

Jäger des virtuellen Lichts

Lichteffekte werden in Hollywoods Computeranimationen immer wichtiger. Die Tricks, die Avatare real aussehen lassen, halten nun auch Einzug in die Medizin.

von Thomas Willke

Was Sie hier sehen, ist keine Fotomontage und auch kein reales Bild, sondern die „Light-map“ eines menschlichen Körpers. Bei diesem neuen experimentellen Verfahren wird eine Computertomografie trickreich mit natürlichem Licht beleuchtet, was verblüffend realistische Einblicke ermöglicht.

Kompakt

- ▶ Eine neue Software von Siemens verwandelt medizinische Bilddaten in eine fotorealistische dreidimensionale Visualisierung.
- ▶ Die Technik stammt ursprünglich aus der Filmindustrie und heißt deshalb „Cinematic Rendering“.
- ▶ Sie erleichtert die Kommunikation zwischen Ärzten und Patienten erheblich, da die Bilder sehr anschaulich sind.

Das Skalpell noch etwas nach links bitte!“ Der Chirurg trägt grüne OP-Kleidung wie seine Kollegen. Der OP-Raum ist abgedunkelt, nur der OP-Tisch ist beleuchtet. Auch die Monitore sind klar zu sehen. Ein Assistent hält Wundhaken bereit, um den Schnitt offen zu halten.

Aber auf dem Tisch liegt kein Patient. Stattdessen steht dort eine Kamera auf einem ungewöhnlichen Stativ. bdf-Fotograf Volker Steger hockt daneben. Er macht acht Aufnahmen – fünfmal hintereinander: jeweils aus acht verschiedenen Blickwinkeln und mit fünf verschiedenen Blendeneinstellungen.

Nicht nur die Szenerie ist ungewöhnlich, sondern auch der Zweck der geschossenen Fotos. Sie sind nicht dafür gedacht, dass jemand sie anschaut. Steger und seine Mitstreiter interessieren sich für die Lichtsituation des Operationssaals, eingefangen in einem kugelförmigen Bild. Dieser Lichteindruck soll später dazu dienen, im Computer hergestell-

te medizinische Bilder zu beleuchten – zum Beispiel die einer Computertomografie. Beleuchten? Im Computer?

Wer gerne ins Kino geht und computergenerierte Animationsfilme wie „Toy Story“, „Oben“ oder „Merida – Legende der Highlands“ anschaut, wird im Abspann der Filme einen ungewöhnlichen Beruf finden: den Beleuchter. Dabei handelt es sich nicht um einen „realen“ Lichtsetzer, sondern um einen Spezialisten, der etwas beleuchtet, das nur im Computer existiert. Solche Fähigkeiten werden nicht nur für Hollywood und Computerspiele immer wichtiger, sondern auch für die Medizin.

Angefangen hat alles vor über 40 Jahren mit „Star Wars“. Regisseur George Lucas wollte einige Trickeffekte in seinem inzwischen legendären Film digital überarbeiten. Das konnte damals – Mitte der 1970er-Jahre – aber keine Firma bieten. Also gründete Lucas eine eigene Computerabteilung. Richtig Schwung bekam die Entwicklung des

digitalen Lichtsetzens, als es in Lucas' Ehe kriselte und Apple-Gründer Steve Jobs quasi aus seiner eigenen Firma geworfen wurde. Lucas brauchte dringend Geld für seine Scheidung – und der von Kunst und Grafik begeisterte Jobs ein neues Betätigungsfeld. Und so wechselte die Computerabteilung von „Lucasfilm“ 1986 für den Schnäppchen-Preis von fünf Millionen Dollar den Besitzer. Steve Jobs integrierte sie in seine neu gegründete Firma Pixar, heute eine der führenden Produzenten von computeranimierten Trickfilmen. Mit in die neue Firma wechselte der Regisseur Ed Catmull.

Animierte Lichteffekte

Jobs wollte mit Pixar so etwas wie Apple für Künstler schaffen: Kombinierte Hardware- und Software-Pakete, mit denen jedermann zu Hause ganz einfach anspruchsvolle grafische Projekte umsetzen kann. Aber dummerweise wollte kaum jemand die sogenannten NeXT-Computer kaufen. Jobs hielt trotzdem an seiner Idee fest. Während ihr Chef die Firma stetig Richtung Ruin trieb, arbeitete Catmull zusammen mit dem von Disney herübergewechselten Trickfilmzeichner John Lasseter an einer zukunftssträchtigen Entwicklung: der Kombination von Lichteffekten und computeranimiertem Trickfilm.

Wenn ein Computer Trickfiguren animiert, muss er auch die dazu gehörenden Lichteffekte animieren. Er muss „wissen“, wie sich Lichtstrahlen von einer Lichtquelle wie der Sonne oder einer Lampe ausbreiten und wie sie auf der Oberfläche eines Gegenstands oder einer Person wirken. Werden sie reflektiert, absorbiert oder gestreut?

1986 zeigten Catmull und Lasseter der Welt das Ergebnis ihrer Forschung: John Lasseters Zweiminutenfilm „Luxo Jr.“. Es ist die Geschichte zweier Schreibtischlampen – einer „erwachsenen“ und einer „kindlichen“ Lampe. Die Kind-Lampe spielt heftig mit einem Ball und macht ihn schließlich kaputt. Die große Lampe schaut sich das an und wundert sich. Heute ist der Film immer noch nett anzusehen, aber damals war er eine Sensation wegen des computergenerierten Tricks und wegen der Lichteffekte. Lasseter zeigte darin zum ersten Mal, was



Kurzer Film, große Wirkung – „Luxo Jr.“ (Kleine Lampe)



Über den QR-Code haben Sie mit Ihrem Smartphone oder Tablet Zugriff auf unser Multimedia-Angebot. Einen QR-Scanner finden Sie im App- oder Play-Store.



Um eine „Lightmap“ zu erstellen, hält Fotograf Volker Steger die Lichtsituation eines Ortes in Kugelpanoramen fest – hier in einem Operationssaal des Universitätsklinikums Linz.



Und Aufnahme! Alle Akteure verharren in ihrer Position, während Fotograf Volker Steger (2.v.l.) das Licht so einfängt, wie es auf einen Patienten scheinen würde. Um den Lichteindruck nicht zu verfälschen, trägt auch der Fotograf grüne OP-Kleidung.



So entsteht ein PIXAR-Film (auf englisch)

man mit zwei virtuellen Lichtquellen alles machen kann. Der kleine Film wurde sogar für einen Oscar als bester animierter Kurzfilm nominiert. Die kleine Lampe ist seitdem Bestandteil des Vorspanns aller Pixar-Filme.

Finanziell ging es bei Pixar unterdessen weiter bergab. Steve Jobs beharrte auf seinem Konzept und verlor weiterhin Geld. Die Rettung brachten zwei Spielzeugfiguren: der Cowboy Woody und der Astronaut Buzz. Sie sind die Helden der „Toy Story“, des ersten vollständig am Computer animierten Spielfilms. Für diesen Film holte Pixar die Walt Disney Company an Bord. Bei Disney war man beeindruckt von den neuen technischen Möglichkeiten, auch von Belichtungseffekten, schreibt Walter Isaacson in

seiner Biografie über Steve Jobs. In einer Szene wandert Woody über eine Kommode, während von draußen das Sonnenlicht durch eine Jalousie auf sein Karo-Hemd fällt. Dieser komplexe Lichteffekt, kombiniert mit einer Bewegung, hätte sich über eine Zeichnung per Hand schier unmöglich realisieren lassen.

Die Toy Story kam 1995 in die Kinos und wurde ein Riesenerfolg. Der Film rettete Pixar, machte Jobs zum Multimillionär und wurde mit Preisen überhäuft. Dass die Erschaffer des ersten digital beleuchteten Films Spielzeugfiguren als Protagonisten wählten, hatte einen guten Grund: Plastik reflektiert, streut oder absorbiert Licht sehr viel einfacher als Haut oder Haa-

re. „Bis Ende der 1990er-Jahre wusste niemand ganz genau, wie Oberflächen das Licht in der Realität reflektieren, sodass es im Computergrafik-Bereich auch keiner glaubhaft umsetzen konnte“, sagt Paul Debevec vom Institut für Kreative Technologien der University of Southern California. Er ist einer der führenden Experten für digitale Lichteffekte.

Knochen wie aus Plastik

Trotzdem waren die damals entwickelten Lichtkonzepte sehr erfolgreich und werden bis heute als „Volume Rendering“ in der Medizin verwendet, um CT- und MRT-Aufnahmen zu beleuchten. Allerdings führten die Einschränkungen dazu, dass bis vor wenigen Jahren bei Pixar viele digitale Lichteffekte künstlerisch nachbearbeitet werden mussten, damit

sie natürlich wirken – und dass Knochen in CT-Bildern immer aussehen, als ob sie aus Plastik wären.

„Licht verhält sich in der Natur nicht so einfach, dass es nur von einer Lichtquelle auf einen Gegenstand strahlt und ihn erhellt“, sagt Klaus Engel, Experte für Visualisierungen bei Siemens in Erlangen. „Jeder Gegenstand absorbiert, reflektiert oder streut Licht und kann damit weitere Gegenstände beleuchten, die wiederum einen Teil des Lichts reflektieren.“

In jeder Umgebung gibt es eine riesige Vielfalt solcher sekundären Lichtquellen. Das Sonnenlicht fällt zum Beispiel auf einen Stein und wird gestreut oder auf einen Teich, von dort auf einen Baumstamm, dann auf einen Grashalm und so weiter. Und das gilt für jeden Sonnenstrahl und für jeden Gegenstand und jedes Lebewesen in der Szenerie – und alle Beteiligten haben ein anderes Reflexions-, Streu- und Absorptionsverhalten.

Erst Anfang dieses Jahrzehnts hat man Computermodelle entwickelt, die es erlauben, alle Lichteffekte komplett digital ohne händische Nachbearbeitung zu erstellen. „Die Monster-Uni“ war 2013 Pixars erster Film mit dem neuen „Global Illumination Lighting System“.

Die Voraussetzung für diese Leistung war natürlich, dass die Forscher verstanden, wie die Lichtausbreitung funktioniert. Aber wenn sie alle Lichteffekte in einer Szene berechnen müssten, wäre der Aufwand auch mit modernen Rechnern so gigantisch, dass der Film nie fertig würde. Also mussten sie Computermodelle entwerfen, in der alle Lichteffekte entfernt werden, die der Zuschauer nicht sieht. Das ist ähnlich wie beim digitalen

Musikformat mp3, bei dem alles entfernt wird, was ein Mensch nicht hören kann. Dadurch wird der Speicherplatz für ein Lied auf ein Bruchteil reduziert.

Trotz dieser Reduktion ist der Rechenaufwand für einen Film wie die Monster-

Uni riesig. Die endgültige Berechnung der fertigen Bilder – das sogenannte Rendern – wird deshalb auch nicht bei Pixar oder Disney durchgeführt, sondern auf externen „Render-Farmen“, in denen Hunderte oder Tausende von Computern zu Clustern zusammengeschaltet sind.

Aus Mensch wird Gollum

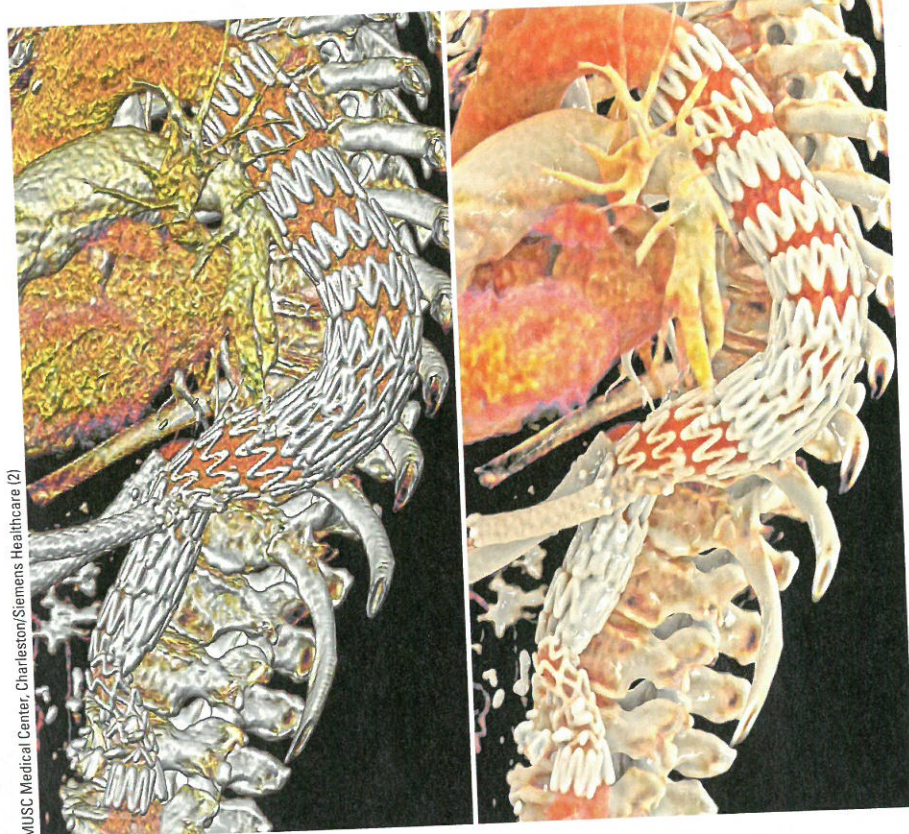
Parallel zu ihrer Arbeit mit virtuellen Lichtquellen hatten die Computertickfilmer eine Technik entwickelt, die die digitalen Lichtsetzer vor neue Probleme stellte: „Motion Capture“. Gollum aus der Trilogie „Herr der Ringe“ ist eine der bekanntesten Filmfiguren, die mit dieser Technik gefilmt wurden. Hinter der Maske von Gollum verbirgt sich der britische Schauspieler Andy Serkis. Er verkörperte auch King Kong in der gleichnamigen Verfilmung von Peter Jackson und den Schimpansen-Anführer Caesar in der Neuverfilmung von „Planet der Affen“.

Seine Figuren spielt Serkis in einem hautengen Kostüm. An diesem Anzug und in seinem Gesicht sind punktförmige Marker angebracht. Sie dienen dazu, dass

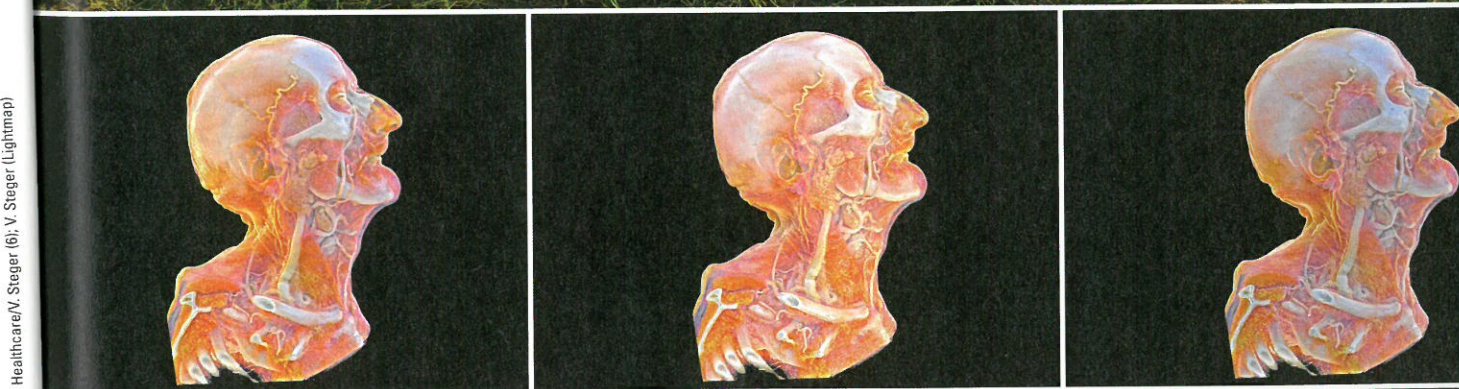
Stents weiten und stabilisieren verkalkte Adern – wenn sie richtig sitzen. Das überprüfen Ärzte im Computertomogramm. Eine solche Aufnahme wurde einmal mit einem klassischen Beleuchtungsverfahren (links) und einmal mit dem neuen Cinematic Rendering mithilfe von Lightmaps (rechts) bearbeitet. Der Unterschied ist gut zu erkennen. Die traditionelle Abbildung zeigt zwar alle Details, aber sie wirken flach. Abstände und räumliche Beziehungen sind kaum zu erkennen. Die Darstellung mit Cinematic Rendering wirkt dagegen fotorealistisch. Man sieht, wie die dicke Hauptschlagader vom Herzen an den hinteren Rippenbögen hinunter in den Bauchraum verläuft. Zwischen Herz und Aorta sind in gelb einige Lungenverästelungen zu erkennen. Das gitternetzartige weiße Gebilde ist der Stent. Auch wenn es auf dem Bild anders wirkt: Der Stent sitzt in der Aorta – nicht außerhalb. Das Computertomogramm bildet nicht die Wand des Blutgefäßes ab, sondern das hindurchströmende Blut, in dem ein Kontrastmittel die Röntgenstrahlen absorbiert.



Moderne Beleuchtungstechnik erklärt im Stil alter Disney-Trickfilme (auf englisch)

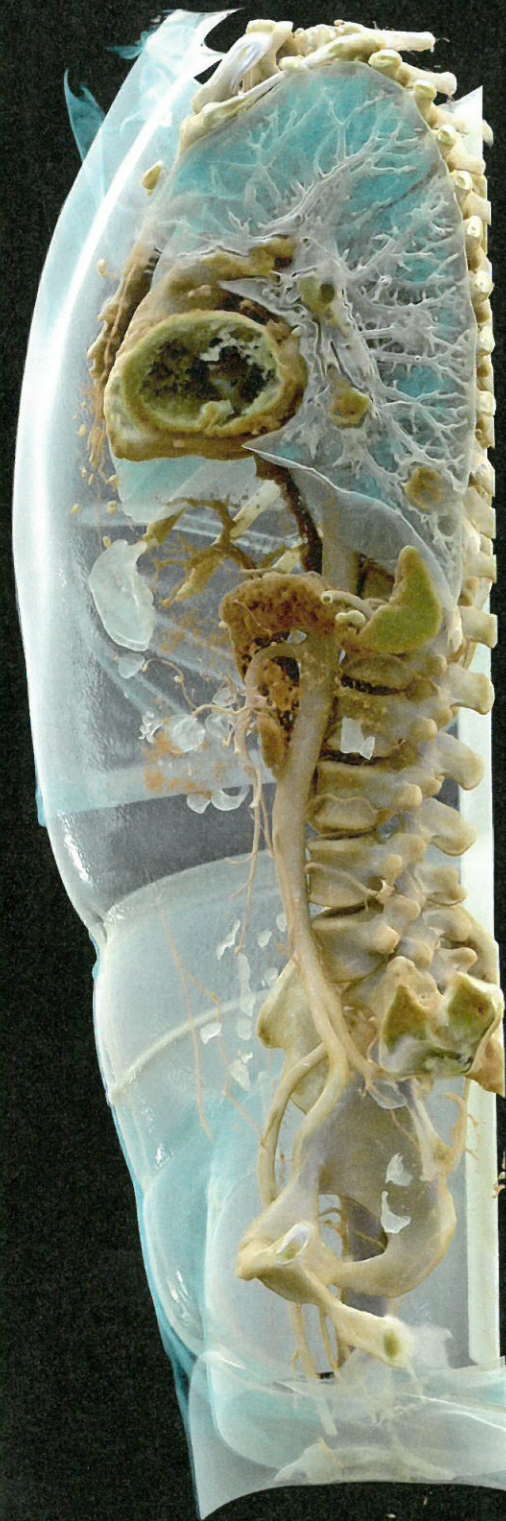


MUSC Medical Center, Charleston/Siemens Healthcare (2)



Israelitisches Krankenhaus Hamburg/Siemens Healthcare (V. Steger (6); V. Steger (Lightmap))

Um eine Computertomografie mit natürlichem Licht zu beleuchten, macht der Fotograf mehrere Aufnahmen von einem Ort – hier dem Babine-See in Westkanada – und fügt die Bilder zu einem kugelförmigen Panorama zusammen. Da sich der kugelförmige Eindruck nicht auf Papier darstellen lässt, ist die Kugel auf dem Landschaftsbild quasi abgerollt. Wie in der Natur kommt das Licht in einer „Lightmap“ aus vielen Richtungen und ist sehr unterschiedlich. Es gibt die Strahlen der tief stehenden Sonne, das gestreute grünliche Licht der Baumkrone, den Schatten am Boden oder den bläulich schimmernden See. Mit diesem von allen Seiten einfallenden abwechslungsreichen Licht beleuchtet man ein CT, das man in der Lichtkugel drehen kann, um die Lichtsituation zu verändern. Der Arzt kann also das Licht variieren, bis er das, was für die Diagnose wichtig ist, gut erkennt. Um den Effekt zu verdeutlichen, ist hier das CT eines Kopfs aus drei verschiedenen Positionen mit der „Lightmap“ des Babine-Sees beleuchtet. Oben sieht man den Kopf in der „Lightmap“, unten sieht man ihn ohne Hintergrund – also so, wie der Arzt das CT betrachten würde.



Moderne Computergrafie-Aufnahmen liefern eine Fülle an Daten über den Körper eines Menschen – und neue Bildgebungsverfahren erlauben dem Arzt, genau das zu sehen, was er für seine Diagnose braucht. Das Wichtige wird klar dargestellt und das Störende ausgeblendet. Der Arzt kann den Körper in jeder Ebene digital durchschneiden oder ganze Organe ausschneiden. Und er kann „fenstern“: Dabei legt er fest, wie groß die Absorption für Röntgenstrahlen sein soll, damit ein bestimmtes Organ besonders deutlich erkennbar wird. Er kann zum Beispiel ein kleines Fenster wählen, in dem nur Knochen dargestellt werden, oder ein großes Fenster, das auch Organe und andere Weichteile zeigt. Die Aufnahme links zeigt den Oberkörper eines Mannes. Der digitale Schnitt geht von der linken Schulter hinunter zum Becken. Das Fenster wurde so gewählt, dass die Wirbelsäule und die Rippen, das Herz (der angeschnittene „Beutel“ oben in der Brust) und vor allem die Lunge mit ihren vielen Verästelungen zu sehen sind. In der Lunge erkennt man den Grund für die Tomografie: zwei braune Regionen im unteren Bereich. Der Patient hat Krebs.

Auf modernen CT-Aufnahmen kann ein Arzt oft mehr erkennen als während der Operation. Dieser Patient leidet unter einer „Arteriovenösen Malformation“: In seinem Daumen sind die Arterien direkt an die Venen angeschlossen und nicht wie normalerweise durch ein feines Geflecht von Kapillargefäßen verbunden. Dadurch stehen die Venen unter großem Druck.



Panshi City Hospital, Jilin, P.R. China (Lunge); Saveretha Medical College Hospital, Chennai, India/Siemens Healthcare (Hand)

der Computer später die Körperbewegungen sowie Gestik und Mimik des Schauspielers auf ein digitales Drahtgittermodell übertragen kann, auf das dann die gewünschte Maske digital aufgetragen wird.

Serkis spielt seine Rolle oft nicht am selben Drehort wie seine Kollegen, die echte Menschen verkörpern, sondern in einer sogenannten Green-Box, einem Raum mit einheitlich grünem Hintergrund. Auf diese Weise gibt es keine störenden Hintergrunddetails, die den Computer später bei der Erfassung der Bewegungen stören könnten. Das heißt aber auch, dass Gollum oder andere Motion-Capture-Figuren komplett ohne einen Lichteindruck produziert werden.

Wenn im Laufe der Produktion King Kong auf die weiße Frau oder Gollum in einem Wald auf die Hobbits Frodo und Sam trifft, müssen die digitalen Figuren im gleichen Licht erscheinen wie die menschlichen Schauspieler und der Drehort. Sonst würde die Szene unnatürlich wirken. Sie müssen also „nachbelichtet“ werden.

„Das ist sehr anspruchsvoll und eine der größten Herausforderungen in unserem Bereich“, meint Mark Sawicki von der Animationsabteilung der New York Film Academy Los Angeles. „Das liegt hauptsächlich daran, dass natürliches Licht und mathematisch simuliertes Licht keineswegs dasselbe sind.“

Für solche Szenen hat Paul Debevec die passende Technik entwickelt. Er arbeitet mit einer verspiegelten Kugel, die er an den Ort platziert, an dem im Film die Motion-Capture-Figur agieren soll – natürlich mit der gleichen Beleuchtung, mit der auch die Aufnahmen des „Realfilms“ geschossen wurden. Debevec fotografiert die Spiegelkugel mit einer eigens dafür kalibrierten Kamera aus verschiedenen Winkeln, bis er ein vollständiges Abbild des Umgebungslichts hat.



So entstanden die Motion-Capture-Bilder von „Planet der Affen“ mit Andy Serkins (auf englisch)

Natürliches Licht ist extrem unterschiedlich, was selbst moderne Kameras kaum erfassen können. Nutzt man dieselben Blenden- und Verschlusszeit-Einstellungen, mit denen man den Himmel fotografiert hat, um eine Aufnahme im Schatten zu machen, so erhält man ein fast schwarzes Bild ohne Details.

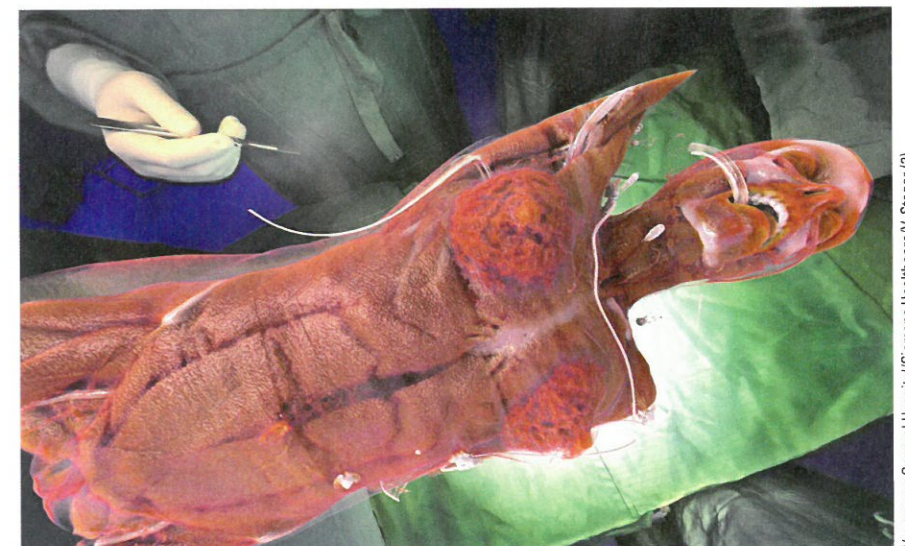
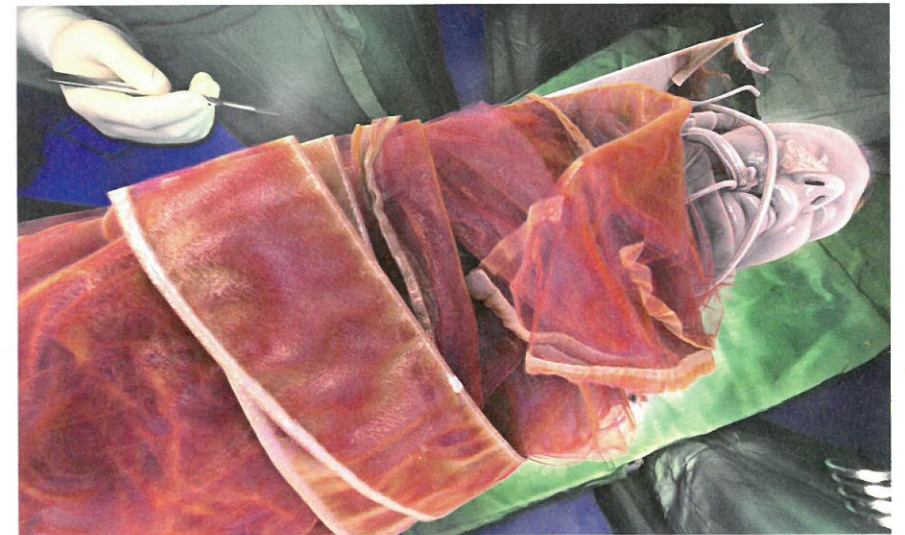
Umgekehrt bekommt man mit den Einstellungen für Schattenaufnahmen ein völlig überbelichtetes Himmelsbild. Um diese enorme Lichtdynamik erfassen zu können, schießt Debevec jedes Foto mehrfach mit unterschiedlichen Blenden und Verschlusszeiten. Anschließend werden die Fotos zu einem sogenannten HDR-Bild (High Dynamic Range) verrechnet, bei dem sowohl im Dunklen als auch im Hellen alle Details zu erkennen sind. Dieser starke Lichteindruck wird anschließend extrahiert und auf die Figuren übertragen.

Nobelpreisträger im Kugelpanorama

In den Forschungslaboren für Medizinische Bildgebung bei Siemens entwickelt man nicht nur Computer- und Magnetresonanztomografen, sondern auch Software, um mehr Informationen aus den gemessenen Daten herauszuholen. Visualisierungsexperte Klaus Engel war elektrisiert, als er von Debevecs Methoden hörte und bestellte einige Licht-Sets bei ihm. Die Ergebnisse waren vielversprechend, aber noch nicht der Durchbruch, den sich Engel erhofft hatte.

Und so kam bdw-Fotograf Volker Steger ins Spiel. Er ist bekannt für seine ungewöhnlichen Wissenschaftler-Porträts. Überall auf der Welt hat er Forscher und ihre Forschungsobjekte wirkungsvoll in Szene gesetzt. So hat er Porträts von Nobelpreisträgern in Form sogenannter iPanos gemacht. Für ein solches interaktives Kugelpanorama wird die Fotokamera an einer passenden Stelle im Labor oder Büro aufgestellt, sodass sie den Forscher, seine Mitarbeiter und interessante Gegenstände aufnehmen kann.

Dann schießt Steger acht Fotos in verschiedenen Blickrichtungen mit genau festgelegten Winkeln: Sechs, um eine komplette Rundumsicht des Raums zu bekommen, und jeweils eine für Boden und Decke.



Vancouver General Hospital/Siemens Healthcare/V. Steger (2)

Im Reanimationsraum einer Notaufnahme werden Unfallopfer oft direkt in den Computertomografen geschoben – mit Notdecke, Tubus und Schläuchen. Der Arzt entfernt die störenden Teile später am Computerbildschirm. Das Computertomogramm zeigt dem Arzt genau, welche Situation ihn in der bevorstehenden Operation erwartet.

Manche Immobilienmakler zeigen einfache Versionen dieser Kugelpanoramen, um ihre Wohnungsangebote zu illustrieren. Stegers Aufnahmen haben natürlich künstlerisch und technisch eine ganz andere Qualität – und sie sind interaktiv: Aus den Einzelbildern wird eine virtuelle Kugel gebaut. Dieses Kugelpanorama schaut man sich auf einem Computer, Tablet oder mit einer Virtual Reality-Brille an. Als Betrachter steht man im Inneren der Fotokugel. Man kann sich mit der Maus oder per Fingerzeig bewegen und interessante Details anklicken, zum Beispiel den Nobelpreisträger. Dann er-

zählt der in einem kurzen Videobeitrag, woran er gerade forscht. Oder man bekommt beim Antippen eines Geräts eine Beschreibung, wozu es dient.

2015 schickte Siemens Volker Steger in die USA in das Forschungszentrum von Princeton, New Jersey, um Dorin Comanicu zu porträtieren. Comanicu ist Forschungsleiter für medizinische Bildgebung. „Solche Situationen sind ganz entspannt“, berichtet Steger. „Während ich den Wissenschaftler und sein Labor für die Aufnahmen vorbereite, plaudern wir. Und meist fragt der Forscher irgendwann: Und was machen Sie sonst so?“



Israelitisches Krankenhaus Hamburg/Siemens Healthcare/V. Steger

Das neue Beleuchtungsverfahren für Tomografien befindet sich noch in der experimentellen Phase. Um zu testen, wie verschiedene Arten von natürlichem Licht auf medizinischen Darstellungen wirken, haben die Forscher extreme Lichtsituationen unterschiedlichster Art vom Fotografen festhalten lassen. Die Lightmap oben zeigt die Lichtsituation bei Schweißarbeiten in einem Autotunnel.

Steger erzählte Comaniciu von seinen iPanos, und der hörte aufmerksam zu. Ein paar Monate später rief ihn Comaniciu an und sagte: „Ich möchte Sie gerne mit jemandem bekannt machen.“ Dieser jemand war Klaus Engel.

Vom Kino in die Medizin

Seitdem zieht Steger durch die Welt und fängt Licht der unterschiedlichsten Art ein: an Seen, U-Bahnstationen oder bei Schweißarbeiten in einem Tunnel. Für die Siemens-Forscher war es wichtig, eine große Vielfalt an Lichteindrücken zu bekommen, um zu testen, welchen Effekt das Licht auf unterschiedliche CT- und MRT-Bilder hat. Cinematic Rendering haben sie ihr neues Belichtungsverfahren getauft, um zu betonen, wo die neue Technik ihre Ursprünge hat.

Der Effekt ist verblüffend. Auch als Laie erkennt man auf den Aufnahmen sofort mehr Details und Zusammenhänge als auf den klassischen Volume-Rendering-Bildern. „Das ist äußerst realistisch und kommt dem sehr nahe, was ein Arzt beim Operieren des Patienten vorfindet“,

sagt Franz Fellner, Professor für Radiologie an der Kepler-Universität Linz.

Fellner testet die neue Technik bereits in der Praxis und nutzt sie für die Ausbildung seiner Studenten. Hier sieht er große Möglichkeiten – weil die Bilder so realistisch sind und weil moderne Computer inzwischen in der Lage sind, menschliche Körper in Echtzeit dreidimensional darzustellen. „Wenn ich mir überlege, wie lange ich gebraucht habe, um während des Studiums die Gehirnstrukturen zu begreifen, und jetzt kann ich einfach virtuell durch ein Gehirn hindurchfahren – in 3D, durch das Gehirn eines realen lebenden Patienten.“

Bei Gesprächen mit Patienten sieht Fellner einen weiteren Vorteil des Cinematic Rendering: „Weil die Darstellungen so natürlich aussehen, verstehen die Patienten die Computertomografie-Aufnahmen. Man kann die Aufnahmen mit ihnen zusammen anschauen und dabei erklären, was mit ihnen geschehen ist oder was der Chirurg machen wird.“

Volker Steger hat seine OP-Fotos inzwischen zu einem Kugelpanorama mit HDR-Bildern verarbeiten lassen. Der

Lichteindruck wurde aus dem Panorama extrahiert und in die Belichtungssoftware für CT-Bilder eingebaut. Jetzt haben die ersten Ärzte die Möglichkeit zu testen, ob ihnen das OP-Licht realistische Eindrücke vermittelt.



THOMAS WILLKE (links), Biologe und bdw-Korrespondent, arbeitet auch als Regisseur und Produzent von Dokumentarfilmen. Die eindrucksvollen „Lightmaps“ stammen vom Biologen und Fotografen VOLKER STEGER.

Mehr zum Thema

LESEN

Walter Isaacson
Steve Jobs
Die autorisierte Biografie des Apple-Gründers
btb Verlag 2012, € 12,99

INTERNET

Exklusiv auf wissenschaft.de finden Sie eine Sammlung von Links zu weiterführenden Videos und Homepages:
www.wissenschaft.de/cinematicrendering

Die eBook-Reihe von bild der wissenschaft

Gleich downloaden!



Kluge Köpfe

Wie alt ist das Universum? Welche neuen Krebstherapien werden wir einsetzen? Wie altert unsere Gesellschaft? Wie sichern wir unseren Wohlstand ohne die Erde zu zerstören? Nobelpreisträger und andere Spitzenforscher geben in exklusiven bdw-Interviews spannende und überraschende Antworten auf die wichtigsten Fragen unserer Zeit.

Geheimnisvolle Hochkulturen



Der Urknall



Genie und Wahnsinn



Das Geheimnis des Lebens



Entdecken Sie jetzt die Welt der bild der wissenschaft eBooks und laden Sie sich Ihre Wunschausgabe direkt auf Ihren eBook-Reader, Tablet, Smartphone oder PC.

Erhältlich ab 2,99€ unter:
bdw-ebooks.de/leben-kindle
bdw-ebooks.de/leben-epub
www.direktabo.de/bdw/ebook
Sowie im App-Store und im iBook-Store.



bild der wissenschaft. Verstehen, was dahintersteckt.