

**Christian Bauer**  
**Zumtobel Lighting GmbH**  
**A-6851 Dornbirn Schweizer Str. 30**  
**Christian.Bauer@zumtobel.com**

Die Simulation der Beleuchtung in komplexen architektonischen Szenarien ist sowohl in punkto Rechenkomplexität als auch bei der Modellierung eine große Herausforderung: Die Lichtverteilung der Leuchten, Materialeigenschaften der Oberflächen mit korrekten Reflexions- und Absorptionswerten müssen bei der Planung ebenso berücksichtigt werden wie Tageslichteinflüsse oder die Reflexionen von Fassaden.

HILITE ist ein Forschungsprojekt vom Technologiezentrum VrVis in Wien (A), Zumtobel Lighting in Dornbirn(A) und Hefel Wohnbau in Lauterach(A), dessen Zweck die Erforschung von interaktiven Echtzeitmethoden zur Berechnung und Gestaltung von Lichtlösungen mithilfe neuester Technologien aus den Bereichen Rendering und Virtual Reality ist. (Siehe Referenzen)

Das Hauptaugenmerk im HILITE-Projekt liegt in der Entwicklung eines Lichtsimulationssystems, das eine dynamisch modifizierbare Echtzeitvisualisierung erlaubt. Innerhalb weniger Sekunden steht eine hochqualitative Simulation der Lichtlösung zur Verfügung. Dadurch ist eine interaktive Bearbeitung der Szenengeometrie und der verwendeten Leuchten möglich - ohne stundenlangen Wartezeiten ausgesetzt zu sein.

Hilite ist eine Simulationstechnologie, welche sich optimierte Berechnungsmethoden für Shadowmaps aus dem Virtual Reality und Gamingbereich mittels GPU zu Nutze macht, um Lichtplanern eine interaktive Vorschau ihrer Lichtlösungen zu zeigen um diese zu optimieren. Dabei wird der Direktanteil der Lichtlösung sofort angezeigt und der Indirektanteil mit geringer Verzögerung berechnet und angezeigt.

Shadowmapping ist eine Technologie, bei der wie bei einem Beamer oder Diaprojektor „Bilder“ in den Raum projiziert werden und dabei die Hindernisse auf die sie treffen beleuchten. Das kann ein Tisch sein oder aber auch einfach nur eine Wand. Diese „Bilder“ werden als Intensitymaps bezeichnet.

### **Intensitymaps:**

Um für Leuchten die entsprechenden Maps verwenden zu können, werden die gemessenen photometrischen Daten (LDT,IES) in High Dynamic Range Intensitymaps (EXR) konvertiert. Diese werden in der Simulation für den Direktlichtanteil per Shadowmapping in den Raum projiziert.

Durch die hohe Dynamik dieser Intensitymaps können hoch komplexe Lichtverteilungen in relativ kleinen Dateien (64px \* 64px) gespeichert werden.



Fig 1.  
Intensitymap bei unterschiedlichem  
Abstand zur Projektionsfläche

Bei Spots genügt eine einzelne Map und bei komplexen Leuchten werden Cubemaps erzeugt, die von der GPU ebenfalls optimiert verarbeitet werden können.

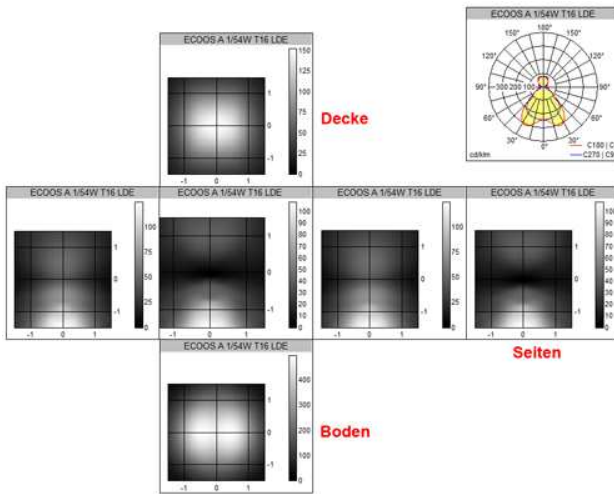


Fig 2.  
Cubemap

### Virtuelle Punktlichtquellen:

Hilite verwendet virtuelle Punktlichtquellen (VPL) um die Position der Lichtquelle zu definieren und Polygone um die Fläche des Lichtaustrittes einer Leuchte zu definieren.

Es können mit dieser Methode beliebig viele unterschiedliche VPL für jede Leuchte verwendet werden. Vor allem bei LED Leuchten, die bei Neuentwicklungen Leuchten mit konventionellen Leuchtmitteln zunehmend ablösen, ergeben sich so große Vorteile:

Da Innerhalb einer Leuchte jede einzelne LED unabhängig voneinander mit einer eigenen Lichtverteilung und Farbe versehen werden kann, ergeben sich besonders bei RGB Leuchten bisher unerreichte genaue Simulationsergebnisse:



Fig 3.  
Einzelne LEDs für jede RGB Farbe

Die LED Leuchte wird sehr detailliert simuliert, wobei auch der Schattenwurf einer RGB Leuchte korrekt dargestellt wird.



Fig 4.  
Schattenverschiebung bei einem RGB Spot.

### Simulationsmethode:

Vereinfacht betrachtet kann man bei den Simulationsmethoden zwischen dem Direktanteil und dem Indirektanteil unterscheiden.

Der Direktanteil wird berechnet, indem den oben beschriebenen VPLs Intensitymaps zugeordnet werden, die mittels Shadow-mapping in den Raum projiziert werden.

Für den indirekten Lichtanteil werden im ersten Schritt aus den VPLs Photonen verschossen.

Diese Photonen werden nach dem Auftreffen auf die erste Oberfläche in energiemäßig gleichmäßige

Gruppen aufgeteilt die in Flächen zusammengefasst werden. Für die erste Interreflexion (Bounce) wird für jede dieser Flächen ein VPL erzeugt, das wiederum mit Shadow-mapping in den Raum projiziert wird.

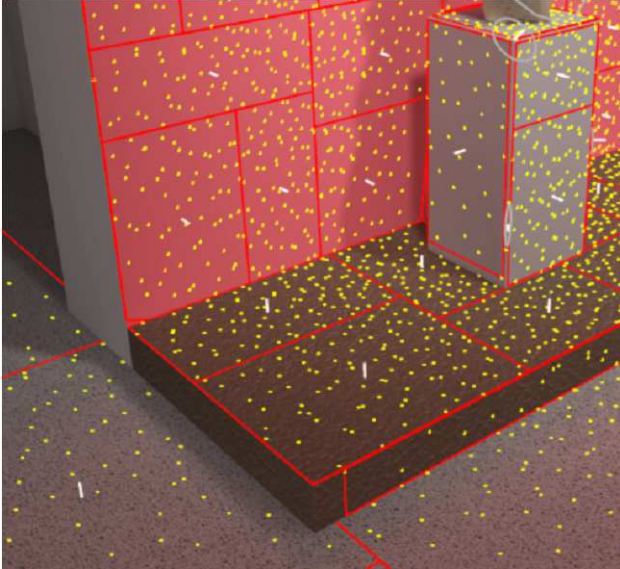


Fig 5.  
Photonen und die resultierenden VPLs

Dieser Vorgang kann für so viele Interreflexionen (Bounces) wie benötigt wiederholt werden und ist flexibel bezüglich der Komplexität der Geometrie.

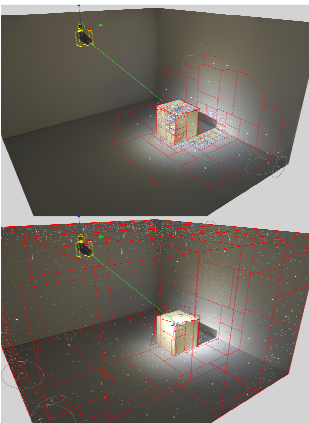


Fig 6.  
VPLs der 1. und 2. diffusen Reflektion

### Lightmaps:

Hilite gruppiert Leuchten um sie gemeinsam ansteuern zu können. Dazu speichert Hilite die Berechnungsergebnisse in jeweils eine Lightmap pro Leuchtengruppe ab.

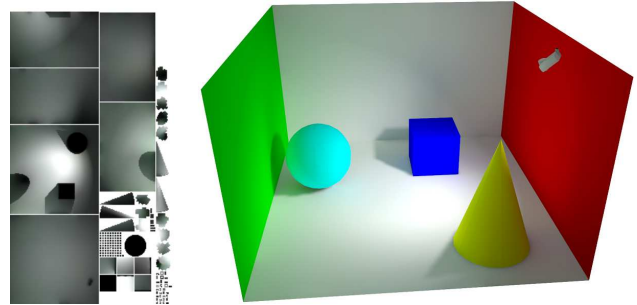


Fig 7.  
Lightmap

Ohne erneute Berechnung lässt sich somit die Intensität oder Lichtfarbe einer Leuchtengruppe verändern. Darin bietet es eine ähnliche Funktionalität wie das interaktive Lichtplanungswerkzeug VIVALDI.

Da die Simulation nahezu in Echtzeit erfolgt und die Benutzerführung bei Leuchtengruppen optiert wurde, können Räume schnell und effizient mit Licht gestaltet werden.

### Material und Shader:

Die Materialeigenschaften in Hilite basieren auf dem Ward Shader Modell, das unter anderem bereits anisotrope Reflexionen darstellen kann.

Der Shader wurde für eine schnelle Rasterdarstellung, wie sie bei Echtzeitsimulationen benötigt wird, adaptiert und um die Möglichkeit eines BSDF fitting erweitert.

Das semiautomatische BSDF Fitting erlaubt (ab Ende 2013) das umwandeln von gemessenen BSDF Daten einer Oberfläche in einen Hilite Shader.

Auch über den bereits implementierten Materialeditor können komplexe Materialien (reflection falloff / fresnel, flat mirror, Reflexionsrauheit usw.) erstellt werden.

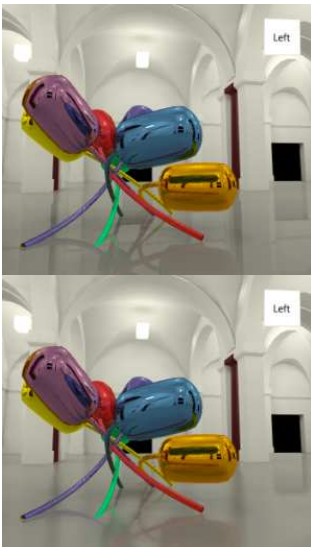


Fig 8.  
Unterschiedlich raue Reflektionen am Boden

Reflexionen werden je nach Form der Objekte als ebene Reflektionen berechnet oder als Cubische Reflektionsmaps für jedes Objekt einzeln erstellt - unter Berücksichtigung der beleuchteten Szene!



Fig 9.  
Studien für Automotive Reflektionen können in Echtzeit gemacht werden.

### Falschfarben:

Hilite bietet einen Falschfarbenmodus, der in Echtzeit die Beleuchtungsstärke anzeigen kann.

Somit ist es für den Planer sofort möglich die gewählten Leuchten auf Über- oder Unterdimensionierung zu überprüfen. Auch die Positionierung der Leuchten kann damit optimiert werden um z.B. Verschattungen zu vermeiden.

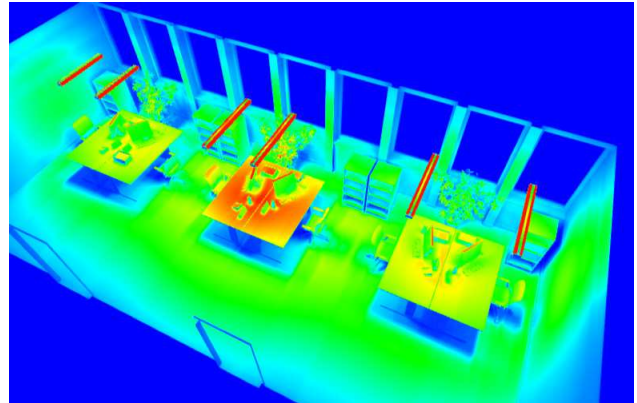


Fig 10.  
Vergleich einer 28W, 49W und 35W Leuchte

Gleichzeitig ermöglicht der Falschfarbenmodus bereits eine Abschätzung der Gleichmäßigkeit einer Lichtlösung oder ermöglicht es einen bewussten Fokus zu setzen wie es z.B. im Bereich Kunst und Kultur erwünscht sein kann.

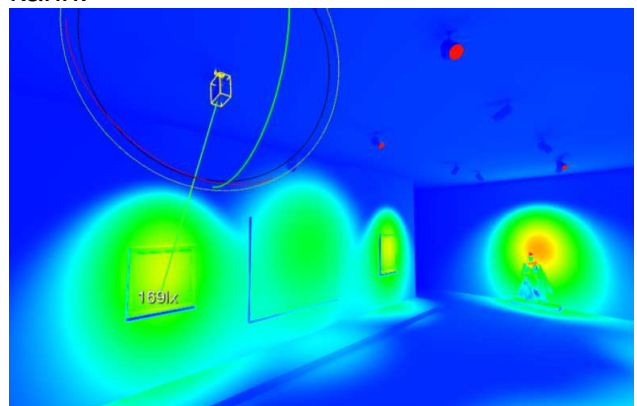


Fig 11.  
Interaktive Positionierung von Leuchten in Echtzeit



### Einbau- und Deckenleuchten:

Hilite verwendet intelligente Maskierungen um Deckenausschnitte darzustellen und dann dort eine Leuchte bzw. deren Geometrie einzusetzen.

Diese Technologie ist schneller und unkomplizierter als Boolesche Operationen und daher bestens geeignet für eine große Anzahl von Einbauleuchten.

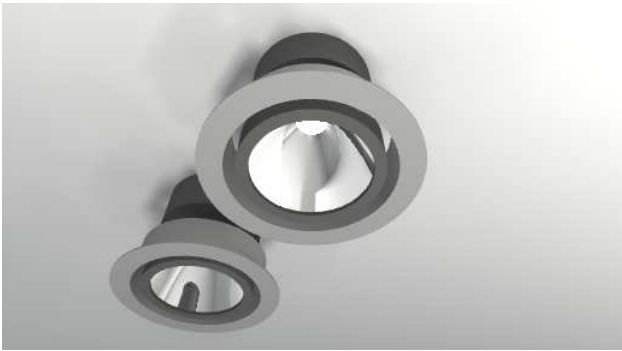


Fig. 12  
Typische Deckenleuchte mit Geometrie



Fig 13.  
Deckenleuchte die in Hilite in die Decke eingelassen ist

### References:

LUKSCH, C., TOBLER, R.F., HABEL, R., SCHWÄRZLER, M., WIMMER, M., 2013 Fast Light-Map Computation with Virtual Polygonal Lights. In ACM SIGGRAPH Symposium 2013 Paper

ANNEN, T., DONG, Z., MERTENS, T., BEKAERT, P., SEIDEL, H.-P., AND KAUTZ, J. 2008. Real-time, All-Frequency Shadows in Dynamic Scenes. ACM Trans. Graph. 27, 3, 1–8.

BAUM, D. R., RUSHMEIER, H.E., AND WINGET, J. M. 1989. Improving Radiosity Solutions Through the Use of Analytically Determined Form-Factors. In Proceedings of the 16th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM, New York, USA, 325–334.

COHEN, M. F., WALLACE, J., AND HANRAHAN, P. 1993. Radiosity and Realistic Image Synthesis. Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA, USA.

CRASSIN, C., NEYRET, F., SAINZ, M., GREEN, S., AND EISEMANN, E. 2011. Interactive Indirect Illumination using Voxel Cone Tracing. In Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, ACM, New York, USA, 207–207.

DACHSBACHER, C., AND STAMMINGER, M. 2005. Reflective Shadow Maps. Proceedings of the 2005 symposium on Interactive 3D graphics and games SI3D 05, 203.

DONG, Z., GROSCH, T., RITSCHER, T., KAUTZ, J., AND SEIDEL, H.-P. 2009. Real-time Indirect Illumination with Clustered Visibility. In Vision, Modeling, and Visualization Workshop.

FABIANOWSKI, B., AND DINGLIANA, J. 2009. Interactive Global Photon Mapping. Computer Graphics Forum 28, 4, 1151–1159.

- FERNANDO, R. 2005. Percentage-closer Soft Shadows. In ACM SIGGRAPH 2005 Sketches, ACM, New York, USA, 35.
- HACHISUKA, T., AND JENSEN, H. W. 2010. Parallel Progressive Photon Mapping on GPUs. In ACM SIGGRAPH ASIA 2010 Sketches, ACM, New York, USA, 54:1–54:1.
- HASAN, M., PELLACINI, F., AND BALA, K. 2007. Matrix Row-Column Sampling for the Many-Light Problem. ACM Transactions on Graphics (TOG) 26, 3, 26–es.
- HASSELGREN, J., A KENINE-MÖLLER, T., AND OHLSSON, L. 2005. Conservative Rasterization. In GPU Gems 2, M. Pharr and R. Fernando, Eds. Addison-Wesley Professional.
- HASAN, M., KRIVANEK, J., W ALTER, B., AND BALA, K. 2009. Virtual Spherical Lights for Many-Light Rendering of Glossy Scenes. In ACM SIGGRAPH Asia 2009 Papers, ACM, New York, USA, 143:1–143:6.
- HERMES, J., HENRICH, N., GROSCH, T., AND MUELLER, S. 2010. Global Illumination using Parallel Global Ray Bundles. In VMV 2010: Vision, Modeling and Visualization 2010, 65–72.
- JENSEN, H. 1996. Global Illumination using Photon Maps. Rendering Techniques 96, 21–30.
- KAJIYA, J. T. 1986. The Rendering Equation. In Computer Graphics (ACM SIGGRAPH '86 Proceedings), vol. 20, 143–150.
- KELLER, A. 1997. Instant Radiosity. In Proceedings of the 24<sup>th</sup> annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, USA, 49–56.
- LAFORTUNE, E. P., AND WILLEMS, Y. D. 1993. Bi-directional Path Tracing. In Proceedings of Third International Conference on Computational Graphics and Visualization Techniques (Compugraphics '93), H. P. Santo, Ed., 145–153.
- LAINE, S., SARANSAARI, H., KONTKANEN, J., LEHTINEN, J., AND AILA, T. 2007. Incremental Instant Radiosity for Real-Time Indirect Illumination. In Proceedings of Eurographics Symposium on Rendering, Citeseer, 277–286.
- MCGUIRE, M., AND LUEBKE, D. 2009. Hardware-Accelerated Global Illumination by Image Space Photon Mapping. In Proceedings of the 2009 ACM SIGGRAPH/EuroGraphics conference on High Performance Graphics, ACM, New York, USA.
- NOVAK, J., ENGELHARDT, T., AND DACHSBACHER, C. 2011. Screen-space bias compensation for interactive high-quality global illumination with virtual point lights. In Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, ACM, New York, USA.
- PRUTKIN, R., KAPLANYAN, A., AND DACHSBACHER, C. 2012. Reflective Shadow Map Clustering for Real-Time Global Illumination. Eurographics Short Papers, 9–12.
- RITSCHER, T., G ROSCH, T., K IM, M. H., S EIDEL, H.-P., DACHSBACHER, C., AND KAUTZ, J. 2008. Imperfect Shadow Maps for Efficient Computation of Indirect Illumination. In ACM SIGGRAPH Asia 2008 Papers, ACM, New York, USA. RITSCHER, T., E NGELHARDT, T., G ROSCH, T., S EIDEL, H.-P., KAUTZ, J., AND DACHSBACHER, C. 2009. Micro-Rendering for Scalable, Parallel Final Gathering. In ACM SIGGRAPH Asia 2009 Papers, ACM, New York, USA, 132:1–132:8.
- RITSCHER, T., EISEMANN, E., HA, I., KIM, J. D., AND SEIDEL, H.-P. 2011. Making Imperfect Shadow Maps View-Adaptive:

High-Quality Global Illumination in Large Dynamic Scenes. Computer Graphics Forum (presented at EGSR 2011).

SCHNABEL, R., WAHL, R., AND KLEIN, R. 2007. Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection. Computer Graphics Forum 26, 2 (June), 214–226.

THIEDEMANN, S., HENRICH, N., GROSCH, T., AND M ÜLLER, S. 2011. Voxel-based Global Illumination. In Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, ACM, New York, USA, 103–110.

TOKUYOSHI, Y., SEKINE, T., AND OGAKI, S. 2011. Fast Global Illumination Baking via Ray-Bundles. In SIGGRAPH Asia 2011 Sketches, ACM, New York, USA, 25:1–25:2.

WALLACE, J. R., ELMQUIST, K. A., AND HAINES, E. A. 1989. A Ray Tracing Algorithm for Progressive Radiosity. SIGGRAPH Comput. Graph. 23, 3 (July), 315–324.

WALTER, B., FERNANDEZ, S., ARBREE, A., BALA, K., DONIKIAN, M., AND GREENBERG, D. P. 2005. Lightcuts: A Scalable Approach to Illumination. In ACM SIGGRAPH 2005 Papers, ACM, New York, USA, 1098–1107.

WANG, R., WANG, R., ZHOU, K., PAN, M., AND BAO, H. 2009. An Efficient GPU-based Approach for Interactive Global Illumination. In ACM SIGGRAPH 2009 Papers, ACM, New York, USA, 91:1–91:8.

WILLIAMS, L. 1978. Casting Curved Shadows on Curved Sur-faces. Computer Graphics (SIGGRAPH '78 Proceedings) 12, 3 (Aug.), 270–274