen	8
Abb. 2	M. Jürgensen	10
Abb. 3	M. Jürgensen	11
Abb. 4	only3d.net.ru/_nw/0/08241182.jpg, Maya2011	13
Abb. 5	M. Jürgensen @riseFX, „Liebe Mauer“ von Peter Timm, (2009) Warner Bros. Ent.	15
Abb. 6	M. Jürgensen	17
Abb. 7	M. Jürgensen @filmAK BW, „Infernal Nuns“ von Roland Petrizza, (2010)	18
Abb. 8	M. Jürgensen	23
Abb. 9	M. Jürgensen @blubb.media, „Binz-Extend“ (2011)	28
Abb. 10	vgl. Abb. 9...	31
Abb. 11	vgl. Abb. 9	31
Abb. 12	vgl. Abb. 9	32
Abb. 13	vgl. Abb. 9	32

Abb. 14	vgl. Abb. 9	33
Abb. 15	vgl. Abb. 9	34
Abb. 16	vgl. Abb. 9	35
Abb. 17	vgl. Abb. 9	36
Abb. 18	vgl. Abb. 9	37
Abb. 19	vgl. Abb. 9	38
Abb. 20	vgl. Abb. 9	40
Abb. 21	vgl. Abb. 9	40
Abb. 22	vgl. Abb. 9	42
Abb. 23	M. Jürgensen	44
Abb. 24	vfx@riseFX, „This is Love“ von M. Glasner, (2009) Badlands Film, www.fxguide.com/fxguidetv/fxguidetv_070 , www.badlands-film.de/newsdetail_news-4_de.html	45
Abb. 25	vgl. Abb. 24	47
Abb. 26	vgl. Abb. 24	48
Abb. 27	vgl. Abb. 24, Ergänzungen M. Jürgensen	50

Abb. 28	vgl. Abb. 24	52
Abb. 29	M. Jürgensen @filmAK BW, „Infernal Nuns“ von Roland Petrizza, (2010)	53
Abb. 30	vgl. Abb. 29	57
Abb. 31	<i>vfx@ImageEngine, „District 9“ von Neill Blomkamp, (2009) Sony Pictures,</i> <i>www.fxguide.com/fxguidetv/fxguidetv_071,</i> <i>www.fxguide.com/featured/District_9</i>	59
Abb. 32	vgl. Abb. 31	60
Abb. 33	vgl. Abb. 31	61
Abb. 34	vgl. Abb. 31	61
Abb. 35	vgl. Abb. 31	62
Abb. 36	de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/452365 , Flächennormale	63
Abb. 37	vgl. Abb. 31	65