

# Augmentierte Bildsynthese

Thorsten Grosch

MPI Informatik Saarbrücken  
tgrosch@mpi-inf.mpg.de

**Abstract:** Unter Augmentierter Bildsynthese versteht man die beleuchtungskonforme Erweiterung von digitalen Bildern. Ziel ist dabei, dass die vorgenommenen Änderungen an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt nicht mehr von den realen Gegebenheiten zu unterscheiden sind. Typische Augmentierungen sind virtuelle Objekte mit korrekter Beleuchtung und Schatten sowie die Manipulation realer Lichtquellen und Materialien. Ein breites Anwendungsspektrum existiert für diese Technik im Bereich der Architektur bis hin zu Filmen mit computergenerierten Erweiterungen. In dieser Arbeit werden solche Erweiterungen an Standbildern und bewegten Live Bildern ganzheitlich untersucht. Die vorgestellten Verfahren reichen von der realistischen Darstellung unter Verwendung aufwändiger Lichtsimulationen bis hin zur schnellen Darstellung mit Hilfe der Grafik Hardware. Für Standbilder wird mit Differentiellem Photon Mapping ein Verfahren vorgestellt, das im Vergleich zum Standardverfahren sowohl die Bildqualität als auch die Darstellungsgeschwindigkeit deutlich verbessert. Für die Erweiterung von bewegten Live Bildern wird gezeigt, wie durch den Einsatz von Grafik Hardware und High-Dynamic-Range Video Kameras eine Erweiterung mit interaktiver Geschwindigkeit unter zeitlich und räumlich variierendem Licht erreicht werden kann.

## 1 Grundlagen

Mit *Augmented Reality* Techniken können virtuelle Objekte in reale Bilder eingeblendet werden. Werden bei dieser Erweiterung die aktuellen Lichtverhältnisse berücksichtigt, so eröffnen sich faszinierende Möglichkeiten: Virtuelle Möbel können in realen Fotos bewegt werden, verfallene Sehenswürdigkeiten können virtuell wiederhergestellt werden und virtuelle Schauspieler können täuschend echt in reale Filme integriert werden. Eine solche Erweiterung mit konsistenter Beleuchtung wird als *Augmentierte Bildsynthese* bezeichnet.

Als Grundprinzip wurde von Fournier et al. [FGR93] das *Differentielle Rendering* vorgestellt, was anhand von Abb. 1 verdeutlicht wird. Um ein virtuelles Objekt korrekt beleuchtet in ein Foto einzufügen, müssen zunächst die Lichtverhältnisse auf dem Foto möglichst genau nachgebildet werden. Benötigt werden Geometrie, Kameraparameter, Materialien und Lichtquellen (Diese Rekonstruktion wird im Folgenden als gegeben vorausgesetzt). Diese Daten können jetzt in einer *Lichtsimulation* eingesetzt werden: Das Ergebnis ( $L_{Old}$ ) sollte dem Foto ähnlich sehen. Fügt man nun ein virtuelles Objekt in einer zweiten Simulation ein ( $L_{New}$ ), so sollte es korrekt beleuchtet werden und alle virtuellen Pixel im Foto können durch  $L_{New}$  ersetzt werden. Die Differenz  $\Delta L = L_{New} - L_{Old}$  der beiden Simula-

tionen kann nun verwendet werden, um die originalen Pixelwerte des Fotos  $L_{Pixel}$  zu modifizieren: Durch Addition der Differenz auf alle realen Pixel, d.h.  $L'_{Pixel} = L_{Pixel} + \Delta L$  wird das Licht im Foto korrigiert. In Schattenbereichen wird  $\Delta L$  negativ und die realen Pixel werden abgedunkelt, in Bereichen mit indirektem Licht des virtuellen Objekts ist  $\Delta L$  positiv und die realen Pixel werden aufgehell.

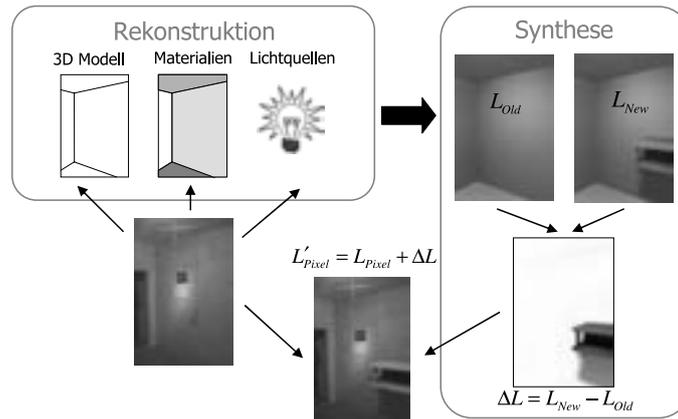


Abbildung 1: Differentielles Rendering.

Kapitel 2 beschreibt zunächst einen Überblick der gesamten Arbeit, danach werden in Kapitel 3 und Kapitel 4 zwei Verfahren zur Erweiterung von Standbildern und bewegten Live Bildern vorgestellt. In Kapitel 5 folgt eine Zusammenfassung und ein Ausblick.

## 2 Überblick

Die Augmentierte Bildsynthese wird in [Gro07] ganzheitlich untersucht und kann hier nur auszugsweise beschrieben werden. Am Anfang steht die Aufnahme des Fotos, das im High-Dynamic-Range (HDR) Format vorliegen muss, sodass pro Pixel eine echte Information über die Helligkeit (*Leuchtdichte*) vorliegt. Diese HDR Bilder werden über eine Belichtungsserie aufgenommen und in ein einzelnes Bild kombiniert. Hierfür wird ein schnelles und robustes Verfahren zur HDR Generierung entwickelt [Gro06], das die unvermeidlichen Kamera- und Objektbewegungen während der Aufnahme der Belichtungsserie ausgleichen kann und eine bessere Qualität als die bisherigen Verfahren erreicht. Bei der Erweiterung von Standbildern werden zwei Ziele verfolgt: Erweiterung in *Echtzeit* und Erweiterung mit *hoher Qualität*. Zum einen wird mit *PanoAR* ein erweiterter Panorama-Betrachter vorgestellt [Gro05b], der dem Benutzer interaktive, teilweise echtzeitfähige, Manipulationen ermöglicht: Bewegung virtueller Objekte, neue Lichtquellen, Veränderung realer Materialien, Translation der Kamera sowie die Entfernung realer Objekte. Durch die Rundumsicht können alle Bereiche der Umgebung eingesehen und verändert werden. Zum anderen wird mit *Differentiellem Photon Mapping* [Gro05a] ein

neues Verfahren zur Erweiterung von Fotos mit hoher Qualität vorgestellt. Dieses Verfahren erreicht bessere und schnellere Ergebnisse als das in Kapitel 1 beschriebene Standardverfahren und wird in Kapitel 3 genauer vorgestellt. Die interaktive Erweiterung von *bewegten Live Bildern* hat als Schwerpunkt die korrekte Beleuchtung im *Nahfeld* der eingefügten Objekte. Dies wird bei natürlich-basierter Beleuchtung meist vernachlässigt, da von einer unendlich weit entfernten Umgebung ausgegangen wird. Die korrekte Beschreibung des Nahfelds ist für eine Augmentierung aber zwingend notwendig, da virtuelle Objekte an verschiedenen Stellen im Bild mit unterschiedlichen Lichtverhältnissen eingefügt werden müssen. Zur Erfassung des Umgebungslichts werden HDR Video Kameras eingesetzt, für die eine interaktive *Rekonstruktion von diffusen Materialeigenschaften* entwickelt wird. Zur Erweiterung von Live Bildern werden zwei Verfahren vorgestellt, die eine Augmentierung mit interaktiver Darstellungsgeschwindigkeit unter zeitlich und räumlich veränderlichem Licht ermöglichen. Der erste Ansatz verwendet eine HDR Stereo Kamera zur Erfassung des Nahfelds. Im zweiten Verfahren werden schnelle GPU Rendering Techniken [GCHH03] mit einem dynamischen Lichtsimulationsverfahren kombiniert [GEM07], was in Kapitel 4 genauer beschrieben wird. Abschließend wird mit den *Coherent Shadow Maps* (CSM) ein neues Verfahren zur schnellen Sichtbarkeitsbestimmung mit der Grafik Hardware vorgestellt [RGKM07]. Dies ermöglicht den Einsatz von Monte-Carlo Techniken zur Beleuchtung auf der Grafikkarte mit interaktiver Darstellungsgeschwindigkeit und eröffnet so neue Möglichkeiten für die Umsetzung von Differentiellem Rendering mit der Grafik Hardware.

### 3 Differentielles Photon Mapping

Bei der Erweiterung von Fotos stellt sich die Frage, welcher maximale Grad an Realismus erreicht werden kann. Unter Berücksichtigung aller bekannten Lichtsimulationsverfahren bietet sich *Photon Mapping* [Jen01] an, da sich hiermit alle praktisch wichtigen Lichtpfade simulieren lassen: Direktes Licht und Schatten, indirektes Licht (sog. Color Bleeding), Reflexion und Lichtbrechung sowie Lichtbündelungen (Kaustiken). Photon Mapping simuliert Licht durch Emission kleiner Partikel aus der Lichtquelle. Diese Photonen werden dann materialabhängig weiterverfolgt und schließlich auf diffusen Flächen gespeichert. Die Leuchtdichte an einem beliebigen Punkt kann dann aus der *Dichte* der umliegenden Photonen (sog. *Radiance Estimate*) bestimmt werden.

Wird mit Differentiellem Rendering (Kap. 1), basierend auf zwei Photon Mapping Simulationen, ein Foto erweitert, so können diese Effekte auch im erweiterten Foto dargestellt werden. Dennoch ist die Erweiterung nicht vollständig, was durch die Abbildung rechts verdeutlicht wird. Hier sind zwei virtuelle Kugeln mit dieser Technik in ein Foto eingefügt worden. Betrachtet man die Kugeln genauer, so fällt auf, dass der Schatten der Kugeln anders aussieht als sein Spiegelbild innerhalb der linken Kugel: Hier ist eine andere Schattenfarbe zu sehen, außerdem erscheinen die Bilder auf dem Papier nicht im Spiegelbild. Der Grund



zu sehen, außerdem erscheinen die Bilder auf dem Papier nicht im Spiegelbild. Der Grund

für diese falsche Darstellung liegt in der Tatsache, dass bei Differentiellem Rendering die *realen Pixel modifiziert* werden, die virtuellen Pixel aber einfach durch das Simulationsergebnis *ersetzt* werden. Somit zeigt ein spiegelndes virtuelles Objekt immer nur das Ergebnis einer meist sehr ungenauen Lichtsimulation. Ein Betrachter wird allerdings erwarten, dass sich die reale Umgebung in diesem Objekt spiegelt – eventuell zusammen mit anderen virtuellen Objekten, die in die reale Umgebung eingefügt wurden. Weiterhin fällt bei Betrachtung der beiden Simulationen in Abb. 1 auf, dass sich viele Bereiche im Foto nicht ändern, da die beiden Simulationen nahezu identisch sind. Es wird praktisch zweimal fast das Gleiche simuliert und im Ergebnisbild nichts verändert, da die Differenz kaum sichtbar ist. Das in den folgenden Abschnitten beschriebene Verfahren stellt ein neues Konzept für Differentielles Rendering vor, das diese Nachteile behebt.

### 3.1 Photonenverteilung

Zur Erfassung der kompletten Umgebungsbeleuchtung wird ein HDR Foto einer verspiegelten Kugel (sog. *Light Probe*) aufgenommen [Deb98]. Jedes Pixel der Light Probe beschreibt eine distante Lichtquelle für diese Einfallsrichtung, daher werden die Photonen pro Pixel parallel in Richtung des virtuellen Objekts versendet (siehe Abb. 2 links). Die Anzahl der Photonen wird dabei durch die Leuchtdichte des Pixels festgelegt. Die generelle Idee besteht jetzt darin, direkt die *Änderung im Licht* zu simulieren, die durch Einfügen der virtuellen Objekte verursacht wurde. Daher wird folgende Erweiterung eingeführt: Trifft das Photon auf dem virtuellen Objekt auf, so wird der nächste Schnittpunkt mit einem realen Objekt berechnet und an dieser Stelle ein Photon mit negativem Lichtstrom gespeichert. Diese *Schattenphotonen* repräsentieren den *fehlenden Lichtstrom* im Schatten des virtuellen Objekts.

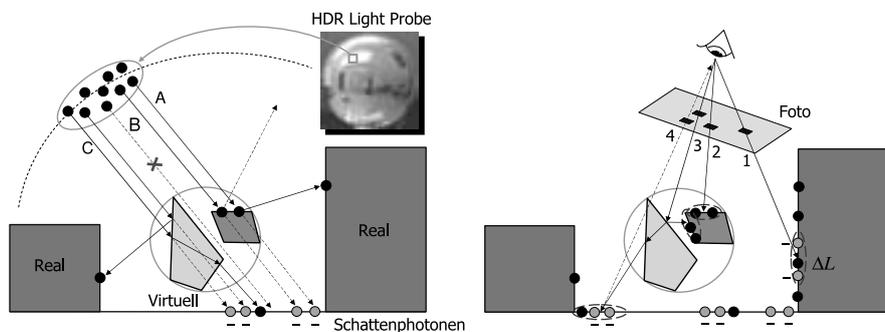


Abbildung 2: Differentielles Photon Mapping. Links: Photonverteilung. Rechts: Darstellung.

Für die Weiterverfolgung der positiven Photonen werden mehrere Fälle unterschieden, die in Abb. 2 (links) aufgezeigt sind. Falls das Photon das virtuelle Objekt verfehlt, so wird es komplett ignoriert, da sich der zugehörige Lichtpfad durch Einfügen des virtuellen Objekts nicht verändert hat (Pfad B). Im Vergleich zu herkömmlichem Differentiellem Rendering

würden diese Lichtpfade zweimal berechnet und dann voneinander abgezogen werden. Die Lichtpfade für Photonen, die das virtuelle Objekt getroffen haben, sind identisch zu normalem Photon Mapping: Trifft man ein diffuses Objekt, so wird das Photon an dieser Stelle gespeichert. Über ein Zufallsexperiment wird dann entschieden, ob das Photon reflektiert oder absorbiert wird. Im Falle der Reflexion wird eine zufällige Ausfallsrichtung bestimmt und das Photon wird weiterverfolgt (Pfad A). Bei gläsernen Objekten wird der winkelabhängige Fresnel-Reflexionsgrad bestimmt und entweder der reflektierte oder der gebrochene Lichtpfad weiterverfolgt (Pfad C).

### 3.2 Augmentierung mit der Differentiellen Photon Map

Wiederholt man diesen Vorgang für alle Pixel der Light Probe, so entsteht eine *Differentielle Photon Map* auf der realen Geometrie. Diese Photon Map enthält kein absolutes Licht, sondern die *Änderung im Licht*, die durch das virtuelle Objekt verursacht wurde. Zur Darstellung wird pro Pixel im Foto der erste Schnittpunkt von einem Strahl durch das Pixel mit der Szene bestimmt. Nun erfolgt eine Fallunterscheidung zwischen realen und virtuellen Objekten (siehe Abb. 2 rechts). Wurde ein reales Objekt getroffen, so muss die entsprechende Pixelfarbe korrigiert werden (Strahl 1). Dieser (positive oder negative) Korrekturwert lässt sich mit der Differentiellen Photon Map bestimmen: Der Radiance Estimate um den Schnittpunkt liefert direkt die Korrektur-Leuchtdichte  $\Delta L$  und als neue Leuchtdichte des Pixels wird  $L'_{Pixel} = L_{Pixel} + \Delta L$  eingetragen. Falls der Kamerastrahl ein virtuelles Objekt trifft, wird zwischen diffusen und spiegelnden Objekten unterschieden. Bei diffusen Materialien kann direkt der Radiance Estimate zur Bestimmung der Leuchtdichte verwendet werden (Strahl 2), da virtuelle Objekte nur positive Photonen speichern. Bei spiegelnden oder transmittierenden Objekten wird ein *Raytracer* mit dem reflektierten und dem gebrochenen Strahl gestartet (Strahl 3). Die beiden Pfade werden solange weiterverfolgt, bis ein Treffer auf einem diffusen Material gefunden wurde oder eine maximale Rekursionstiefe erreicht ist. Liegt der gefundene Punkt auf einem virtuellen Objekt, so kann wieder der Radiance Estimate an dieser Stelle ausgewertet und die resultierende Leuchtdichte zurückgegeben werden. Ist der Punkt dagegen auf einem realen Objekt, so muss eine *korrigierte Pixel-Leuchtdichte* aus dem Foto zurückgeliefert werden. Dafür wird zunächst die originale Pixel-Leuchtdichte  $\tilde{L}_{Pixel}$  durch Rückprojektion des Punktes ins Foto bestimmt (Strahl 4). Danach wird der Radiance Estimate ausgewertet und als Korrekturwert aufaddiert, der Rückgabewert ist somit:  $\tilde{L}_{Pixel} + \Delta L$ . Im Beispiel wird also durch die Lichtbrechung des virtuellen Objekts das korrigierte Pixel von Strahl 4 sichtbar, wenn man entlang von Strahl 3 blickt. Diese Korrektur ermöglicht es, dass in spiegelnden oder gläsernen virtuellen Objekten die reale Umgebung mit allen Erweiterungen sichtbar wird. Diese Effekte sind mit dem Standardverfahren nicht möglich, hier wird nur die einfache Simulation im virtuellen Objekt dargestellt.

### 3.3 Ergebnisse

Ein Vergleich zur Standardtechnik ist rechts zu sehen: Mit der Differentiellen Photon Map wirken die virtuellen Objekte ins Foto integriert und die beschriebenen Artefakte treten nicht mehr auf. Während die Darstellung mit der Standardtechnik ca. zwei Stunden benötigt hat (Mental Ray<sup>TM</sup>), war die Beleuchtung mit der Differentiellen Photon Map in ca. zehn Minuten möglich. Einen direkten Vergleich zwischen realen und virtuellen Objekten sieht man in Abb. 3 (links). Sowohl gläserne, spiegelnde als auch diffuse virtuelle Objekte sind von den realen Gegenständen kaum zu unterscheiden. In Abb. 3 (rechts) wird ein komplexes Objekt ins Bild eingefügt.



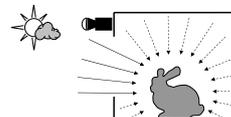
Abbildung 3: Integration virtueller Objekte in Fotos mit Differentiellem Photon Mapping. Links: Drei reale Objekte im Vordergrund und im Hintergrund die entsprechenden virtuellen Objekte. Die Berechnungszeit liegt bei 8.5 Minuten bei 2.8 Millionen Photonen. Rechts: Virtuelles Objekt mit komplexer Geometrie (ca. 10.000 Polygone), Berechnungszeit 1.8 Stunden mit 28.000 Photonen. Alle Messungen wurden auf einem Dual Xeon PC mit 2.8 GHz durchgeführt.

## 4 Augmentierte Bildsynthese von Live Bildern

Nachdem es im letzten Kapitel um die Erweiterung von Standbildern ging, soll nun eine beleuchtungskonforme Erweiterung von *bewegten Live-Bildern* vorgestellt werden, beispielsweise von einer WebCam. Zur Erfassung der zeitlich variierenden Umgebungsbeleuchtung wird dabei eine High-Dynamic-Range Video Kamera (IMS Chips) mit vorgesetztem Weitwinkelobjektiv (Fish-Eye) eingesetzt, die im Folgenden als *Lichtkamera* bezeichnet wird. Eine solche HDR Video Kamera wurde erstmalig von Havran et al. [HSK<sup>+</sup>05] zur Beleuchtung virtueller Objekte eingesetzt. Um eine echtzeitfähige Beleuchtung zu erhalten, werden im Normalfall repräsentativ für das gesamte Umgebungslicht aus dem Bild der Lichtkamera eine Menge von *Sampling Punkten* gewählt. Pro Sampling Punkt wird dann eine gerichtete Lichtquelle angesetzt, mit der das virtuelle Objekt

beleuchtet wird. Mit Hilfe der Grafik Hardware wird der zugehörige Schatten gezeichnet (Shadow Mapping). Diese Einzelbilder werden zur Darstellung der Gesamtbeleuchtung dann einfach addiert (Multi-Pass-Rendering, siehe Abb. 4 links) [HSK<sup>+</sup>05]. Dieses Beleuchtungsverfahren ist gut für Außenaufnahmen geeignet, eine Übertragung auf Innenräume ist allerdings schwierig, da hier das indirekte Licht *stark räumlich variiert*. Das Aussehen des virtuellen Objekts hängt somit von der Position der Lichtkamera ab: So wird ein virtuelles Objekt immer hell aussehen, falls die Lichtkamera im direkten Sonnenlicht steht und das Objekt wird immer dunkel sein, falls die Lichtkamera im Schatten platziert ist. Die Lichtkamera müsste also immer mit dem virtuellen Objekt mitbewegt werden. Alternativ könnten auch viele Lichtkameras im Raum verteilt werden, aus denen immer eine in der Nähe des virtuellen Objekts ausgewählt wird, um das korrekte *Nahfeld* des Lichts zu erfassen.

Um einen solchen Aufwand zu vermeiden, wird ein anderer Weg eingeschlagen: Die Lichtkamera wird außerhalb des Raumes platziert und nimmt das Licht auf, das durch die Fenster einfällt. Das davon abhängige, indirekt reflektierte Licht im Raum wird durch eine *Lichtsimation* bestimmt, die sich immer an das Licht von außen anpasst. Zur Darstellung des virtuellen Objekts werden dann die beiden Anteile addiert. Während das Multi-Pass



Verfahren zur Darstellung des direkten Lichts von außen echtzeitfähig ist, gibt es für die Simulation der davon abhängigen Lichtverteilung im Raum keine echtzeitfähige Lösung. Daher wurde in dieser Arbeit eine dynamische Form des *Irradiance Volume* [GSHG98] entwickelt. Der Irradiance Volume ist ein 3D Gitter, das in jedem Gitterpunkt das einfallende Licht aus *allen* einfallenden Richtungen vorberechnet und speichert. Zur Beleuchtung eines virtuellen Objekts müssen dann nur noch die vorberechneten Werte an der Objektposition aus dem Gitterpunkt ausgelesen werden. Die dynamische Anpassung des 3D Gitters an das von außen einfallende Licht wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

#### 4.1 Vorberechnung der Basisbeleuchtung

Die Grundidee basiert auf dem *Superpositionsprinzip* von Licht: Verdoppelt man die Helligkeit einer Lichtquelle, so verdoppeln sich alle Helligkeiten im Raum. Wird eine zweite Lichtquelle hinzugefügt, so addiert sich das neue Licht zum alten Licht hinzu. Dies gilt nicht nur für das Licht auf den Oberflächen der Objekte, sondern für jeden beliebigen Punkt im Raum. Da Licht also sowohl *additiv* als auch *linear* ist, kann ein beliebiger Irradiance Volume aus einer Menge von *Basis Irradiance Volumes* zusammengesetzt werden. Das Tageslicht wird dazu durch eine Hemisphäre vor dem Fenster repräsentiert, die in eine feste Anzahl von  $N$  Regionen aufgeteilt ist. Für jede Region wird eine Lichtsimulation durchgeführt mit einer Flächenlichtquelle an dieser Region. Danach wird ein Basis Irradiance Volume für die resultierende Leuchtdichte-Verteilung im Raum bestimmt, der das zugehörige indirekte Licht im Raum beschreibt. Dieser Vorgang wird für alle  $N$  Regionen wiederholt, sodass  $N$  Basisbeleuchtungen mit  $N$  Basis Irradiance Volumes entstehen. Abb. 4 (Mitte) zeigt diese Vorberechnungen. Da es sich hierbei um niederfrequentes Licht

handelt wird jeder Basis Irradiance Volume mit Hilfe von *Spherical Harmonics* [SKS02] komprimiert, sodass pro Gitterpunkt nur noch neun Farbwerte gespeichert werden müssen.

## 4.2 Kombination der Basisbeleuchtungen

Aus den vorberechneten Basis Irradiance Volumes kann jetzt durch Linearkombination schnell das indirekte Licht im Raum für jede mögliche Beleuchtung von außen zusammengesetzt werden (siehe Abb. 4 rechts). Für jede Region im Bild der Lichtkamera wird zunächst der Mittelwert gebildet. Die gemittelten Leuchtdichte-Werte bilden dann die Skalierungsfaktoren für die zugehörigen Basis Irradiance Volumes. Der Irradiance Volume für das aktuelle Tageslicht ergibt sich dann als (gewichtete) Linearkombination der Basis Irradiance Volumes.

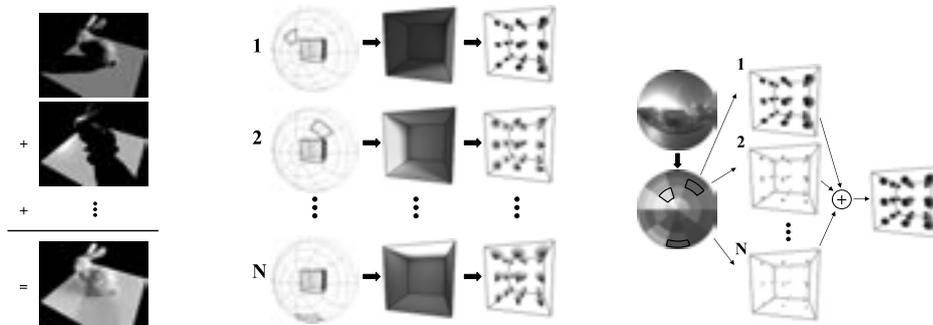


Abbildung 4: Links: Multi-Pass-Rendering zur Beleuchtung mit natürlichem Umgebungslicht. Mitte: Basis Irradiance Volumes für das indirekte Licht im Raum. Rechts: Linearkombination der Basis Irradiance Volumes zur Anpassung an das aktuelle Licht von außen.

## 4.3 Ergebnisse

Repräsentativ für einen echten Raum mit Tageslicht wurde eine *Cornell Box*<sup>1</sup> nachgebaut. Die Lichtkamera befindet sich oben auf der Box und nimmt das einfallende Umgebungslicht auf. Abb. 5 (links) zeigt mehrere virtuelle Objekte in der realen Cornell Box unter Tageslicht. In Abb. 5 (Mitte) ist ein Anwendungsbeispiel zu sehen: Ein Betrachter bewegt die Kamera unter zeitlich veränderlichem Umgebungslicht. Das eingeblendete virtuelle Objekt wird dabei immer mit korrekter Beleuchtung dargestellt. Ein Vergleich mit einem echten Objekt ist in Abb. 5 (rechts) zu sehen. Hier steht ein echter *Teapot*<sup>2</sup>, hergestellt mit einem 3D-Drucker, in der Cornell Box. Die Bewegung der Objekte ist mit interaktiven Bildwiederholraten möglich (10 - 17 Bilder/Sek.). Für statische Bilder sind Echtzeitbe-

<sup>1</sup>[www.graphics.cornell.edu/cbox](http://www.graphics.cornell.edu/cbox)

<sup>2</sup><http://de.wikipedia.org/wiki/Utah-Teekanne>

wegungen möglich (22 - 116 Bilder/Sek.), die zusätzliche Zeit bei bewegter Kamera wird durch die Bestimmung der neuen Kameraposition (sog. Marker Tracking) verursacht.



Abbildung 5: Links: Mehrere virtuelle Objekte befinden sich in einer realen Cornell Box. Mitte: Konsistente Beleuchtung unter zeitlich und räumlich variierendem Licht, der Benutzer kann interaktiv Kamera und Objekt bewegen. Rechts: Vergleich zwischen einem realen Teapot (oben) und einem virtuellen Teapot (unten).

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Aus der Dissertation [Gro07] wurden hier zwei Verfahren zur Augmentierung digitaler Bilder vorgestellt. Mit Differentiellem Photon Mapping sind Erweiterungen möglich, die kaum noch von der realen Umgebung zu unterscheiden sind und dennoch schneller als mit dem Standardverfahren generierbar sind. Durch Einsatz von Grafik Hardware und HDR Video Kameras können Erweiterungen von bewegten Live-Bildern mit interaktiver Geschwindigkeit unter zeitlich und räumlich variierenden Lichtverhältnissen durchgeführt werden. Als zukünftige Entwicklung wäre die Behandlung von dynamischer Geometrie, bis hin zu bewegten Personen, denkbar, sowie die Berücksichtigung komplexer Materialien. Als Vision kann man sich einen Betrachter vorstellen, der sich mit einer durchsichtigen Datenbrille in einer beliebigen realen Umgebung bewegt. In der Datenbrille werden dabei photometrisch konsistente Augmentierungen in Echtzeit eingeblendet, die immer an die aktuelle Lichtsituation angepasst sind und sich somit nahtlos in die Realität einfügen.

## Literatur

- [Deb98] P. Debevec. Rendering synthetic objects into real scenes: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography. In *Proc. SIGGRAPH '98*, Seiten 189–198, 1998.

- [FGR93] A. Fournier, A.S. Gunavan und C. Romanzin. Common Illumination between real and computer generated scenes. In *Proc. of Graphics Interface 1993*, Seiten 254–262, 1993.
- [GCHH03] S. Gibson, J. Cook, T. Howard und R. Hubbard. Rapid Shadow Generation in Real-World Lighting Environments. In *Eurographics Symposium on Rendering*, Seiten 219–229, 2003.
- [GEM07] T. Grosch, T. Eble und S. Mueller. Consistent interactive augmentation of live camera images with correct near-field illumination. In *VRST '07: Proceedings of the 2007 ACM symposium on virtual reality software and technology*, Seiten 125–132, New York, NY, USA, 2007. ACM.
- [Gro05a] T. Grosch. Differential Photon Mapping: Consistent Augmentation of Photographs with Correction of all Light Paths. In *Eurographics 2005, Trinity College, Dublin, Ireland (Best Short Paper Award)*, 2005.
- [Gro05b] T. Grosch. PanoAR: Interactive Augmentation of Omni-directional Images with Consistent Lighting. In *Mirage 2005, Computer Vision / Computer Graphics Collaboration Techniques and Applications*, Seiten 25–34, 2005.
- [Gro06] T. Grosch. Fast and Robust High Dynamic Range Image Generation with Camera and Object Movement. In *Vision, Modeling and Visualization, RWTH Aachen*, 2006.
- [Gro07] T. Grosch. *Augmentierte Bildsynthese (Dissertation)*. Universität Koblenz-Landau, Der Andere Verlag, 2007.
- [GSHG98] G. Greger, P. Shirley, P.M. Hubbard und D.P. Greenberg. The Irradiance Volume. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(2):32–43, 1998.
- [HSK<sup>+</sup>05] V. Havran, M. Smyk, G. Krawczyk, K. Myszkowski und H.P. Seidel. Importance Sampling for Video Environment Maps. In *Eurographics Symposium on Rendering 2005*, Seiten 31–42, Konstanz, Germany, 2005.
- [Jen01] H.W. Jensen. *Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*. AK Peters, 2001.
- [RGKM07] T. Ritschel, T. Grosch, J. Kautz und S. Mueller. Interactive Illumination with Coherent Shadow Maps. In *Eurographics Symposium on Rendering, June 25 - 27, Grenoble, France*, 2007.
- [SKS02] P.P. Sloan, J. Kautz und J. Snyder. Precomputed radiance transfer for real-time rendering in dynamic, low-frequency lighting environments. In *SIGGRAPH*, Seiten 527–536, 2002.



**Thorsten Grosch**, geboren 1972, begann sein Informatikstudium an der TU Darmstadt im Jahr 1995. Während des Studiums arbeitete er am Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung. Nach seinem Abschluss als Diplom-Informatiker im Oktober 2001 begann er im Juli 2002 die Arbeit in Lehre und Forschung als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Koblenz-Landau. Die Dissertation *Augmentierte Bildsynthese* schloss er mit Auszeichnung ab. Seine Forschungsinteressen liegen rund um das Themengebiet der globalen Beleuchtung. Für seine Arbeiten erhielt er 2005 den Eurographics Best Short Paper Award und 2006 den 2. Best Paper Award der

GI-Fachgruppe VR/AR. Seit 2007 ist er als Post-Doc am Max-Planck-Institut für Informatik in Saarbrücken tätig.