

Peter Oel, Jens Riemschneider

# Am Anfang war das Bild

Fotorealistische Grafik mit Image-based Rendering

**Computergenerierte Bilder und Szenen fotorealistisch darzustellen gilt als der heilige, selten erreichte Gral der Computergrafiker. Statt die Modelle mühsam am Rechner zu erstellen, geht Image-based Rendering (IBR) einen anderen Weg: Aus Kamera-Aufnahmen realer Objekte erzeugt IBR Szenen und Ansichten, die von vornherein auf fotorealistischen Abbildern aufbauen.**

Die fotorealistische Darstellung einer Szene ist eines der anspruchsvollsten Ziele der Computergrafik. Aus einfachen Körpern oder Flächen wie Kugel, Quader und Dreieck soll die Grafikanwendung selbst die komplexeste Szene auf den Bildschirm zaubern. Die Darstellung soll realistisch aussehen und sich am Vorbild der Natur orientieren. Mit den dazu benötigten Anwendungen wie AutoCAD oder 3D Studio Max erschaffen nur noch Spezialisten realistische Szenen. Die Hardwareanforderungen sind enorm, die schnellsten und

damit teuren Prozessoren und Systeme geraten hier schnell an ihr Limit. Der Grafiker hat nicht selten mehrere Stunden Pause, während sein Rechner vor sich hinrendert.

Doch warum vereinfachen Bilder oder Filme nicht den Entwurf von komplexen Szenen und ersparen damit dem Spezialisten die mühevollen Kleinarbeit, eine Szene von der Pike auf zu entwerfen? Scanner, digitale Fotokamera und Video-Hardware liefern bereits fotorealistische Vorlagen. Gesucht wird noch eine Software, die eine Szene auf den Bildern oder

Filmen 'erkennt' und Objekte rekonstruiert – also aus 2D-Bildern das 3D-Objekt rekonstruiert. Leider überfordert die komplexe reale Welt in vielen Fällen auch schnelle Computer, wenn diese etwa Millionen dünne Haare eines Stofftiers oder viele Blätter eines Baumes nachbilden sollen. Die Ergebnisse sind zu ungenau und entsprechen nicht den heutigen Qualitätsanforderungen.

Zudem reicht die Ermittlung der Form allein nicht aus, um ein Objekt wirklich realistisch auf dem Bildschirm anzuzeigen. Zu einem vollständigen Abbild der Natur gehören auch Farbe, Glanz, Reflexion und Transparenz, die die Oberfläche des Objekts zusätzlich beschreiben. Gerade diese Phänomene machen sich aber störend bei der Rekonstruktion bemerkbar. Die geometrische Form aus Fotos zu extrahieren, scheidet deshalb als Alternative

zum rein virtuellen Modellieren am Rechner aus.

1980 hatte A. Lippman die Idee, auf einer Video-Disk eine Vielzahl von Ansichten einer Szene zu speichern. Das Movie-Map genannte Verfahren wählt je nach Position eines Betrachters die geeignete Ansicht aus und zeigt sie auf dem Bildschirm an. Leider scheitert ein solches Verfahren am benötigten Speicheraufwand. Das Konzept der Movie-Map zeigt allerdings einen interessanten Ansatz, denn sie verzichtet auf geometrische Informationen und kennt nur eine Reihe von Kamera-Aufnahmen.

Hier setzt Image-based Rendering an: Statt die Festplatte mit Bildern eines Objektes aus möglichst vielen Ansichten voll zu packen, versucht man aus wenigen Aufnahmen zusätzliche Ansichten zu berechnen – ohne Objekterkennung im Bild.

IBR kann als junges, aber dynamisches Forschungsgebiet erstaunliche Erfolge vorweisen. Aus nur wenigen Ansichten erzeugen IBR-Techniken auch auf durchschnittlichen Rechnern schnell weitere Bilder. Je nach Vorlage und gewünschter Anwendung kommen unterschiedliche Verfahren und Algorithmen zum Einsatz, darunter Panoramatechnik, Light Field und View Morphing. Einige Forschungsgruppen demonstrierten Animationen bis hin zu Realtime-Szenen (siehe Kasten 'Image-based Rendering im Web'). Mit Apple QuickTime VR führte die IBR-Forschung bereits zu einem der ersten Produkte.

Die Bilderzeugung mit Image-based Rendering besteht häufig aus drei Schritten. Zuerst müssen die Daten, auf deren Basis man neue Bilder berechnet, eingelesen werden. Die enthalten meist eine Reihe einzelner Fotos eines Gegenstands oder einer Szene aus unterschiedlicher Perspektive, je nach eingesetztem Verfahren. Aus den Bildern baut IBR eine geeignete Datenstruktur auf, um möglichst viel Information möglichst effizient zu

speichern. Im letzten Schritt berechnet der Algorithmus mit dieser Datenstruktur neue Bilder des Gegenstands oder der Szene.

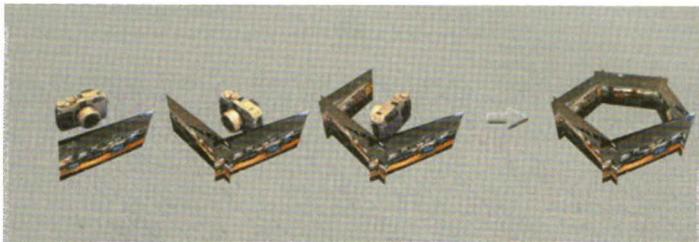
### Strahlen für IBR

Beim Image-based Rendering spielen Projektionsstrahlen eine zentrale Rolle, die einen dreidimensionalen Gegenstand auf eine 2D-Fläche projizieren.

Nichts anderes passiert beim Fotografieren, wenn die Umgebung auf den zweidimensionalen Negativfilm gebannt wird. IBR-Verfahren verwenden jedoch nicht nur plane Flächen, sondern je nach Verfahren auch Oberflächen von Zylinder, Kugel oder Würfel.

Trifft ein Lichtstrahl auf die Ebene, dann belichtet er im Fall der Fotografie den Film: Die

Ebene speichert die Farbinformation des Strahls. IBR soll neue Ansichten einer Szene berechnen, also die gedachte Kamera und damit eine neue Projektionsebene an eine Position oder in eine Richtung stellen, von der keine reale Aufnahme existiert. Einige der Strahlen von aufgenommenen Bildern verlaufen durch diese Projektionsebene des neu zu berechnenden Bildes und



**Einzelbilder fügt Quicktime VR zu einer Panorama-Ansicht zusammen. Wählt der Betrachter einen Szenenausschnitt, entzerrt der Algorithmus genau diese Ansicht.**

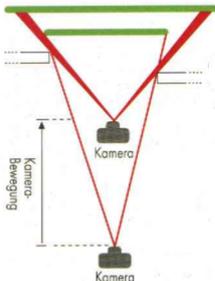
man erhält so bereits Farbwerte für die einzelnen Bildpunkte. Mit genügend Bildern einer Szene, also ausreichend Strahlen, kann der Algorithmus dann genügend Bildpunkte des neuen Bildes berechnen.

Es dreht sich also alles darum, so viele Strahlen wie möglich in so wenig Speicher wie möglich abzulegen. Die einzelnen IBR-Techniken unterscheiden sich hauptsächlich darin, wie sie welche Strahlen speichern. Jede Image-based-Rendering-Technik kämpft mit dem Dilemma, einerseits dem Betrachter nur geringe Bildschärfe aufzubringen und passable und schnelle Darstellung zu bieten, andererseits mit wenig Speicherplatz auszukommen.

Da es praktisch unmöglich ist, genügend Strahlen zu sammeln, um jede beliebige neue Ansicht zu berechnen, geben einige IBR-Verfahren Einschränkungen bei der Positionierung des Betrachters oder dessen möglichen Blickrichtungen vor. Quicktime VR arbeitet mit Panoramatechnik und erlaubt damit verschiedene Blickwinkel, aber keinen anderen Betrachtungs-ort; die Light Field Technik speichert alle Strahlen, die zwei parallele Ebenen schneiden, und beim View Morphing versucht man den einzelnen Bildern genau die Strahlen zuzuordnen, die sich jeweils in einem Punkt des Objekts treffen.

### Panoramatechnik

An welchen Orten soll man die Fotos einer Szene aufnehmen, damit per IBR daraus neue



Bilder entstehen? Die Panoramatechnik schränkt die Bewegungsfreiheit dadurch ein, dass sich der Betrachter nur an einer Position befinden kann. Nur aus dieser Position berechnet das Verfahren neue Ansichten.

Jetzt muss noch eine geeignete Darstellung der Bildspeicherung her, aus der sich leicht neue Bilder erzeugen lassen. Dazu bietet sich ein Panoramabild an, das in einem Bild einen 360°-Rundumblick zeigt. Die Fototechnik bietet spezielle Panoramakameras, die solche Panoramabilder in einem Rutsch aufnehmen. Stehen nur einzelne Fotos zur Verfügung, so werden diese auf einen den Fotografen umgebenden Zylinder abgebildet. Die Fotos müssen sich überlappen, um ein kontinuierliches Panorama zu erhalten. Neue Ansichten berechnet der Algorithmus, indem er den benötigten Ausschnitt des Panoramas von der gekrümmten Darstellung auf dem Zylinder wieder in eine ebene Darstellung überführt.

**Warum Zoom nicht reicht: Quicktime VR erlaubt, per Mausklick den Ausschnitt einer Szene heranzuziehen. Allerdings können vorher verdeckte Teile des Objekts, die eine Kamera an dieser Stelle erfassen würde, nicht sichtbar gemacht werden, denn die Ansicht basiert auf einem einzigen Bild. Erst ein Verfahren wie Light Field kann auch Überdeckungen richtig darstellen.**

Apples Quicktime VR, eine der ersten IBR-Anwendungen überhaupt, ist es egal, woher das Panoramabild kommt [2]. Die Software kann sowohl Einzelbilder verwenden, die der so genannte Stücher, ein von Apple bereitgestelltes Werkzeug, automatisch zu einem Panorama verbindet, als auch fertige Panoramabilder, die eine spezielle Kamera aufnimmt. Einen umfassenden Überblick über Tools zum Bauen von Quicktime VRs und weiteren Panoramatechniken gibt [1].

Das Panorama wird in kleine Stücke zerhackt (dicing) und ähnlich einer Quicktime-Film-Datei komprimiert und abgespeichert. Zur Anzeige dekomprimiert QuickTime VR nur die benötigten Stücke und entzerrt sie durch eine Rücktransformation (warping). Ein moderner PC errechnet damit neue Ansichten sogar in Echtzeit. Der Betrachter kann deshalb mit dem Mauszeiger interaktiv steuern, welchen Bildausschnitt er sehen möchte und bekommt

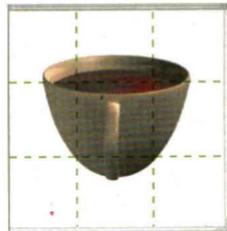
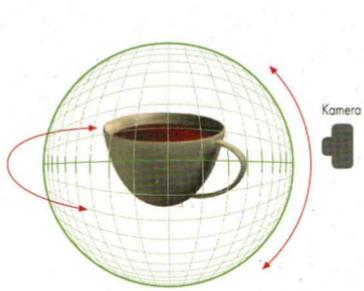
damit den Eindruck, sich in der Szene umzublicken.

Zwar beschränkt sich die Panoramatechnik auf die Änderung des Blickwinkels und die unveränderliche Position des Betrachters; Quicktime VR kann jedoch immerhin mehrere Panoramen in einer Datei speichern und verbinden. Der Standortwechsel erfolgt dann per Mausklick. Von einer kontinuierlichen räumlichen Bewegung ist man damit allerdings noch entfernt.

Mit Object Movie überwindet Apple zum Teil diese Beschränkung. Die Herstellung eines Object Movie ist etwas komplizierter als die Panoramadarstellung: Um einen Gegenstand der Szene wird eine virtuelle Kugel gelegt. Von der Oberfläche dieser Kugel aus nimmt man in gleichmäßigen Abständen Fotos auf und speichert diese als Quicktime-VR-Datei.

Bei der interaktiven Darstellung unterteilt ein Gitter das Fenster in verschiedene Zonen. Je nachdem, in welcher Zone sich der Mauszeiger befindet, erscheint das dieser Zone zugeordnete Bild. In einer erweiterten Version (absolute referenced object) kann zu jeder Gitterzone sogar ein kleines Filmchen gehören, um etwa das Flackern einer Kerze aus unterschiedlichen Ansichten darzustellen.

Ein Object Movie mit realen Gegenständen erfordert einen großen Aufwand. Für ein flüssiges Abspielen müssen viele Aufnahmen aus exakten Positionen vorliegen, da nur die Bilder sichtbar sind, die man vorher aufgenommen hat. Neue



Mit Object Movie kann Quicktime VR auch Rundflüge ums Objekt darstellen: Die Kamera nimmt das Objekt aus unterschiedlicher Perspektive auf. Das zur gewünschten Mausposition passende Bild wählt Quicktime VR dann aus. Object Movie kann allerdings nicht wie andere Image-based-Rendering-Verfahren neue Ansichten errechnen, sondern nur die aufgenommenen Bilder darstellen.



Die drei Ansichten eines Löwen errechnete Light Field aus vier Ebenenpaaren mit  $32 \times 16$  Aufnahmen. Nachteil der Light-Field-Technik: Die Datei, aus der neue Ansichten generiert werden, ist in diesem Fall (Auflösung 256 Pixel) über 16 MByte groß.

Ansichten, wie bei der Panoramatechnik, kann Object Movie nicht berechnen.

### Light Field

Genau diese Einschränkung überwindet die Light-Field-Technik [3]. Von einem realen Gegenstand schießt eine Kamera Aufnahmen aus beliebigen Richtungen. Jede Aufnahme be-

steht aus Lichtstrahlen, die vom Objekt durch das Projektionszentrum (= Brennpunkt) auf die Bildebene treffen. Der Strahl trägt dabei die Farbe des Gegenstands von dieser Stelle.

Umhüllt man den Gegenstand mit einem gedachten Würfel, so trifft jeder dieser Strahlen auf eine der Würfelseiten und auch auf eine zusätzliche Ebene, die in einem festen Abstand parallel zu

jeder Würfelseite verläuft. Die beiden Schnittpunkte plus die Farbe repräsentieren im Light Field einen Lichtstrahl. Die Schnittpunkte könnten als Angabe der 3D-Raumkoordinaten ( $x, y, z$ ) gespeichert werden. Doch mit dem Kunstgriff der zusätzlichen Ebene genügt es, einen Punkt auf dieser Ebene durch 2D-Koordinaten anzugeben. Analog reichen auf der Würfelseite ebenfalls 2D-Koordinaten. Diese vier Koordinaten beschreiben zusammen den Lichtstrahl.

Das Light Field speichert die Farbe des Lichtstrahls in einem solchen 4D-Array. Vorteil: Bei Verwendung der ( $x, y, z$ )-Koordinaten bräute man für beide Schnittpunkte zusammen ein 6D-Array, was erheblich mehr Speicher benötigen würde. Das Light Field kodiert auf diese Weise die vielen Kamera-Aufnahmen so, dass es eine neue Ansicht des Gegenstandes sehr schnell berechnen kann.

Für eine neue Ansicht des Gegenstandes erzeugt der Algorithmus ähnlich wie beim Ray-Tracing Strahlanfragen. Jeder Strahl schneidet den Würfel und die entsprechende Ebene; das definiert ein Punktepaar und somit einen 4D-Index. An dieser Stelle wird das Array ausgelesen, sodass man die Farbe für einen Bildpunkt erhält.

Üblicherweise liegt auf den Würfelseiten ein Raster mit  $256 \times 256$  oder  $128 \times 128$  Punkten. Der gesamte Speicheraufwand erreicht mit sechs Würfelseiten und ein paar Byte pro Punkt für die Farbinformation damit schnell Gigabyte-Dimensionen. Deshalb verwendet das Light Field ein komplexes Kompressionsverfahren (eine Kombination aus Vektorquantisieren und einer Lempel-Ziv-Codierung), um den Speicheraufwand deutlich zu reduzieren.

Die Lempel-Ziv-Codierung dekomprimiert das Light Field bereits beim Laden, da sonst der Zugriff auf die große Menge an gespeicherten Daten zu langsam wäre. Das 4D-Array wird in Blöcke benachbarter Indizes unterteilt und Block für Block getrennt komprimiert (Vektorquantisierung). Für jede Strahlanfrage wird bei der Anzeige ein solcher Block bestimmt und dekomprimiert. Das Light Field braucht daher nicht komplett unkomprimiert im Speicher vorliegen, sondern dekomprimiert das, was jeweils benötigt wird.

Im Internet finden sich einige Beispiele, die eine gerade noch erträgliche Größe von zwei bis sechs Megabyte haben (siehe Kasten). Die Qualität und Flexibilität des Verfahrens demonstrieren besonders deutlich Ge-

## Image-based Rendering im Web

**QuickTime VR** von Apple ist die wohl bekannteste Produktumsetzung von Image-based Rendering. Die plattformunabhängige Anwendung wendet die Panoramatechnik an ([www.apple.com/quicktime/qtvr/](http://www.apple.com/quicktime/qtvr/)).

Eine Gruppe am Stanford Computer Graphics Laboratory untersucht die Vor- und Nachteile des **Light field Rendering** ([www-graphics.stanford.edu/projects/lightfield/](http://www-graphics.stanford.edu/projects/lightfield/)).

Patrick Ohly untersucht Volume Rendering mit Hilfe von **Extended Light Fields** und stellt neben seiner wissenschaftlichen Arbeit auch Bildmaterial vor (<http://www.ira.uka.de/~patrick/lightfields/>).

Steve Seitz und Chuck Dyer vom Computer Sciences Department der Universität Wisconsin, Madison, zeigen mit kleinen MPEG-Filmchen, wie aus Einzelbildern mittels **View Morphing** bewegte Szenen entstehen. Sie erwecken sogar Leonardo da Vincis Mona Lisa zum Leben ([www.cs.wisc.edu/~seitz/interp/morph.html](http://www.cs.wisc.edu/~seitz/interp/morph.html)).

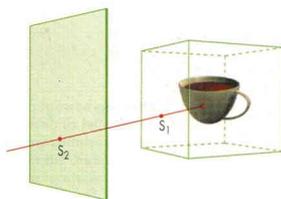
Mit einem **hybriden Verfahren** erzeugte Paul Debevec

vom Computer Science Division der Universität California, Berkeley, aus Einzelbildern einen fotorealistischen Film, der einen Flug über den Campus zeigt ([www.cs.berkeley.edu/~debevec/Research/](http://www.cs.berkeley.edu/~debevec/Research/)).

Image-based Rendering mit **plenoptischem Modeling** zeigen Leonard McMillan und Gary Bishop anlässlich der SIGGRAPH '95. Mit MPEG-Animationen erklären sie, wie sie aus Einzelbildern bewegte Bilder machen ([www.cs.unc.edu/~mcmillan/plenoptic.html](http://www.cs.unc.edu/~mcmillan/plenoptic.html)).

Die Light-Field-Variante von Microsoft heißt **Lumigraph** und basiert auf der plenoptischen Funktion. Als Anschauungsmaterial enthält die Site einen animierten Plüschlöwen als stereoskopisches Bild ([www.research.microsoft.com/SIGGRAPH96/96/Lumigraph.htm](http://www.research.microsoft.com/SIGGRAPH96/96/Lumigraph.htm)).

Einer der Autoren des Artikels, Peter Oel, hat Links zu vielen Aspekten des Image-based Rendering übersichtlich zusammengestellt (<http://www.ira.uka.de/~oel/ibmr-focus/>).



Beim Light Field schneidet ein Lichtstrahl einen das Objekt umgebenden Würfel und eine zur Würfelseite parallele Ebene. Die beiden Punkte zusammen mit der Farbinformation des Strahls setzt die Light-Field-Technik ein, um weitere Ansichten zu erzeugen.



Light-Field-generierte Ansichten müssen sich auf statische Objekte beschränken. Bei einigen Anwendungen kommt es aber darauf an, Parameter zu ändern und die Auswirkung auf das Objekt zu studieren. Bei den hier gezeigten Tomographie-daten ist das zum Beispiel die Transparenz. Extended Light Fields verwendet zu diesem Zweck mehrere Light Fields, zwischen denen das Verfahren interpoliert. Damit kann Extended Light Fields, wie hier zu sehen, unterschiedliche Gewebeschichten innerhalb eines Schädels visualisieren.

genstände mit komplexen Beleuchtungseffekten. Mit High-lights, Transparenz oder sogar Spiegelflächen kommen Light Fields spielend klar.

Mehrere Bilder pro Sekunde sind mit diesem Verfahren bereits bei reinen Softwarelösungen auf gängigen PCs möglich; Hardwareunterstützung kann diese um einiges übertreffen. Dazu sind übliche Grafikkarten durchaus in der Lage, leider wartet man immer noch auf eine Implementierung eines Algorithmus, der von dieser Hardware profitiert.

Eine Variante des Verfahrens, Extended Light Fields genannt, kann sogar Animationen erstellen. Eine Übergangsfunktion verbindet mehrere Light Fields und interpoliert zwischen diesen. Diese Technik ähnelt einem 3D-Morphing-Effekt.

## View Morphing

Da das unkomprimierte Light Field jede Menge Speicher benötigt, jedoch gleichzeitig eine hohe Kompressionsrate erlaubt, stellt sich die Frage, ob die hohe Redundanz nicht von vornherein genutzt werden kann, ohne zusätzlich komplexe Kompressionsalgorithmen einzusetzen. Dieses Problem löst die View-Morphing-Technik.

Angenommen man fotografiert einen Gegenstand und bewegt dann die Kamera parallel zur Bildebene (= Film oder CCD-

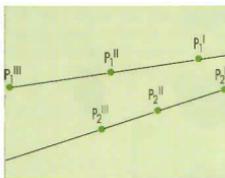
Array) ein Stück weiter. Verfolgt man irgendeinen Punkt des Gegenstands auf den Kamera-Aufnahmen, so wandert dieser auf den Aufnahmen entlang einer Geraden. Die Abstände der Punkte fallen unterschiedlich groß aus, je nachdem, wie die 3D-Oberfläche des Gegenstands verläuft.

Allerdings ist der Punkt auf manchen Kamera-Aufnahmen nicht sichtbar, wenn andere Teile des Gegenstands ihn verdecken. Bei einer Vielzahl von Objekten kommt dies nicht vor. Solche Gegenstände sind zum Beispiel konvexe Gebilde wie Würfel oder Kugel. Ebenso gibt es Objekte, bei denen dieses Problem nur sehr dezent auftritt (z. B. bei einer Tasse).

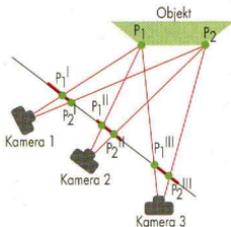
View Morphing nutzt diese Eigenschaft der Bildpunkte, um

mit möglichst wenig Bildern auszukommen. Das Verfahren speichert zwei Kamera-Aufnahmen und merkt sich, welche Bildpunkte der beiden Aufnahmen den gleichen Punkt auf dem Gegenstand darstellen (korrespondierende Bildpunkte) [4]. Auf dieser Basis erzeugt es alle Objektsichten, die zwischen den Aufnahmen liegen. Die Leistungsfähigkeit von View Morphing zeigen einige auf dem Internet verfügbare Filme (siehe Kasten 'Image-based Rendering im Web').

Die Mathematik hinter View Morphing ist recht einfach: Das Projektionszentrum der neuen Ansicht liegt irgendwo auf der Verbindungslinie der Punkte bekannter Aufnahmen. View Morphing berechnet neue Bild-



Beim View Morphing bewegt man die Kamera entlang einer Geraden, die parallel zu deren Bildebene verläuft. Die Punkte eines Gegenstands wandern auf den Fotos ebenfalls entlang einer Geraden. Für neue Ansichten interpoliert View Morphing Punkte entlang dieser Linie und erzeugt erstaunlich gute Bilder und sogar Animationen.



punkte durch eine lineare Gewichtung der Positionen der korrespondierenden Bildpunkte. Liegt die neue, gedachte Kameraposition genau zwischen zwei tatsächlichen Aufnahme-positionen, so befinden sich die Bildpunkte der neuen Aufnahme genau in der Mitte zwischen denen der bekannten Aufnahmen. Die Ermittlung der korrespondierenden Punktepaare ist hier der kritische Schritt. Dazu existieren einige für die spezielle Situation des View Morphing optimierte Verfahren.

Das Verfahren lässt sich beliebig erweitern, indem man mehr als zwei Kamera-Aufnahmen macht: Dreht man sich um den Gegenstand und speichert an geeigneten Positionen die Kamera-Aufnahmen ab, so kann man aus wenigen Bildern die gesamte Bewegung erzeugen. View Morphing begnügt sich mit wesentlich weniger Speicherplatz als Light Field, und das Verfahren bleibt einfach und schnell.

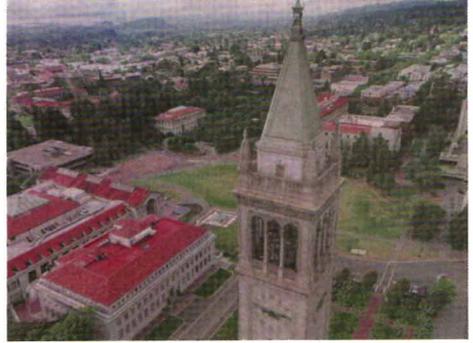
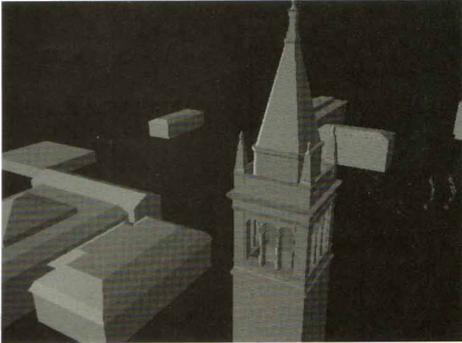
Das View Morphing hat seinen Namen wegen seiner Ähnlichkeit mit dem bekannten Morphing-Effekt bekommen. Dort werden nämlich auch einfache Bildpunkte mit linearen Gewichtungen entsprechend der Zeit ineinander überführt. View Morphing ersetzt bei Image-based Rendering lediglich den Parameter Zeit durch die Position der Kamera.

## Fazit

Die reale Welt ist sehr komplex. Wirklich realistisch aussehende, komplett vom Computer generierte Bilder liefern nur Ray-Tracing- oder Radiosity-Verfahren. Die langen Berechnungszeiten verhindern jedoch in naher Zukunft Echtzeitanwendungen (mit Standard-Hardware). Zudem sind die benötigten Algorithmen sehr komplex.

Image-Based Rendering zeigt einen Ausweg. Die Berechnungszeiten sind weniger abhängig von der Komplexität der Szene oder des Gegenstands. Die Algorithmen setzen sich aus einfachen mathematischen Formeln zusammen – meistens sogar lineare Gleichungen – sodass Berechnungszeiten erreicht werden, die bereits heute Darstellung in Echtzeit erlauben.

Diese Vorteile haben sich schon einige Spiele zu Nutzen gemacht. So wandert man in Ad-



Die Szene aus dem in Berkeley mit einem hybriden Verfahren (IBR und geometriebasiert) erzeugten Film 'Campanile'. Beide Bilder sind komplett computergeneriert auf der Basis von einzelnen Aufnahmen: Links die minimale Geometrie, rechts das fertige Bild auf der Basis von nur 16 Aufnahmen.

ventures heute nicht mehr von Bild zu Bild, sondern von Panorama zu Panorama, etwa in Black Dahlia oder Zork Nemesis. Filmsequenzen verbinden die Panoramen und erleichtern so die Orientierung. Diese Vorgehensweise ähnelt stark Quicktime VR.

Der größte Nachteil des Image-Based Rendering ist der benötigte Speicherplatz. Ein komprimiertes Light Field benötigt für einen Gegenstand bereits mehrere Megabyte an Speicher. Wird eine Szene aus mehreren

Light Fields zusammengesetzt, so ergibt dies einen beträchtlichen Speicheraufwand.

Hier spielen Mischformen, so genannte hybride Rendering-Verfahren, ihre Stärke aus, die sowohl mit aufgenommenen Bildern als auch geometriebasiert arbeiten. An der Universität Berkeley entwickelte Paul Debevec ein Verfahren, mit dessen Hilfe er Aufsehen erregende Filme rendern konnte. Er verwendete zunächst eine grobe, approximierte Geometrie ohne

Details. Erst IBR-Verfahren fügen die Oberflächenstrukturen hinzu. Schon aus zehn bis zwanzig Bildern entstehen außergewöhnliche animierte Sequenzen. Solche Verfahren zeigen welches Potenzial im Image-Based Rendering liegt. Die Zukunft der Grafikwelt besteht nicht nur aus Dreiecken. (jr)

#### Literatur

[1] Martin Frech, Rundblicke, Panoramabilder im Computer, c't 13/1998, S. 106

[2] S. Chen, QuickTime VR – an image-based approach to virtual environment navigation. In Computer Graphics (SIGGRAPH '95 Conference Proceedings), pp. 29-38, Aug. '95

[3] M. Levoy and P. Hanrahan, Light Field Rendering, in Computer Graphics, Annual Conference Series, '96

[4] S. M. Seitz und C. R. Dyer, View Morphing, www.cs.wisc.edu/~seitz/interp/vmorph.html



View Morphing berechnet das mittlere Bild aus den beiden anderen Kamera-Aufnahmen.

### Überblick über die aktuellen IBR-Techniken

Technik	Funktionsweise	Betrachterposition	Anmerkungen
Delta Tree	ebenes Plenoptic Modeling für Gegenstände	freie Positionierung außerhalb der Kugelhülle mit beliebigem Blickwinkel	kompakte, möglichst redundanzfreie Speicherung der Daten
Ebenes Plenoptic Modeling	'Rückprojektion in eine neue Bildebene, ebene Referenzbilder'	freie Positionierung mit beliebigem Blickwinkel	'Vorläufer des zylindrischen plenoptic Modeling; Probleme bei Verdeckungen'
Hybrides Verfahren	eine Mischung aus IBR und Geometrie basierter Rendering	alle	erstaunlich gute Qualität
Light Field	Speichert alle Projektionsstrahlen innerhalb eines Würfels	freie Positionierung außerhalb des Hüllwürfels mit beliebigem Blickwinkel	Software zur Konstruktion und Visualisierung frei verfügbar (auch im Quellcode)
Lumigraph	speichert alle Projektionsstrahlen innerhalb eines Würfels	freie Positionierung außerhalb des Hüllwürfels mit beliebigem Blickwinkel	die von Microsoft entwickelte Variante des Light Field Verfahrens
Movie Map	Speichern aller vorhandenen Bilder, keine Interpolation	beliebige Positionierung mit beliebigem Blickwinkel, da alle Ansichten gespeichert sind	wurde als Digital Video Interactive (DVI) Anwendung Anfang der 80er Jahre entwickelt
Quicktime VR	Panoramabild mit Rückprojektion in die Bildebene	feste Betrachterposition mit frei variierbarem Blickwinkel, der nur durch die Zylinderhöhe beschränkt ist	erstes kommerzielles Produkt mit IBR-Technik
Quicktime VR Object Movie	navigierbarer Film ohne Interpolation zwischen den Bildern	Positionierung des Betrachters auf einer Hüllkugel um das Objekt mit Blick auf das Objekt	integriert in Quicktime VR
View Morphing	Bilderzeugung durch lineare Verschiebung von Bildpunkten anhand mehrerer Referenzbilder	freie Positionierung mit beliebigem Blickwinkel	einfaches und schnelles Verfahren
Zylindrisches Plenoptic Modeling	Rückprojektion in die Bildebene auf der Basis mehrerer Panoramabilder	freie Positionierung mit frei variierbarem Blickwinkel, der nur durch die Zylinderhöhe beschränkt ist	große Probleme mit Verdeckungen