

Eine vielschichtige Angelegenheit

Eines der Schwergewichte bei den Neuerungen im aktuellen Release der 3D-Software Cinema 4D ist eindeutig der Reflektivität-Kanal des Materialsystems. Wir schauen uns einmal genauer an, was es damit auf sich hat und wie er funktioniert.

von Arndt von Koenigsmarck

Zunächst mag man sich etwas wundern, was die Reflektivität überhaupt ist beziehungsweise was Cinema 4D unter diesem neuen Materialkanal überhaupt versteht. Das lässt sich jedoch recht schnell herleiten, wenn wir uns ansehen, welche Materialeigenschaften dafür weichen mussten, nämlich das Glanzlicht und die Spiegelung. Die Reflektivität vereint also diese beiden Eigenschaften, kann jedoch noch viel mehr, wie wir gleich sehen werden.

Was dies alles so spannend macht, klärt sich, wenn wir uns vor Augen führen, welche Bedeutung Spiegelung und Glanz für die Darstellung einer Oberfläche haben. Tatsächlich landet man dann recht schnell bei theoretischen Überlegungen, was überhaupt Glanz oder eine Spiegelung sind und wo die Grenze zu der normalen Beleuchtung einer Oberfläche durch Licht zu ziehen ist.

Wie funktioniert Licht?

Nun, ich denke, wir haben alle irgendwann einmal gelernt, dass es eine gewisse „mägische“ Komponente bei Licht gibt, die es einerseits wie eine elektromagnetische Welle und andererseits wie ein Teilchen agieren lässt, dem sogenannten Photon.

Tatsächlich ist Licht nur umfassend zu deuten, wenn beide Eigenschaften mit der Quantenfeldtheorie vereinheitlicht werden. Licht als solches ist zudem unsichtbar. Erst wenn die gerade beschriebenen Lichtquanten in unserem Auge auf entsprechend kompatible Zellen treffen, entsteht dadurch ein elektrischer Impuls in Richtung unseres Gehirns, der dort zu einer Interpretation der Lichtwirkung führt.

Dafür sind zwei unterschiedliche Zellarten verantwortlich. Die einen nehmen ausschließlich die Helligkeiten wahr, die

anderen die Farbe. Die für das Farbsehen zuständigen Zapfen benötigen mehr Helligkeit für eine Lichtanalyse. Aus diesem Grund sind nachts auch alle Katzen grau, wie man so schön sagt, weil die reduzierte Helligkeit keine volle Farbwahrnehmung mehr erlaubt. Wir fixieren deshalb bei einem Bild in der Regel die Bereiche zuerst, die eine größere Helligkeit aufweisen und damit eine eindeutige Wahrnehmung der Farben und Formen ermöglichen.

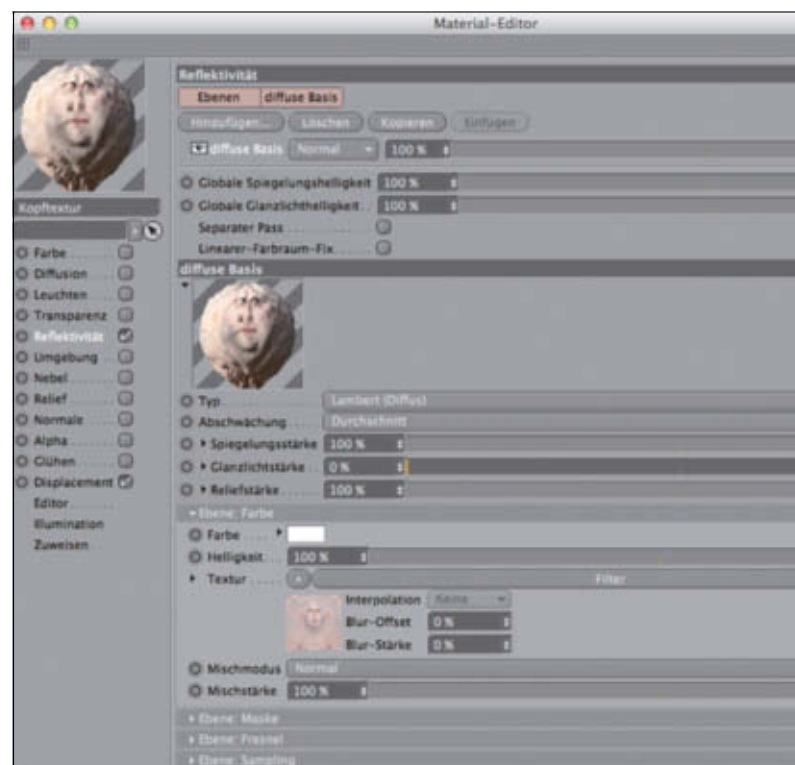
Zudem kann die Anzahl der Zellen und deren Auswertung im Gehirn von Mensch zu Mensch variieren, wodurch die Helligkeits- und Farbwahrnehmung zu einer höchst individuellen Angelegenheit wird. Gleiches gilt für das Erkennen von Gegenständen im Gehirn. Die wahrgenommenen Kontraste und Farben des Auges werden im Gehirn mit bereits bekannten Formen verglichen.

Dafür werden zumeist einfache Grundformen herangezogen, aus denen die komplexeren Formen gebildet werden. Fast wie beim Modellieren mit Grundkörpern also, aus denen auch komplexe Formen entstehen. Hinzu kommt, dass wir in

der Regel über zwei Augen verfügen und daher aus den Informationen ein räumliches Abbild interpolieren, das ja so eigentlich gar nicht existiert. Es sind ja immer nur zwei seitlich versetzt Einzelbilder, die wir aufnehmen können.

Dies alles auf den Punkt gebracht, ist der Raum zwischen uns, den Objekten und den Lichtquellen also eigentlich unsichtbar und entsteht erst im Auge respektive im Gehirn. Faszinierend, nicht wahr?

Die bedeutet auch, dass alles, was wir wahrnehmen, irgendetwas mit der Refle-



Eine diffuse Lambert-Ebene in der Reflektivität ersetzt den Farbe-Kanal und bietet zudem einen eingebauten globalen Beleuchtungseffekt.

xion von Licht zu tun haben muss. Würde das Licht nicht nach mehrfachem Abprallen zwischen den Objekten vor uns irgendwann auf unsere Netzhaut auftreffen, wäre es für uns unsichtbar und somit wären auch die Objekte vor uns nicht zu sehen. Aus diesem Grund ist die Reflektivität die wichtigste Eigenschaft einer Oberfläche, denn ohne sie könnte das Licht nicht mehr von dieser weitergeleitet und gespiegelt werden.

Licht, Glanz und Spiegelung

Die meisten 3D-Renderer versuchen diese beschriebene Lichtwirkung durch drei separate Berechnungsverfahren zu simulieren: Die Oberflächenschattierung, den Glanz und die Spiegelung. Für die Oberflächenschattierung wird der Einfallswinkel des Lichts relativ zur Senkrechten der beleuchteten Oberfläche berechnet. Dabei kommen verschiedene Berechnungsverfahren zum Einsatz, denn gerade bei mit Polygonen modellierten Körpern haben wir es ja kaum mit perfekt definierten Oberflächen zu tun. Je nach Größe und Anzahl der Polygone werden Krümmungen oft nur recht eckig angenähert, sollen später im Rendering jedoch möglichst weiche Helligkeits- und Farbverläufe darstellen. Verfahren, wie das Gouraud-Shading helfen dabei, wobei individuelle Regeln aufgestellt werden können, wie stark benachbarte Polygone noch zueinander geneigt sein dürfen, um im Rendering wie eine kontinuierliche Krümmung zu wirken. In Cinema 4D

ist dafür das Phong- beziehungsweise Glätten-Tag zuständig, in dem ein individueller Grenzwinkel für die Schattierung eingetragen werden kann. Wie hell die Oberfläche dann tatsächlich wird, hängt zudem von dem Schattierungsmodell des Materials ab, das auf dem Objekt liegt. In Cinema 4D stehen dafür die beiden Verfahren Lambert und Oren-Nayar zur Verfügung, die im Prinzip beide das gleiche tun.

Oren-Nayar hat nur gegenüber dem Lambert-Modell den Vorteil, dass die Schattierungsverläufe über einen Rauigkeit-Wert noch homogener gestaltet werden können. Die Oberfläche wirkt dadurch leicht aufgeraut und diffus, so als würde das reflektierte Licht je nach Auftreffpunkt zufällig abgelenkt. Beide Schattierungsmodelle berechnen die Lichtwirkung einer diffusen Reflexion.

Die zweite Komponente nennt sich Glanz oder Glanzlicht und ist mehr oder minder ein Kunstgriff, der so in der Realität nicht vorkommt. Viele Arten von 3D-Lichtquellen haben nämlich keine räumliche Ausdehnung. So existieren zum Beispiel Punkt- oder Spot-Lichtquellen, die lediglich eine Position und Richtung im 3D-Raum angeben, von der aus virtuelle Lichtstrahlen berechnet werden.

So ein mathematisch kleiner Punkt kann jedoch eben nicht wie die echte Sonne oder eine Glühbirne tatsächlich als Glanzpunkt auf einer Oberfläche auftauchen. Es fehlt die Information über die Größe der Lichtquelle. Daher behelfen sich viele Programme mit individuellen Einstellungen, wie groß und intensiv dieser Glanz im Material sein soll. Es handelt sich also oft um eine völlig willkürliche Einstellung, die nichts mit der Intensität oder dem Abstand der Lichtquelle vom Objekt zu tun hat.

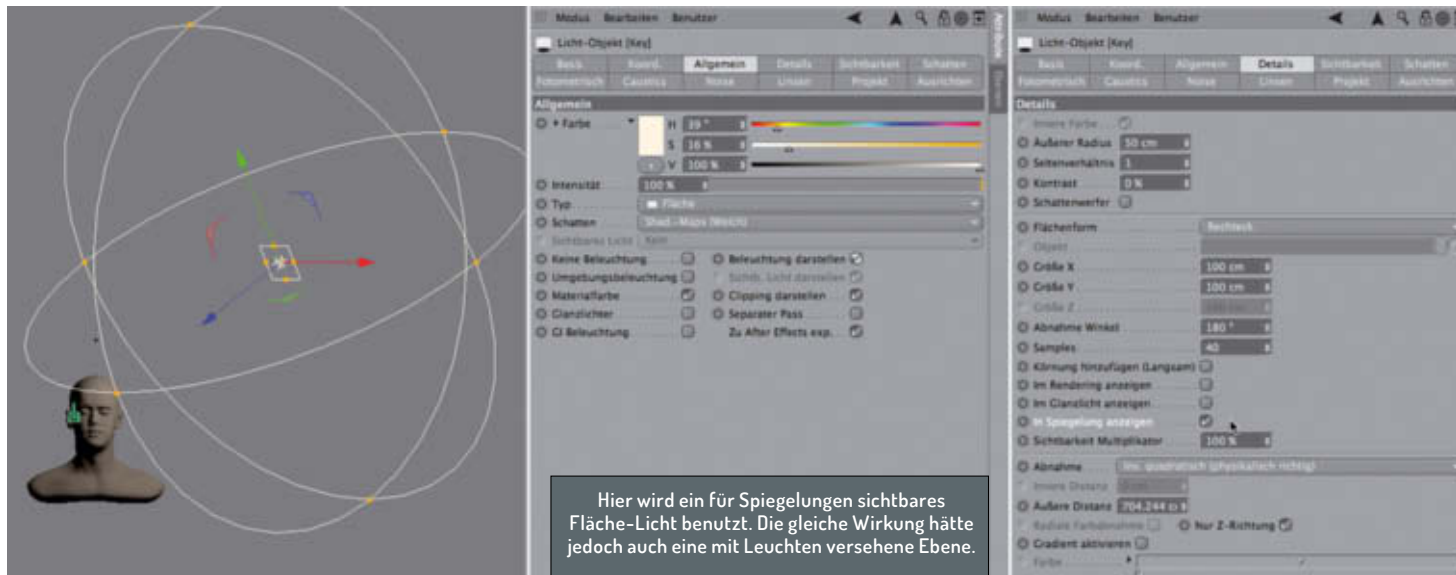
Die Lichtquelle wird ausschließlich bezüglich ihrer Position und gegebenenfalls noch ihrer Farbe ausgewertet, obwohl selbst die Farbe oft noch separat im Glanz gewählt werden kann. Um es auf den Punkt zu bringen: der Glanz ist nur ein Trick des Materialsystems, um einfachen Lichtquellen zu einer simulierten Größe zu verhelfen. Sollten Sie echte 3D-Objekte oder Formen als Lichtquellen verwenden, können Sie somit komplett auf den Glanz verzichten.

Schließlich gibt es noch die Spiegelung, die ja eigentlich wieder nichts anderes als die Weiterleitung von Licht darstellt, das diesmal jedoch von umliegenden Objekten stammt. 3D-Programme unterscheiden daher zwischen

direktem und indirektem Licht. Dies ist aus der Not geboren, da die Simulation von zwischen Objekten ausgetauschtem Licht viel aufwendiger zu berechnen ist als die Berechnung des Einfallswinkels von Licht, das von einer Lichtquelle direkt auf eine Oberfläche trifft. Jede Lichtreflexion führt



Links das verwendete Modell ohne Material und Licht, rechts mit dem aktiven Reflektivitäts-Kanal und einem in Spiegelungen sichtbaren Fläche-Licht



Hier wird ein für Spiegelungen sichtbares Fläche-Licht benutzt. Die gleiche Wirkung hätte jedoch auch eine mit Leuchten versehene Ebene.



Oben: Erweitern der Szene mit Aufhell- und Streiflicht, wieder als Fläche-Lichter

Unten: Die Wirkung einer Reflektivität-Ebene mit unterschiedlicher Rauigkeit über der diffusen Lambert-Ebene



schließlich zu einer zusätzlichen Streuung in Abhängigkeit der Oberflächengüte sowie zu einem Weitertransport von Farben.

Beides kann mit speziellen Rechenmethoden wie der globalen Illumination aufwendig simuliert werden. Diese kann jedoch nur reale Ergebnisse liefern, wenn auch die verwendeten Lichtquellen real sind, also über eine echte Größe verfügen. Oft werden daher gar keine klassischen 3D-Lichtquellen verwendet, sondern echte Objekte, die mit leuchtenden Materialeigenschaften versehen werden. Das Leuchten sorgt in diesem Zusammenhang dafür, dass eine Oberfläche losgelöst von der Beleuchtung umliegender Objekte eine individuelle Helligkeit erhält, die dann durch die diffuse Spiegelung auf uns wie Licht wirkt.

Der Alles-in-einem-Kanal

Ich hoffe, ich konnte Ihnen durch den kleinen Exkurs die Augen öffnen, weshalb die Reflektivität eines Materials so wichtig für dessen

Darstellung und Wirkung auf uns ist. Tatsächlich können wir nämlich nahezu alle sichtbaren Eigenschaften eines Objekts ausschließlich über dessen Reflektivität beschreiben. Die einzige Ausnahme bildet die Lichtbrechung, denn dabei kommt es zu einer Ablenkung des Lichts unter die Oberfläche des Objekts. Dafür brauchen wir weiterhin oft den separaten Transparenz-Kanal, der jedoch ebenfalls eng mit der Reflektivität verzahnt ist.

Geht es uns also um eine möglichst realistische 3D-Visualisierung, müssen drei Eigenschaften zusammenkommen: Die Objekte müssen über genügend Unterteilungen und somit Polygone verfügen, damit besonders die Krümmungen perfekt schattiert dargestellt werden können und die Objekte in der Silhouette nicht kantig oder eckig wirken. Anschließend müssen wir uns Gedanken über die Form, Größe und den Abstand der Licht-Objekte von den Objekten machen. Die Größe und Form dieser Objekte beeinflusst nicht nur die Schattierung und die Spiegelung der Lichtquelle auf der Ober-

fläche (Glanz), sondern auch die Berechnung des Schattens.

Je größer eine Lichtquelle ist, desto weicher ist zwangsläufig deren Licht und auch deren Schattenwurf. Wie Sie aus den theoretischen Überlegungen vom Anfang dieses Artikels wissen, ist der Schatten ja im Prinzip nur das Fehlen von Lichtreflexionen.

Die letzte noch fehlende Komponente zu unserem 3D-Glück ist die physikalische Simulation des Materialaufbaus. Wie Sie schon erahnen, kommt hier nun unser neuer Reflektivität-Kanal ins Spiel, denn damit können wir mehrere Ebenen übereinander anlegen und mit individuellen Eigenschaften belegen. So lässt sich die Basisebene dieses Materialkanals zur Simulation des direkten und des diffusen Lichts nutzen. Eine zweite Ebene darüber ergänzt die direkte Spiegelung, wie sie etwa bei Metallen, bei lackierten oder schlicht bei perfekt glatten Oberflächen vorkommt. Das einfallende Licht wird also nicht zufällig gestreut, sondern behält gemäß dem Gesetz „Einfallswinkel ist gleich Ausfallswinkel“

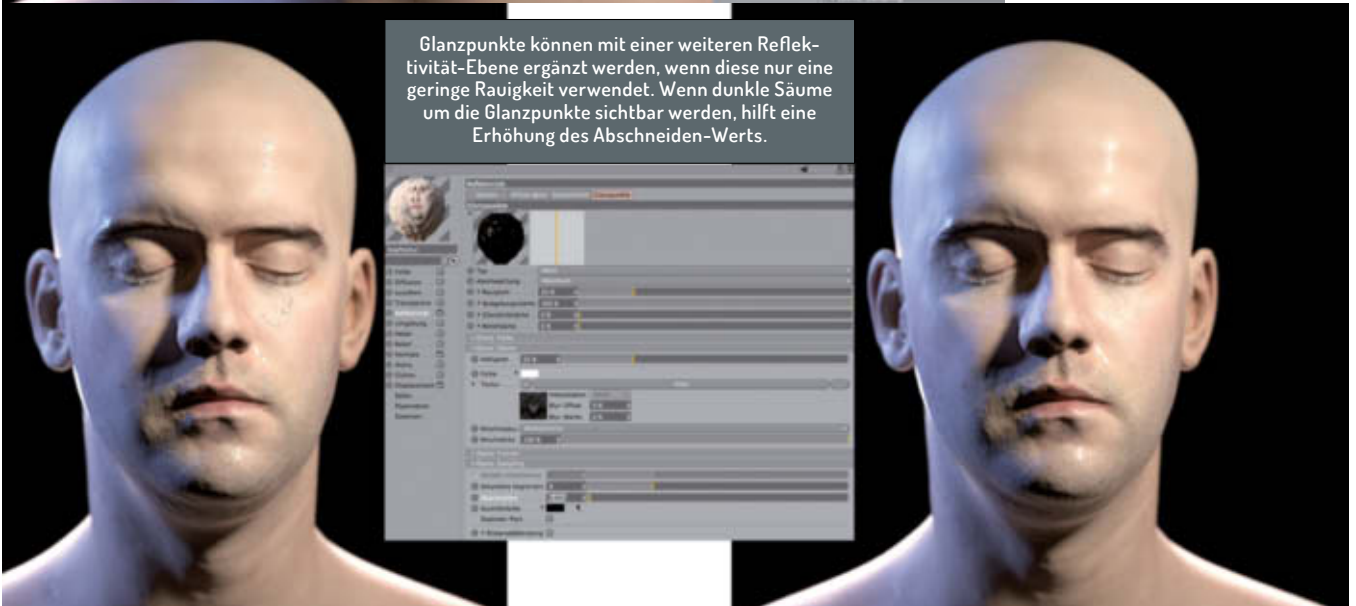


Variation der Glanzebene durch den Fresnel-Effekt des Reflektivität-Kanals

die Option für die Sichtbarkeit der Lichtquelle in Spiegelungen aktivieren.

Die Lichtquelle wird seitlich und schräg von oben beleuchtend vor dem Kopf platziert und leicht gelblich eingefärbt. Im Material des Kopfs deaktivieren wir den Farbe-Kanal. Dadurch kann das Licht selbst der Form nichts mehr anhaben. Der Kopf bliebe ohne den Reflektivitäts-Kanal einfach nur schwarz. In der Reflektivität schalten wir nun jedoch die bereits vorhandene Ebene um auf den Typ Lambert (Diffus) und laden die Farbtextur des Kopfes in den Bereich „Ebene: Farbe“ hinein. Die Spiegelungsstärke wird auf 100 Prozent erhöht und die Glanzlichtstärke auf 0 Prozent reduziert.

Ein erstes Testrendering wirkt bereits vielversprechend. Wer



Glanzpunkte können mit einer weiteren Reflektivität-Ebene ergänzt werden, wenn diese nur eine geringe Rauigkeit verwendet. Wenn dunkle Säume um die Glanzpunkte sichtbar werden, hilft eine Erhöhung des Abschneiden-Werts.

nahezu seine ideale Reflexionsrichtung bei. Dabei kann stufenlos zwischen der diffusen und der direkten Reflexion gemischt werden. Damit lassen sich alle denkbaren Oberflächenqualitäten simulieren. Schauen wir uns dies einmal in einem konkreten Fall an.

Es ist nicht alles Gold, was glänzt

Als kleine Beispielszene habe ich mir den eingescannten Kopf von Lee Perry-Smith von Infinite-Realities vorgeknöpft (www.ir-ltd.net), der samt Texturen bereits im Content Browser von Cinema 4D zu finden ist. Ansonsten ist dieses Modell samt den Texturen auch frei im Internet verfügbar (graphics.cs.williams.edu/data/meshes.xml).

Der Grundaufbau des Materials ist denkbar einfach. Wir benötigen nur den Reflektivitäts-Kanal, wobei in diesem Fall zusätzlich ein Displacement und eine Normal-Map für eine detailreiche Oberfläche sorgen. Mit der eigentlichen Farbwirkung haben diese Eigenschaften jedoch nur indirekt zu tun.

Zuerst setzen wir nun ein Hauptlicht in Form einer quadratischen Fläche-Lichtquelle mit einer invers quadratischen Lichtabnahme und einem weichen Schattenwurf. Dabei mag Sie anfänglich etwas verwirren, dass sowohl die Helligkeit des Lichts als auch der Schatten selbst für uns erst im zweiten Schritt eine Rolle spielen werden. Tatsächlich werden wir zunächst nämlich nur die Helligkeit der Form selbst benutzen, indem wir in den Detail-Einstellungen des Lichts

genau hinsieht erkennt, dass die Schattierung nicht nur wie ein beleuchteter Farbe-Kanal wirkt, sondern noch weitere Vorteile bietet. So sorgt die diffuse Spiegelung gleichzeitig dafür, dass Licht zwischen den Oberflächen ausgetauscht wird. Der Kopf wirkt daher automatisch wie mit globaler Illumination beleuchtet, obwohl dieser Effekt nicht benutzt wird. Zudem erhalten wir natürlich wirkende Schatten, obwohl die Lichtquelle nur eine simple Schatten-Map verwendet. Selbst wenn wir die Berechnung des Schattens ganz ausschalten, bleibt dieser Effekt erhalten. Wie bereits eingangs theoretisch erläutert, ist nur die Leuchtkraft der in Spiegelungen sichtbaren Lichtquelle und deren Form und Größe für die Schattierung und auch den Schatten verantwortlich.

Sehr angenehm ist zudem, dass die Rechenzeit zwar gegenüber der einfachen Nutzung des Farbe-Kanals ansteigt, jedoch unabhängig von der Anzahl der verwendeten Lichtquellen nahezu konstant bleibt. Auch ist es gar kein Problem, anstatt der Lichtquelle zum Beispiel ein Himmel-Objekt mit einem HDRI- als leuchtender Textur zu verwenden. Dem Material geht es nur um die Helligkeit der Flächen oder Objekte, die sich spiegeln können.

Auf dieser Reflektivität-Basis-Ebene können nun noch beliebig viele zusätzliche Ebenen verwendet werden, die dann eine weniger stark gestreute Spiegelung darstellen. Dies wirkt dann auf uns wie der übliche Glanz. Die Rauigkeit-Einstellung variiert dabei die Streuung und somit die Größe und Intensität. Damit dieser Glanz später nicht wie eine Folie oder

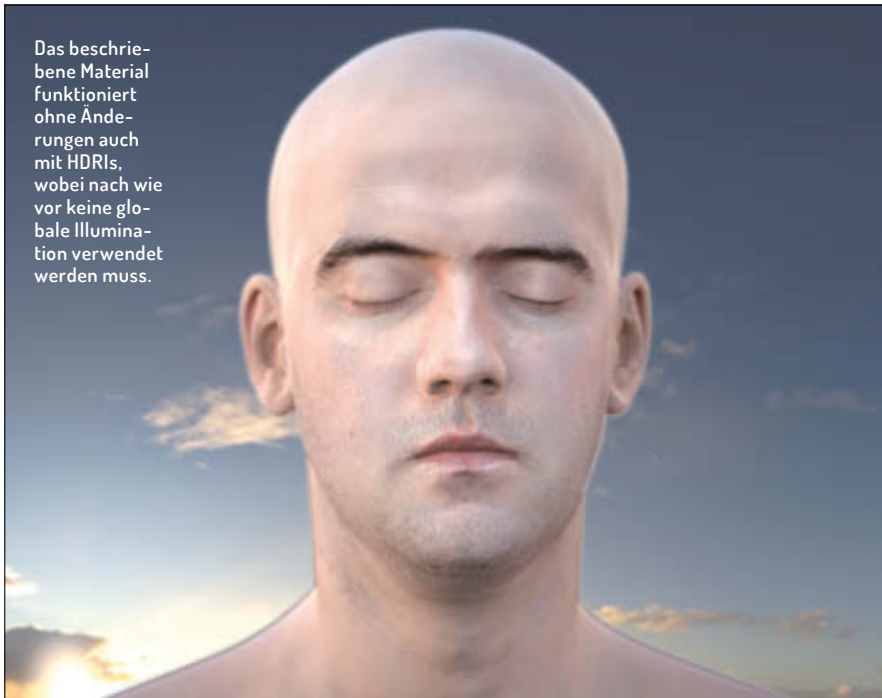
Lackierung wirkt, sollten wir dessen Stärke zusätzlich variieren. Dies kann zum Beispiel über die „Ebene: Fresnel“ erreicht werden, indem dort das Preset für Wasser aus den dielektrischen Voreinstellungen gewählt wird. Dies dürfte dem Schweiß, also dem Glanz der Haut, am ehesten gerecht werden.

Eine dritte Ebene in der Reflektivität sorgt mit weiter reduzierter Rauigkeit und einer eventuellen Graustufen-Bitmap als „Ebene: Maske“ für die harten Glanzlichter auf traditionell besonders glänzenden Abschnitten des Gesichts wie Stirn oder Nasenrücken.

Dabei könnte Ihnen auffallen, dass um diesen Glanz herum ein Abdunklung entsteht. Diese hat mit der schwarzen Umgebung des Kopfs zu tun, ist jedoch in den Griff zu bekommen.

Erhöhen Sie dazu einfach den Abschneiden-Wert unter „Ebene: Sampling“ leicht. Dieser sorgt dafür, dass sich jetzt nur noch

Das beschriebene Material funktioniert ohne Änderungen auch mit HDRIs, wobei nach wie vor keine globale Illumination verwendet werden muss.



Subsurface Scattering kann zusätzlich über den Leuchten-Kanal ergänzt werden. Links sehen Sie den SSS-Effekt alleine, rechts in Kombination mit der Reflektivität.

Dinge spiegeln können, die heller als der hier angegebene Wert sind. Wir konzentrieren uns daher in den Spiegelungen dieser obersten Ebene nur auf das intensive Leuchten der in den Spiegelung sichtbaren Lichtquellen. Ein Wert von 0.01 sollte hier schon ausreichen.

Ordentlich auf die Ohren

Die Schattierung durch Licht oder HDRIs kann auf diesem Wege bereits wunderbar umgesetzt werden. Die bei Haut typische Transluzenz wird jedoch vernachlässigt. Hierfür benötigen wir den Subsurface-Scattering-Shader im Leuchten-Kanal des Materials. Da dieser nur auf Licht reagiert, war es überhaupt nötig, die Lichtquellen tatsächlich auch auf die Materialfarbe wirken zu lassen, obwohl unser Material den Farbe-Kanal ja gar nicht nutzt.

Nur eine Spielerei? Aber nicht doch!

Das demonstrierte Prinzip lässt sich universell und somit auf allen Materialien anwenden. Einziger Haken mag die gegenüber der Nutzung des Farbe-Kanals längere Renderzeit sein. Wenn Sie jedoch sowieso matte Spiegelungen oder gar globale Illumination verwenden wollten, relativiert sich dieser Nachteil schnell wieder und kann sogar bessere und leichter zu handhabende Ergebnisse bringen. So kann es hier zum Beispiel nicht zum Flackern der Helligkeiten oder zu Renderartefakten auf den Oberflächen kommen, was bei nicht perfekt angepassten Global-Illumination-Einstellungen in Verbindung mit Animationen durchaus vorkommt. Alle Reflektivität-Ebenen können zudem als Multi-Passes ausgegeben werden, was die Weiterverarbeitung zusätzlich erleichtert. > ei

Nachdem nun also der Subsurface-Scattering-Shader im Leuchten-Kanal geladen wurde, laden Sie eine zumeist rötlich verfärbte Variante der Hauttextur in den Shader-Bereich. Passen Sie die Pfadlänge so an, dass diese ungefähr der maximalen Entfernung entspricht, die das Licht unterhalb der Haut zurücklegen kann, bevor es zu stark gestreut und abgeschwächt wird, um noch sichtbar zu bleiben. Die Kombination mit dem Reflektivität-Kanal bringt dann das erhoffte Ergebnis. Sehr praktisch dabei ist, dass die Lichtwirkung von Lichtquellen nicht unbedingt der Leuchtkraft der Flächenform der Lichtquelle entsprechen muss. Über den Sichtbarkeit-Multiplikator der Lichtquellen können zum Beispiel auch starke Lichtquellen nur wenig auf Spiegelungen wirken oder schwache Lichtquellen erscheinen viel intensiver in einer Spiegelung.