

Realistische Darstellung von Haut mit Hilfe der Shadertechnologie

Paper

Marco Münch, Alexander Bartels

SS 09

1 Abstract

Im Rahmen der Veranstaltung *Vertiefung aktueller Themen in der Computer Graphik* wurden die mäßigen Texturen eines kleinen dreidimensionalen Modells mit Hilfe von modernen Shader Techniken verbessert. Auf Grund der großen Anzahl an Möglichkeiten diese Figur zu verbessern wurde in diesem Fall der Hauptaugenmerk auf die Hauttexturen gelegt. Es wurden dabei sowohl ältere und bekanntere Methoden wie *Bump Mapping* verwendet als auch moderne Verfahren wie *Subsurface Scattering* oder eine abgewandelte *Translucent Shadow Map*. Diese wissenschaftliche Arbeit enthält die Grundlagen dieser Techniken und die Realisierung mit Hilfe der Software *XNA Game Studio Express*.

Schlüsselwörter: Shader, Haut, Bump Mapping, BRDF, Beckmann Texture, Translucent Shadow Map, Subsurface Scattering

2 Einleitung

Für diesen Kurs wurde die Programmierung von Haut-Shadern realisiert. Diese Shader werden verwendet um das Modell optisch zu verbessern. So reicht es schon aus, ein einfaches Beleuchtungsmodell wie das Phong-Beleuchtungsmodell (siehe Kapitel 3.1) und das Shadowmap Verfahren (siehe Kapitel 3.3) zu verwenden, um eine deutliche Verbesserung des Modells zu erreichen (siehe Abbildung 1).

Diese beiden Verfahren werden mit kleinen Änderungen für das Bump Mapping und für das Translucent Shadow Map Verfahren verwendet, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit besprochen



Abbildung 1: Yoda nur mit Textur (o.) und mit dem Phong Beleuchtungsmodell und Shadowmap (u.)

werden. Wie diese Verfahren für sich funktionieren wird zum Beispiel in den wissenschaftlichen Arbeiten **Practical Shadow Mapping** [BAS02] und **Echtzeit-Verfahren zur Beleuchtung einer computergenerierten 3D-Szene mit Videotexturen** [Jut05] detailliert erläutert.

In Abbildung 1 ist bereits eine deutliche Verbesserung des Modells zu erkennen, aber dennoch wirkt die Haut immer noch nicht realistisch. Aus diesem Grund werden nun verschiedene Verfahren besprochen, die eine realistischere Beschaffenheit der Haut simulieren sollen. *Bump Mapping* gibt der Haut eine Struktur, während die *BRDF* (Bidirectional Reflectance Distribution Function) auf dieser Struktur einen realistischen Glanz erzeugt. Die *Translucent Shadow Map* sorgt dafür, dass eine starke Lichtquelle durch dünne Haut durchscheinen kann und das *Subsurface Scattering* Verfahren sorgt für ein insgesamt besseres Aussehen der Haut

durch Streuung der eindringenden Lichtstrahlen.

3 Grundlagen

In diesem Kapitel werden nun die verschiedenen verwendeten Verfahren zur verbesserten Hautdarstellung erläutert.

3.1 Bump Mapping

Dieses Verfahren macht sich die Grundidee des Phong-Beleuchtungsmodells zunutze. Die Formel des Phong-Modells setzt sich aus drei Teilen zusammen, dem ambienten, dem diffusen und dem spiegelnden Lichtanteil. Sie lautet wie folgt:

$$I_{Phong} = I_{Ambient} + I_{Diffuse} + I_{Specular}$$

Um die verschiedenen Summanden von Phong berechnen zu können werden einige Parameter benötigt, wie unter anderem der Lichteinfallsvektor oder der Betrachtervektor, die aus Abbildung 2 zu entnehmen sind.

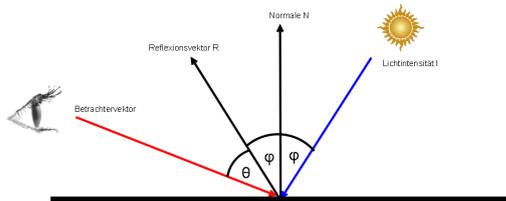


Abbildung 2: Phong Model

Um die Ambiente Beleuchtung zu berechnen wird die Intensität der Lichtquelle I mit einer Materialkonstanten $k_{ambiente}$ multipliziert. Das Material wird um so heller je mehr sich $k_{ambiente}$ an den Wert 1 annähert. Dadurch soll indirektes Licht simuliert werden, welches von der Umgebung reflektiert wird.

$$I_{Ambient} = I_a * k_{ambiente}$$

Das Diffuse Licht ist ebenso eine Multiplikation aus der Intensität des Lichtes I und einem diffusen Materialwert k_{diffus} . Zusätzlich kommt jedoch noch der Winkel φ dazu, welcher unabhängig von der Betrachterposition, aber nicht vom Einfallswinkel ist. Der Winkel φ wird zwischen der Normalen n und dem Lichteinfallsvektor I berechnet. Damit wird die Lichtintensität simuliert, welche direkt auf die Oberfläche eines Körpers trifft.

$$I_{Diffuse} = I_a * k_{diffus} * \cos\varphi$$

Zum Schluss wird für das Phong'sche Beleuchtungsmodell die dritte Komponente, die Spiegelnde Komponente, berechnet. Bei einer perfekt spiegelnden Oberfläche gilt der Satz "Einfallswinkel = Ausfallswinkel". Den spiegelnden Anteil ist am stärksten, wenn sich der Betrachtervektor genau auf dem Ausfallswinkel, auch Reflexionsvektor genannt, liegt. Das spiegelnde Licht wird schwächer, je größer der Winkel θ ist. Er liegt zwischen dem Reflexionsvektor und dem Betrachtervektor. Zusätzlich wird mit $k_{specular}$ die Intensität der spiegelnden Reflektion beeinflusst, wobei ein großes $k_{specular}$ für eine starke spiegelnde Reflektion steht.

$$I_{Specular} = I_a * k_{specular} * \cos\theta$$

Vollständig lautet die Formel daher:

$$I_{Phong} = I_a * k_{ambiente} + I_a * k_{diffus} * \cos\varphi + I_a * k_{specular} * \cos\theta$$

Für die diffuse und die spiegelnde Beleuchtung wird jeweils die Normale verwendet.

Dieses Beleuchtungsmodell wurde in Abbildung 1 verwendet, wobei die Normalen in diesem Fall jeweils von den Eckpunkten einer Oberfläche verwendet werden. Weil Haut oder andere Oberflächen viel feiner sind als das grobe Modell, werden die Normalen in Texturen gespeichert, die eine deutlich feinere Berechnung ermöglichen (siehe Abbildung 3). Da für jeden Pixel eine eigene Normale existiert können somit viel detailliertere Beleuchtungsunterschiede realisiert werden.

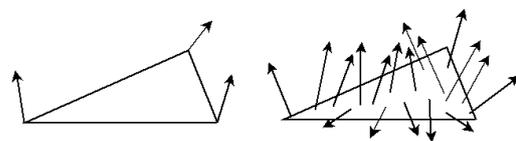


Abbildung 3: Normalen von Modell (1.) und Normalen von einer Textur auf einem Polygon

Es gibt zwei verschiedene Arten von Texturen die für Bump Mapping Effekte verwendet werden können. Zum einen mit der so genannten Heightmap oder der Normalmap (siehe Abbildung 4). In der Heightmap werden nur die Höhenunterschiede gespeichert, während in der Normalmap auch unterschiedliche Richtungen der Normalen des Objektes gespeichert sind.

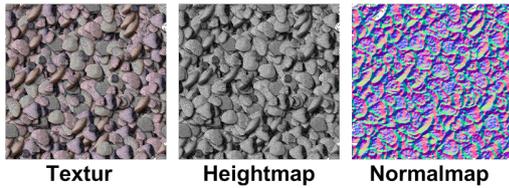


Abbildung 4: Verschiedene Texturen

Bump Mapping Texturen werden in großen Projekten fast immer aus hochauflösenden, detaillierte 3-D Modellen erstellt. Dazu wird das hochauflösende Modell mit einem deutlich schlechter aufgelösten Modell verglichen und die Unterschiede in einer Heightmap oder einer Normalmap gespeichert. Diese Textur wird dann anschließend für das Bump Mapping verwendet.

In Abbildung 5 zu sehen, wirkt das untere Modell deutlich plastischer als das obere Modell. Aber durch das Phong'sche Beleuchtungsmodell wird ein nicht natürlicher Glanz erzeugt. Daher wird das Beleuchtungsmodell im nächsten Schritt durch ein natürlicher wirkendes BRDF-Modell ersetzt.



Abbildung 5: Yoda mit Phong (o.) und mit Bump Mapping (u.)

3.2 BRDF

Während das Phong-Beleuchtungsmodell zum Beispiel für Plastik gut geeignet ist fällt jedem Menschen direkt im ersten Blick die Unnatürlichkeit im unteren Teil der Abbildung 5 auf. Haut spiegelt in der Realität nicht so stark. Daher wird nun der spiegelnde Teil des Phong-Beleuchtungsmodells

$$I_{Specular} = I_a * k_{specular} * \cos\theta$$

durch eine *BRDF* (Bidirectional Reflectance Distribution Function) ersetzt. Diese BRDF ermöglicht eine genauere Annäherung an das tatsächliche Verhalten von Licht wenn es auf Haut auftrifft. Die Umsetzung basiert dabei auf dem Kapitel **Advanced Techniques for Realistic Real-Time Skin Rendering** aus dem Buch *GPUGems 3* von Nvidia [Ngu07]. Dort kommt das Modell von Kelemen und Szirmay-Kalos zum Einsatz. Dieses wird in der Arbeit der beiden von der EUROGRAPHICS 2001 beschrieben [KSKSk01].

In dieser Methodik wird das Cook-Torrance-Modell [Geb02] vereinfacht. So beinhaltet das Modell den Fresnelterm [Wan99], die Streuung der Spiegelung und die Abschattung durch sich selbst, bei beispielsweise rauen Oberflächen. Durch mathematische Umformungen kann folgende Formel hergeleitet werden:

$$I_{Specular} = P(H) * \frac{F(\lambda, HL)}{h * h}$$

Dabei steht $P(H)$ für die Streuung der Spiegelung. In diesem Beispiel wird dazu die Beckmann-Verteilung verwendet. F ist der Fresnelterm. H und L sind die respektiven Halfway- bzw. Lichteinfallsvektoren. h wiederum ist der nicht normalisierte Halfwayvektor. Durch diese Vereinfachung lässt sich die BRDF nun relativ einfach implementieren.

Die Beckmann-Verteilung muss für dieses Verfahren nur einmalig vorberechnet und in einer Textur gespeichert werden. Danach kann sie anschließend durchgängig als Lookup-Textur verwendet werden. Eine Möglichkeit für diese Vorbereitung wird im Artikel von Nvidia [Ngu07] im Beispiel 14-2 dargestellt.

3.3 Translucent Shadow Map

Translucent Shadow Maps ist ein Verfahren, mit deren Hilfe es möglich ist den Effekt von lichtdurchlässiger Hautpartien zu simulieren (siehe Abbildung 6).

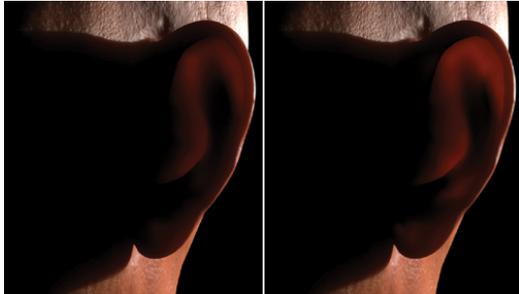


Abbildung 6: Translucent Shadow Maps anhand einer Nvidia-Demo [Ngu07]

Der Grund warum dieses Verfahren Translucent Shadow Maps heißt liegt in der Art wie diese Lichtdurchlässigkeit erzeugt wird. Die Szene wird zuerst aus dem Blickwinkel der Lichtquelle gezeichnet und eine Textur erzeugt, welche die Entfernung von einer Oberfläche zur Lichtquelle beinhaltet. Das ist genau wie bei der Erzeugung einer Shadowmap, nur das hierbei die tatsächliche Länge zum Objekt aus dem World Space berechnet wird.

Im zweiten Schritt erfolgt die eigentliche Berechnung. Es wird von der Kamera aus ein Punkt auf dem Modell berechnet und davon die Entfernung zur Lichtquelle. Mit diesem Wert und dem Wert aus der Translucent Shadow Map kann die Dicke des Models an dieser Stelle berechnet werden. In der Abbildung 7 sind nun die unterschiedlichen Entfernungen $m_1 - m_3$ zu sehen, welche die unterschiedlichen Dicken repräsentieren. An dieser Stelle muss m_3 heller eingefärbt werden als m_1 , da diese dünner ist. [Ngu07]

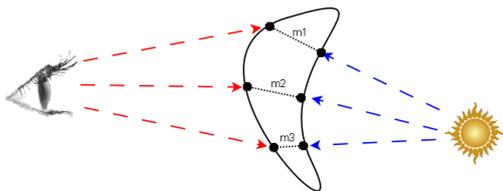


Abbildung 7: Translucent Shadow Map

Dies wird realisiert, indem an dieser Stelle die Pixelfarbe um einen Erfahrungswert aufgehellt

wird. Bei einem Menschen würde rotes Licht etwas angehoben werden, weil die beiden anderen Farbspektren Blau und Grün durch die Haut früher absorbiert werden. Im Demoprogramm wurde bei Yodas Durchscheineffekt der Grünkanal etwas aufgehellt um sein außerirdisches Erscheinungsbild zu verstärken.

3.4 Subsurface Scattering

Ein wichtiger Faktor beim Zeichnen von Haut ist die Brechung von Licht in den verschiedenen Schichten der Haut. Abbildung 8 zeigt die Realität dieses Phänomens.

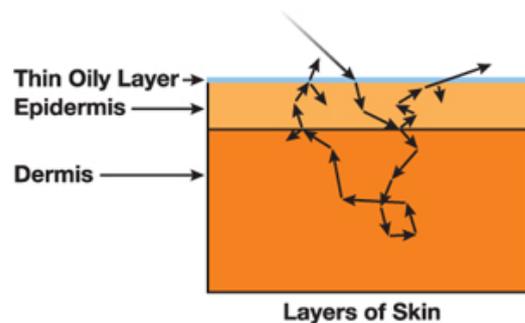


Abbildung 8: Subsurface Scattering [Ngu07]

Dabei dringt Licht an einer Stelle in die Haut ein verlässt sie aber wieder an einem komplett anderen Punkt. Ein eintreffender Lichtstrahl wird durchgängig durch alle Hautschichten zufällig in verschiedene Richtungen gebrochen und macht es daher unvorhersagbar wo er wieder austritt.

Jedoch haben Studien gezeigt [DJ05], dass die Lichtbrechung in etwa einer Gauss-Verteilung entspricht. Es ist somit möglich sich der Lichtverteilung beim Subsurface Scattering mit einem verwischen des Bildes nach Gauss anzunähern. Dabei wird jeder Farbkanal anderes verwischt um das Verhalten von Haut zu visualisieren. Eine einmalige Anwendung dieser Methode reicht jedoch bei weitem noch nicht aus.

Dieser Effekt wird normalerweise mindestens drei bis fünf Mal hintereinander angewendet und erhöht dabei konstant den Faktor, welcher zum Verwischen verwendet wird. Dadurch werden ebenso viele Grafiken erzeugt, die auf das Original aufmultipliziert werden. Damit wird eine relativ realistisch wirkende Annäherung an das reale

Subsurface Scattering erreicht.

Weitere Verbesserungen lassen sich durch ein Aufteilen des Verwischens in die horizontale und vertikale Richtung erreichen. Die Methode verwischt dann das Bild zuerst von links nach rechts und anschließend von oben nach unten.

4 Realisierung

Das Bump Mapping wurde wie im Grundlagenkapitel dargestellt realisiert.

Damit das Modell über eine realistische Beleuchtung verfügt wurde der spiegelnde Teil des Phong-Beleuchtungsmodells mit einer speziellen BRDF erzeugt. Hierbei wurde eine vorgefertigte Beckmann Texture 9 verwendet.

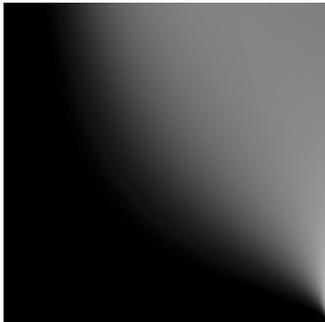


Abbildung 9: Beckmann Textur für menschliche Haut [Lee08]

Nach Weyrich [Lee08] besitzt die Haut an den verschiedenen Stellen unterschiedlich starke spiegelnde Eigenschaften, deswegen wurde eine Textur für diese variablen Eigenschaften erzeugt 10. In dieser Texturen wurde die Rauigkeit (grüner Kanal) und die Strahlungsintensität (blauer Kanal) gespeichert [Lee08].

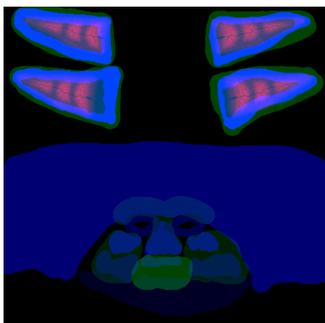


Abbildung 10: Textur für variable Specular Parameter

Damit erhält man eine deutlich realistischer Beleuchtung der Haut (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Beleuchtung ohne (l.) und mit (r.) einer BRDF

Für die Translucent Shadow Map wurde während der Realisierung eine alternative Darstellung gefunden. Dabei wurde der Durchscheineffekt mit Hilfe einer Lookup-Textur erzeugt (siehe Abbildung 12).

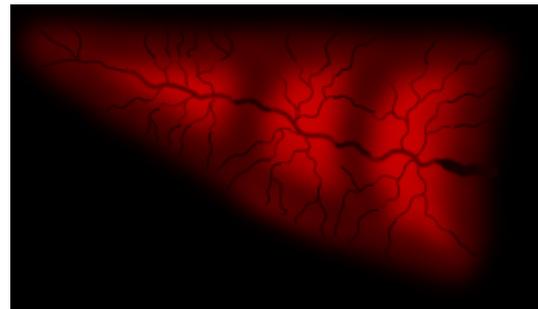


Abbildung 12: Lookup-Textur für Durchscheineffekt

Hierbei wird geprüft ob die Fläche im Schatten liegt. Falls dies der Fall sein sollte wird die Stärke des Durchscheinens berechnet. Dazu wird der Winkel φ zwischen der Lichtquelle und dem Betrachter berechnet. Bei 0° ist der Durchscheineffekt am Größten, bei kleiner -90° oder größer 90° gibt es keinen Durchscheineffekt. Der Durchscheineffekt wird in Abbildung 13 dargestellt.

Dieses Verfahren ist deutlich ressourcenschonender als die Translucent Shadow Map, da die komplette Berechnung und Speicherung der Translucent Shadow Map entfällt.

Ein weiterer Vorteil dieser Lookup-Textur liegt darin, dass beim Durchscheinen eine schönere Struktur, wie Äderchen, herausgearbeitet werden

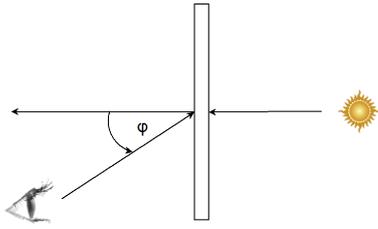


Abbildung 13: Durchscheineffekt

kann (siehe Abbildung 14).

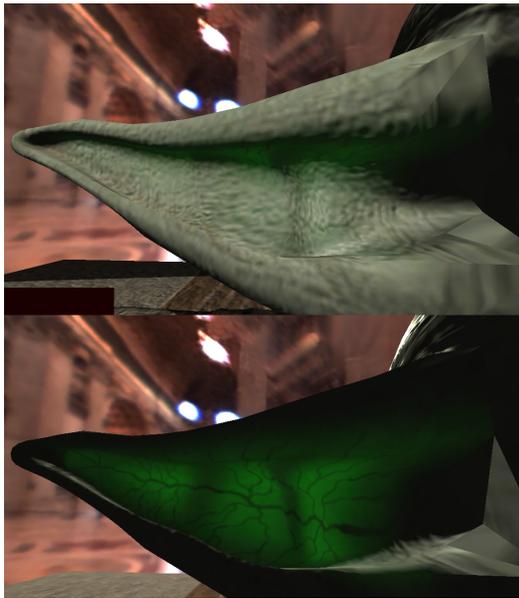


Abbildung 14: Durchscheineffekt bei direkter (o.) und entgegengesetzter Beleuchtung (u.)

Am Ende wurde noch das Subsurface Scattering realisiert, indem die Textur der Haut mit allen vorher ausgeführten Shaderteilen hernimmt und die Gauss-Verteilung mehrmals verwendet 15.

5 Ergebnis

Durch den Gebrauch dieser verschiedenen Shadertechniken ist die Haut des Modells deutlich realistischer geworden. Während das Bump Mapping und die Beleuchtung mit Phong und der BRDF relativ problemlos umzusetzen sind, konnten Fehler bei der veränderten Fassung der Translucent Shadow Map und vor allem beim Subsurface Scattering bemerkt werden.

Dieses veränderte Translucent Shadow Map Verfahren besitzt den großen Nachteil, dass nicht unterschieden werden kann ob die Haut direkt

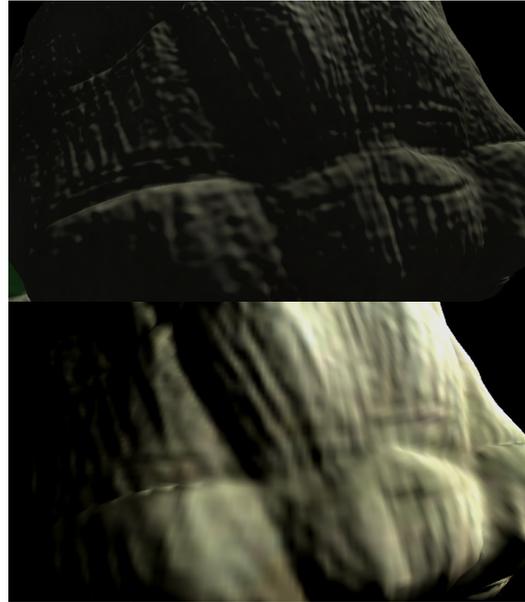


Abbildung 15: Yoda ohne (o.) und mit (u.) Subsurface Scattering

beleuchtet wird oder aber, ob das Modell im Schatten liegt. So kann es passieren, dass das komplette Modell im Schatten liegt die Haut aber dennoch teilweise durchleuchtet wird.

Ebenso muss für jedes Modell eine eigene Lookup-Textur erstellt werden, die immer geändert werden muss, wenn das Modell umgestaltet wird.

Am besten wirkt diese Methode wenn beide Verfahren miteinander kombiniert werden. So wird zuerst die Information aus der Translucent Shadow Map gelesen an welchen Stellen das Licht durchscheint, aber anstatt die Textur nur dort aufzuhellen werden zusätzlich die Information aus der Lookup-Textur verwendet.

Ein unschöner Effekt des Subsurface Scattering ist durch das Verwischen die Aufhellung der Haut (siehe Abbildung 15). Der weitaus hässlichere Effekt ist das Verwischen von Texturbereichen, welche nicht zum Modell gehören. So kann eine Farbe an den Rändern auf die eigentliche Textur hinein gewischt werden. Abbildung 16 verdeutlicht diesen, speziell am Hinterkopf des Modells, auftretenden Effekt.

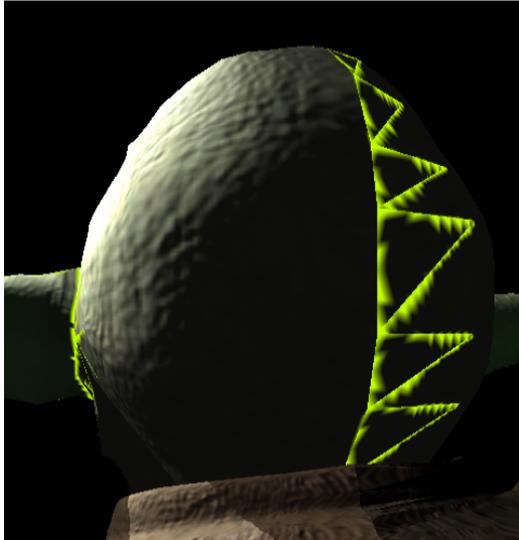


Abbildung 16: Fehler bei Subsurface Scattering

6 Zusammenfassung

Überzeugend wirkende Haut in Echtzeit zu erstellen ist ein schwieriges und komplexes Unterfangen. Gerade weil jeder Mensch bereits jede unnatürliche Kleinigkeit in diesem Bereich wahrnimmt ist es sehr schwierig mit Verfahren, welche nur aus Annäherungen bestehen zu Beeindrucken.

Jedoch gibt es heutzutage bereits Methoden und Möglichkeiten mit der man der Realität sehr nahe kommt. Es reicht vielleicht noch nicht ganz aus um eine Unterscheidung zwischen Realität und Irrealität unmöglich zu machen jedoch nähert man sich diesem Punkt kontinuierlich.

Literatur

- [BAS02] BRABEC, STEFAN, THOMAS AN-
NEN und HANS-PETER SEIDEL: *Practical shadow mapping*. J. Graph. Tools, 7(4):9–18, 2002. http://www.mpi-inf.mpg.de/~tannen/papers/jgt_02.pdf.
- [DJ05] DONNER, CRAIG und HENRIK W.
JENSEN: *Light diffusion in multi-
layered translucent materials*. ACM
Trans. Graph., 24(3):1032–1039, July
2005. [http://graphics.ucsd.edu/
papers/layered/layered.pdf](http://graphics.ucsd.edu/papers/layered/layered.pdf).
- [Geb02] GEBHARDT, NIKOLAUS: *Ei-
nige BRDF Modelle*. [http:](http://www.irrlicht3d.org/papers/BrdfModelle.pdf)

[//www.irrlicht3d.org/papers/
BrdfModelle.pdf](http://www.irrlicht3d.org/papers/BrdfModelle.pdf), 2002.

- [Jut05] JUTTNER, CARSTEN: *Echtzeit-
Verfahren zur Beleuchtung einer
computergenerierten 3D-Szene mit
Videotexturen*. [http://fhdd.opus.
hbz-nrw.de/volltexte/2005/163/
pdf/juttner_echtzeitverfahren_
zur_beleuchtung_diplom.pdf](http://fhdd.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2005/163/pdf/juttner_echtzeitverfahren_zur_beleuchtung_diplom.pdf),
2005.
- [KSKSk01] KELEMEN, CSABA, LASZLO
SZIRMAY-KALOS und LÁSZLÓ
SZIRMAY-KALOS: *A Microfacet Ba-
sed Coupled Specular-Matte BRDF
Model with Importance Sampling*.
[http://www.iit.bme.hu/~szirmay/
scook.pdf](http://www.iit.bme.hu/~szirmay/scook.pdf), 2001.
- [Lee08] LEE, SANGYOON JAMES: *Rea-
listic Skin Rendering*. [http:
//www.evl.uic.edu/sjames/cs525/
project3.html](http://www.evl.uic.edu/sjames/cs525/project3.html), 2008.
- [Ngu07] NGUYEN, HUBERT: *GPU Gems 3*.
Addison-Wesley Professional, August
2007.
- [Wan99] WANN, HENRIK; JUSTIN, JENSEN;
DORSEY, LEGAKIS JULIE: *Rendering
of Wet Materials*. [http://groups.
csail.mit.edu/graphics/pubs/
wet_materials_egwr99.pdf](http://groups.csail.mit.edu/graphics/pubs/wet_materials_egwr99.pdf), 1999.