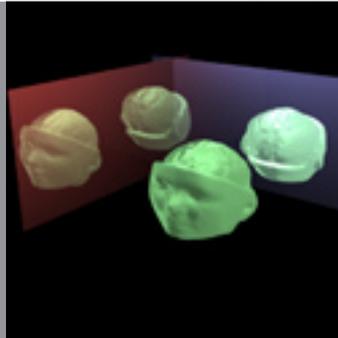




Neue  
3-D Echtzeit-  
Grafik:

**Echt oder Unecht?**

- das ist die Frage...



**Ray Tracing**



## Echt oder Unecht – das ist hier die Frage ... 3D-Echtzeit-Grafik: Ray-Tracing



Leise schließt sich die letzte Tür. Im Dämmerlicht sitzt in völliger Stille eine kleine Gruppe Auserwählter. Alle starren wie gebannt auf eine große Projektionswand. Dort präsentiert sich die Design-Studie eines neuen Autos – doch ist das wirklich nur ein Bild und nicht das Auto selbst? Jedes Detail ist so realistisch, dass man meint, es greifen zu können. Der Glanz des Lackes, die Polster der Innenausstattung, die Narbung des Leders, selbst die Holzkonsole des Armaturenbrettes scheint echt zu sein. Um das Auto herumgehen, es von oben oder unten betrachten, „einsteigen“ und einzelne Details begutachten - alles kein Problem. Nur ein Klick am Computer und das Auto ändert seine Lackierung, seine Frontgestaltung oder Details der Innenraumausstattung.



Möglich macht das eine neue interaktive Visualisierungstechnik, die der Informatik-Professor Philipp Slusallek (Lehrstuhl für Computer-Grafik) an der Universität des Saarlandes entwickelt hat und die, weltweit erstmalig produktiv seit Ende 2004 im Projekt-Visualisierungs-Zentrum von Volkswagen eingesetzt wird. „Echtzeit Ray Tracing“ ermöglicht es, nicht nur wie bisher 3D-Objekte in Echtzeit darzustellen, zu bewegen und zu verändern, sondern es lässt die Objekte absolut realistisch erscheinen, weil das Verfahren jetzt auch genauso schnell Effekte wie Schatten, Reflexion, Lichtbrechung und indirekte Beleuchtung verarbeiten kann.

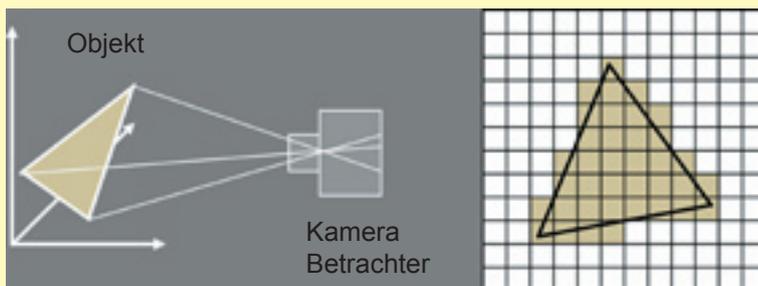


Mit der bisherigen Rasterisierungstechnik wirkten die Objekte unrealistisch und künstlich – eben nur eine „Computergrafik“. Eine echte, fotorealistische Visualisierung verlangt mehr, als nur Form, Größe und Farbe abzubilden. Erst die Verarbeitung unterschiedlicher Lichteffekte, wie es das Ray Tracing-Verfahren kann, lassen eine Darstellung natürlich erscheinen. Das Ray Tracing-Verfahren ist zwar mit seiner hohen Bildqualität seit zirka 20 Jahren bekannt, aber für eine praktikable Anwendung viel zu langsam. Die Erzeugung einzelner Bilder nahm oft mehrere Stunden in Anspruch. Alle Versuche scheiterten, das Verfahren zu beschleunigen.

Philipp Slusallek griff das Ray Tracing-Verfahren mit neuen Ideen auf und entwickelte es weiter. Mit seinem Forscher-Team gelang es ihm tatsächlich, endlich einen Durchbruch zu erreichen und das

Verfahren um den Faktor 30 zu beschleunigen. Ein erster wichtiger Schritt hin zur Interaktivität.

Ray Tracing simuliert die Physik des Belichtungsvorgangs eines Films. Dazu verfolgt es Strahlen von jedem Pixel des Films einer virtuellen Kamera durch die Linse zurück in die 3D-Szene, um herauszufinden, welches Objekt von diesem Pixel aus sichtbar ist. Jeder dieser einzelnen Strahlen muss berechnet werden – das braucht Zeit. Zum entscheidenden Durchbruch kam es, als Slusallek erkannte, dass Strahlen benachbarter Pixel aufgrund ähnlicher Eigenschaften fast immer die gleichen Berechnungen benötigen. Die Schlüsselidee war simpel, nämlich immer gleich eine ganze Gruppe benachbarter Strahlen zusammen zu verfolgen, um deren Kohärenz zu bestimmen und schließlich zur Optimierung der Berechnungen nutzen zu können.



Für Ray Tracing projiziert man, vom Bild ausgehend, rückwärts auf das Objekt.

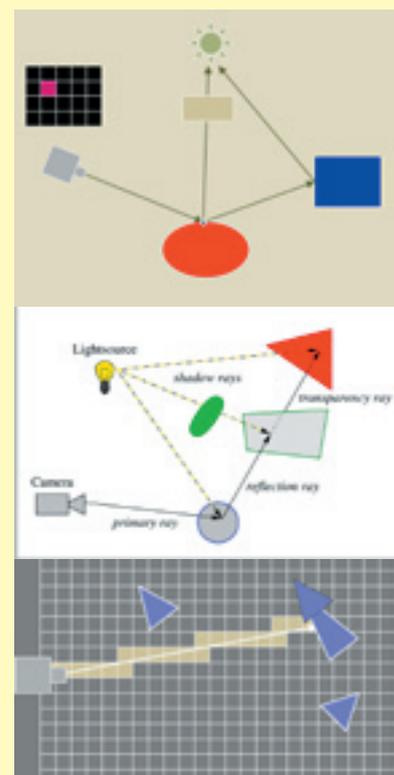
Mit der Berechnung folgender Eigenschaften erhält der „Strahl“ sein wirklichkeitsnahes Gesicht:

- optische Oberflächen-Erscheinungsmerkmale, wie Absorption, Reflexion, Transparenz, Farbe etc.
- Beleuchtungsmerkmale, wie Position und Charakteristik der Lichtquelle, die das Objekt sichtbar macht
- Schatteneffekte und Lichtstreuung
- Wechselwirkung mit der Szenengeometrie

Alle genannten Einzelschritte werden für einen Bildpunkt (Dreieck) hintereinander in einer „pipeline“ berechnet.

Für eine Echtzeitdarstellung müssen Millionen von Bildpunkten eines Objektes in „pipelines“ berechnet werden und das möglichst gleichzeitig. Um die Rechnerleistung zu optimieren, werden letztlich nur die „Strahlen“ erfasst, die für die Bild-darstellung wirklich wichtig sind.

Zur besten Annäherung für die Zerlegung eines Objektes in kleinste „Bildpunkte“, benutzt man Dreiecke für eine zwei- oder Polygone für eine dreidimensionale Geometrie.





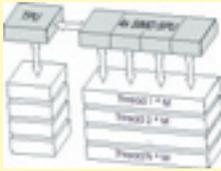
Shader Processing Units (SPU)

In einem einzelnen Speicher **SPU** werden für einen Strahl/-bündel die Daten des abzubildenden Objektes (Schattenbildung, Geometrie, Beleuchtung, Farbe, Textur etc.) erfasst.



Custom Ray Traversal Unit (TPU)

In der **TPU** werden diese Daten mit den Eigenschaften des Raumes, des Mediums, durch den der Strahl läuft, verknüpft.



Multi-Threading

SPU und TPU zusammenschaltet, bilden einen ersten „Rechenzweig“ (**Treading**).



Chunking

Zusammengeschaltete Treadings ergeben ähnlich einem „Baum“ einen größeren Speicherstik, den **Chunk**. Alle gemeinsam fungieren schließlich als MPU (**Mailbox Processing**).

Mailbox Processing (MPU)

Kohärentes Verhalten der zu berechnenden Prozesse erhöht die Rechenleistung von Prozessoren. So zum Beispiel benötigt ein Zugriff in den Hauptspeicher eines Rechners über 500 Takte - liegen die Daten aber in einem schnellen Zwischenspeicher (Cache), kann schon in zwei bis drei Takten darauf zugegriffen werden. Genau das wird beim Ray Tracing-Verfahren genutzt: Fast immer greifen Berechnungen auf Daten zu, die ein benachbarter Strahl schon zuvor benötigte und die daher in schnellen Zwischenspeichern bereit liegen.

Doch mit 30-facher Beschleunigung reicht die Rechenleistung moderner PC-Prozessoren immer noch nicht. Maximal zehn Bildern pro Sekunde lassen sich damit interaktiv darstellen – für den industriellen Einsatz immer noch völlig unzureichend. Erst durch Nutzung der besonderen Eigenschaft des Lichtes, dass einzelne Lichtstrahlen unabhängig voneinander sind – konnte auf mehreren Rechnern gleichzeitig gerechnet werden. Dies funktioniert unter bestimmten Bedingungen bei bis zu vielen hundert gleichzeitig operierenden Prozessoren.



Im neuen Projekt-Visualisierungs-Zentrum des Volkswagen-Konzerns in Wolfsburg sind beispielsweise 40 Dual-Prozessor-PCs zu einem „Großrechner“ zusammenschaltet, um 20 Millionen Bildpunkte von 3D-Auto-Design-Studien in Originalgröße zu berechnen. Auf der „Powerwall“, einer Großprojektionswand von 5,10 x 2,10 m präsentiert, bietet sie Entwicklern eine ideale Möglichkeit, Lichtreflexe, Oberflächen oder auch besondere Lack- und Innenraumvarianten, wie an

einem real gefertigten Modell zu beurteilen. So ist es möglich, bereits in der Design-, Planungs- und Konstruktionsphase die richtigen Entscheidungen zu treffen, bevor ein einziges Fahrzeug gebaut wird.

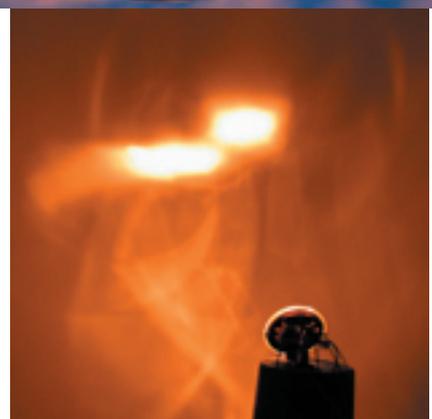
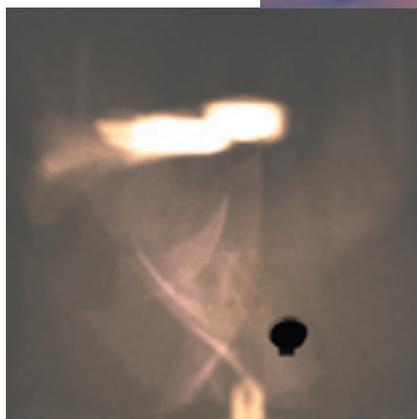
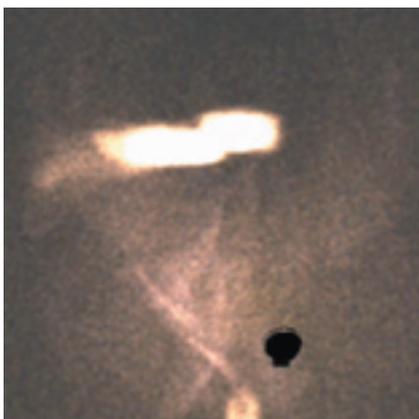
Diese Technologie spart enorme Entwicklungskosten. Das virtuelle Ersatzauto verursacht nur 10% der Baukosten von 600 000 EURO eines realen Modells und das bei einer zusätzlichen Zeitersparnis von 6 – 8 Wochen.

Ziel ist es, mit dem Einsatz aller geeigneten, virtuellen Techniken, einschließlich Simulation und Berechnung, am Ende eine Gesamtersparnis von etwa 30% hinsichtlich des gesamten Produkt-Entstehungsprozesses zu erreichen. Seit Ende 2004 wird für alle neuen Fahrzeugprojekte die neue Ray Tracing-Visualisierungstechnik in der Konzern-Forschung von VW verwendet.

Inzwischen setzen weitere Automobilfirmen wie Audi, BMW, DaimlerChrysler, Seat und Skoda die Ray Tracing-Technologie ein. InTrace, ein Spin-Off Unternehmen der Saarbrücker Universität, vertreibt dazu die Soft- und Hardware.

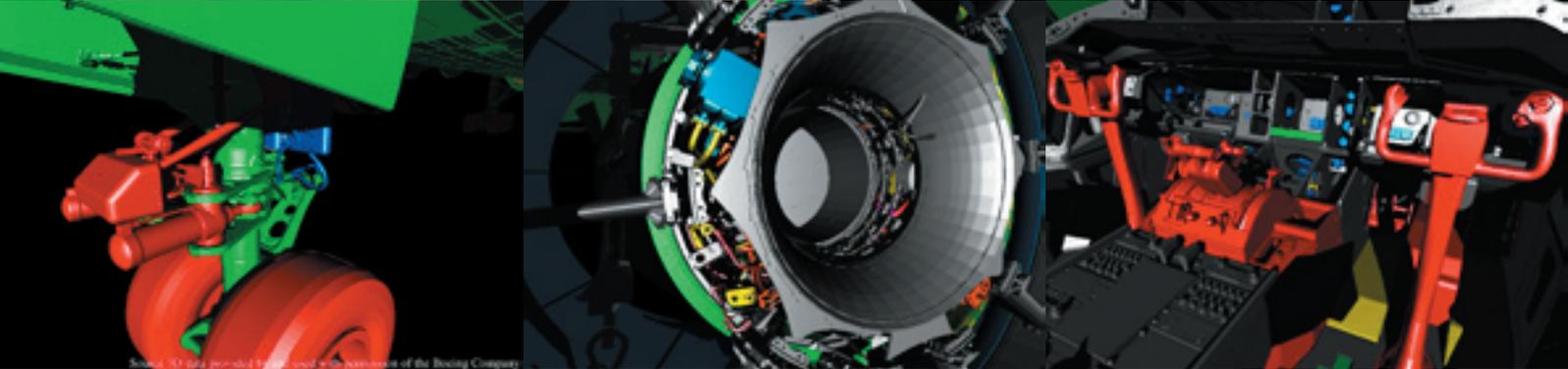
Neben der Darstellung extrem großer oder kleiner 3D-Modelle reicht der Einsatz von Ray Tracing über die Visualisierung medizinischer Volumendaten bis hin zur interaktiven Simulation komplexer Beleuchtungsszenarien, beispielsweise im Bau- und Architekturwesen oder zur Entwicklung neuer Scheinwerfer.

Die Berechnung komplexer Strahlungsgänge in Scheinwerfern ist äußerst kompliziert und führt oft nicht zu einem akzeptablen Ergebnis, so dass letztendlich die Beleuchtungseigenschaften immer wieder an teuren Modellen getestet werden müssen. Heute können mit der neuen Visualisierungstechnik Kosten von mehreren Hundert Euro eingespart werden, denn der Bau eines einzigen Testmodells kostet rund 100.000 EURO.

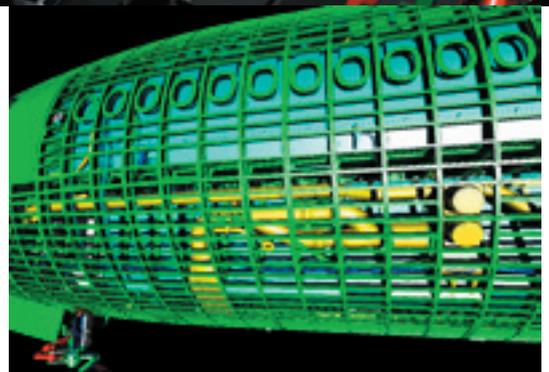




Großes Interesse an der neuen Technik zeigt auch die Flugzeugindustrie - EADS, Airbus und Boeing. Airbus Hamburg hat die Technologie gekauft und bereitet sie für den Einsatz vor. Für ein komplettes, originalgetreues 3D-Modell einer „Boeing 777“ müssen Daten von mehr als 350 Millionen Dreiecken (mehr als 30 Gigabyte oder 40 CD-ROMs) interaktiv verarbeitet werden. Planern und Konstrukteuren erlaubt die neue Technik, sich jederzeit am Bildschirm interaktiv durch das virtuelle Flugzeug zu bewegen und dabei jedes Detail unter die Lupe zu nehmen, vom Turbinenmotor, dem Fahrwerk



über die hunderte Kilometer lange Elektrokabelung bis hin zur kleinsten Schraube oder Niete. Neue Flugzeugmodelle lassen sich so in ihrer Gesamtheit „testen“ und mögliche Probleme können schon vor dem Bau erkannt und abgestellt werden.



Natürlich ist die neue Grafik-Technologie auch für die Spieleindustrie und den privaten Grafik-Anwender hochinteressant. Dazu bedarf es eines noch schnelleren, kompakteren Hardwarechips für den Home-PC-Bereich, der das „Zusammenschalten“ vieler PCs überflüssig macht. Gelingt es, wird die neue Technologie zukünftig auch für den Massenmarkt tauglich sein und eine ganz neue Generation von Computerspielen entsteht. Inzwischen gelang es bereits, einen neuen, vollprogrammierbaren Grafik-Chips (RPU – Ray-Processing-Units) zu entwickeln, der auf einem einzigen kleinen, billigen Chip die Leistung vieler Prozessoren konzentriert. Der erste, noch langsam getaktete

Prototyp der neuen Chip-Architektur erreicht schon eine Echtzeit-Darstellung von bis zu 20 Bildern pro Sekunde. Dabei ist das Ende der Entwicklung noch längst nicht erreicht, da der Chip nur mit einem Zehntel der Geschwindigkeit heutiger Grafikprozessoren läuft und nur ein Fünfzigstel derer Hardware-Ressourcen nutzt. Für die Entwicklung des ersten Grafik-Chips für Echtzeit Ray Tracing erhielt Sven Woop, Doktorand im Forscherteam, im letzten Jahr den mit 50.000 Dollar dotierten NVIDIA-Forschungspreis auf der SIGGRAPH 2005 in Los Angeles. Das amerikanische Unternehmen NVIDIA ist einer der bedeutendsten Grafikkarten-Hersteller. GeForce-Grafikkarten sind weltweit ein Begriff.



Das Hollywood-Studio PIXAR – bekannt etwa durch den Animationsfilm „Nemo“ - hat ebenfalls Kontakt zu den Saarbrückern aufgenommen. Die Forscher programmierten ein so genanntes „Plugin“ für das dort viel benutzte Modellierungs- und Animationsprogramm „Cinema-4D“ des deutschen Herstellers MAXON.

War das endgültige Aussehen einer Filmszene in der Entwurfsphase bisher nur grob zu erahnen, stellt das neue Programm sofort die gerade noch vom Designer bearbeitete Ansicht in voller Qualität in einem separaten Fenster auf dem Bildschirm dar. Im Rechner modellierte Spielszenen lassen sich damit schon während des Entstehungsprozesses genau beurteilen und gegebenenfalls korrigieren – eine phantastische Sache.

Slusallek ist überzeugt, dass in wenigen Jahren seine enge Zusammenarbeit mit namenhaften Firmen der IT-Industrie Früchte tragen wird und große Teile der 3D Graphik-Technologie auf dem neuen Verfahren basieren werden. Die Firma Intel verwendet den Ray Tracing-Code aus Deutschland, um ihre Prozessoren und neue Hardware-Architekturen darauf zu optimieren. Auch IBM, Sony und Toshiba nutzen zukünftig die Technologie für den neuen Hochleistungsprozessor Cell, der Grundlage der neuen Spielekonsole PlayStation 3 von Sony sein wird.

Betrifft man heute verschiedene Laborräume der Saarbrücker Informatik-Studenten, so kann man einen Vorgeschmack auf eine ganz neue Art von Computerspielen und Animationen erhalten. Hier macht es einfach Spaß Student zu sein, denn hier gilt, Studium und Hobby sind eins.

