

2.4.3 Wirklichkeitsnahe Darstellung

Licht ist ein unsichtbares Medium. Man nimmt es nicht direkt visuell wahr, sondern sieht eigentlich nur die Wirkung des Lichts als Helligkeitsverläufe auf Oberflächen. Diese Helligkeitsverläufe basieren auf komplexen physikalischen Reaktionen, wie Licht und Material miteinander reagieren. Diese Reaktionen laufen so schnell ab, dass der Mensch eigentlich gar nicht wahrnimmt, dass sich Licht „ausbreitet“.

Auch wenn die Entwicklungen auf dem Gebiet der Hard- und Software mittlerweile weit vorangeschritten sind, kann eine Computersimulation diese komplexen Vorgänge nicht vollständig nachbilden. Die Wirklichkeit wird vielmehr bei der Transformation in ein berechenbares Modell vereinfacht. Diese Vereinfachung bestimmt die Wirklichkeitsnähe der Darstellung und betrifft die Definition der Lichtquellen und des Materials. Für die Berechnung der Lichtverteilung stehen zwei Verfahren zur Verfügung, die „lokale“ und die „globale“ Beleuchtung. Letztere ist zeitaufwendiger, weil sie auch das indirekte Licht berücksichtigt, bringt aber die realistischeren Ergebnisse.

2.4.3.1 Die physikalische Lichtausbreitung

Nach dem Einschalten eines Lichts in einem dunklen Raum erscheint uns sofort ein konstanter Helligkeitseindruck. In diesen Sekundenbruchteilen sind aber komplexe Vorgänge abgelaufen (Abb. 48). Dazu definiert eine physikalische Theorie der Lichtausbreitung das Licht als Teilchen (Photonen), die

- von Lichtquellen in den Raum ausstrahlen. Deren Ausbreitung erfolgt anhand der spezifischen Lichtverteilung elektrischer und natürlicher Lichtquellen.
- anschließend auf Oberflächen treffen, mit denen sie komplexe Wechselwirkungen eingehen (Absorption, Reflektion und Transmission).
- von dort wieder in die Umgebung zurückstrahlen (indirektes Licht) und auf weitere Oberflächen treffen.
- letztlich einen Zustand erreichen, der als Energiegleichgewicht bezeichnet wird.

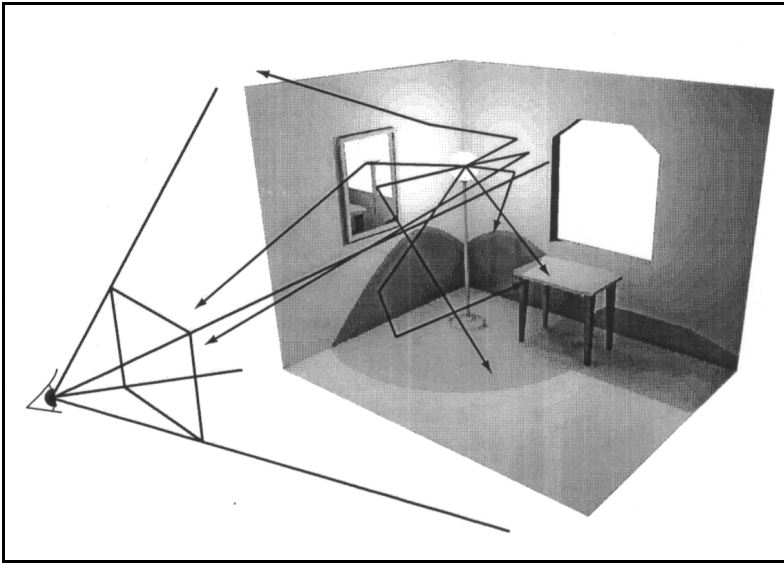


Abb. 48 Der Weg des Lichts von der Lichtquelle über die Oberflächen zum Auge, aus: [AUT-99]

Material hat grundsätzlich drei Einflüsse auf das einfallende Licht. Es kann es reflektieren, durchlassen oder absorbieren (Abb. 49). Jedes Material zeichnet sich durch eine andere Zusammensetzung dieser Eigenschaften aus.

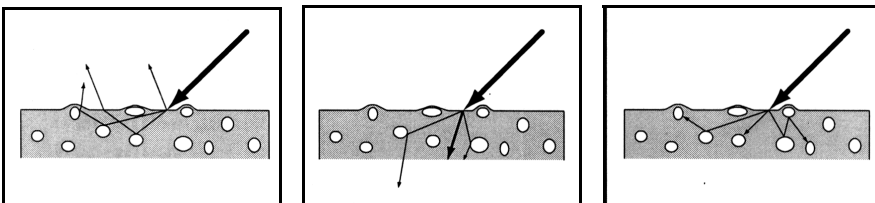


Abb. 49 Reaktion von Licht und Material: Reflexion, Transmission und Absorption (v.l.n.r), , aus: [AUT-99]

Licht wird reflektiert, wenn die Photonen von einer Oberfläche zurück in die Umgebung geworfen werden. Dabei kann es unmittelbar an der Oberfläche, also an der Grenzfläche zwischen dem Medium Luft und dem Material zurückgeworfen werden oder auch unterhalb der Grenzfläche, also innerhalb des Materials. Das zurückgeworfene Licht wird durch *spekulare* und *diffuse Reflektion* gebildet. Ein Spiegel bewirkt einen hohen Anteil spekularer Reflektion, während eine matt gestrichene Wand das Licht diffus reflektiert.

Bei der „diffusen Reflexion“ werden zwei Typen unterschieden – die *gleichmäßig diffuse* und die *gerichtet diffuse* (Abb. 50). Bei der gleichmäßig diffusen Reflexion wird das Licht gleichmäßig in alle Richtungen gestreut, während bei der gerichtet diffusen Reflexion, die auch manchmal als *spekularer Glanz* bezeichnet wird, das Licht in bestimmten Winkeln zurückgeworfen wird. Im Gegensatz zu der spekularen

Reflexion ergibt dies keine klare Reflexion wie bei einem Spiegel, sondern Glanzpunkte, wie z.B. auf einem metallischen Türknopf.

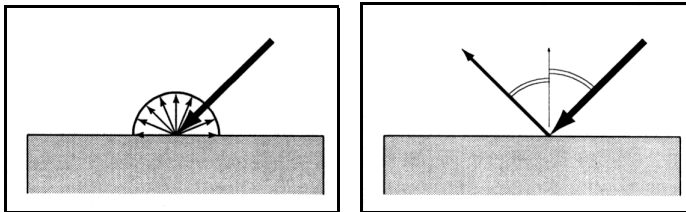


Abb. 50 Reflexionstypen: Diffus und gerichtet (v.l.n.r.), , aus: [AUT-99]

Licht wird transmittiert, wenn die Photonen in das Material eintreten und an der anderen Seite wieder austreten. Lichtstrahlen werden beim Eintritt in ein transmittierendes Medium abweichender Dichte – so z.B. von Luft in Glas und wiederum von Glas in Luft – gebrochen, d.h. in ihrer Richtung verändert. Bei Körpern mit parallelen Flächen ergibt sich hierbei eine parallele Verschiebung des Lichts. Auch das austretende Licht setzt sich aus einem Anteil *spekularer* und *diffuser Transmission* zusammen. Je steiler der Winkel des einfallenden Lichts und je kleiner der Brechungsindex, desto mehr Licht gelangt in das Material. Die meisten Materialien haben einen Brechungsindex zwischen 1 und 1,5 (Glas). Klares Glas hat einen hohen Anteil spekularer Transmission, während Milchglas einen hohen Anteil an diffuser Transmission hat.

Absorbiertes Licht sind die Photonen, die in das Material eindringen und dort bleiben, also weder reflektiert noch transmittiert werden. Nach dem Energieerhaltungssatz geht die Licht-Energie aber nicht verloren, sondern wird stattdessen in thermische oder chemische Energie umgewandelt.

Die meisten Materialien haben einen Anteil an diffuser und spekularer Reflexion, deren Verhältnis untereinander von der Glattheit der Oberfläche, sowie vom Winkel des einfallenden Lichts und vom Brechungsindex abhängt. Je glatter die Oberfläche und je flacher der Einfallswinkel des Lichts, desto höher ist der Anteil der spekularen Reflexion bzw. Transmission. Je rauher eine Oberfläche ist, desto mehr Licht wird diffus reflektiert oder durchgelassen, bis es bei einer sehr rauhen Oberfläche fast nur diffus reflektiert bzw. transmittiert wird (Abb. 51).

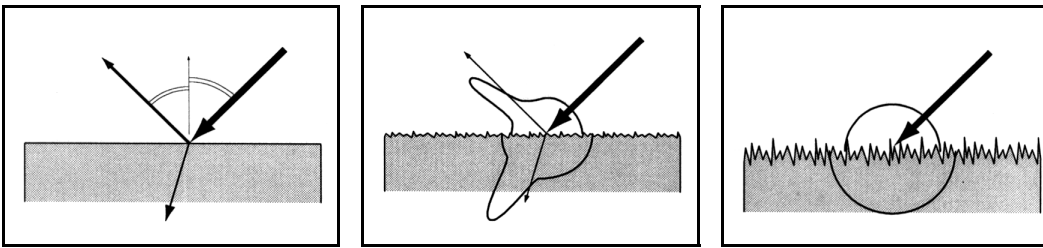


Abb. 51 Reflexion und Transmission bei unterschiedlich rauhen Oberflächen, aus: [AUT-99]

Der Grad der Reflektion ist aber nicht nur von der Rauigkeit der Oberfläche abhängig, sondern auch vom Materialtyp, der bei unterschiedlichen Wellenlängen des einfallenden Lichts unterschiedliche Reflektionsgrade ergibt (Reflexions- Spektrum, Abb. 52).

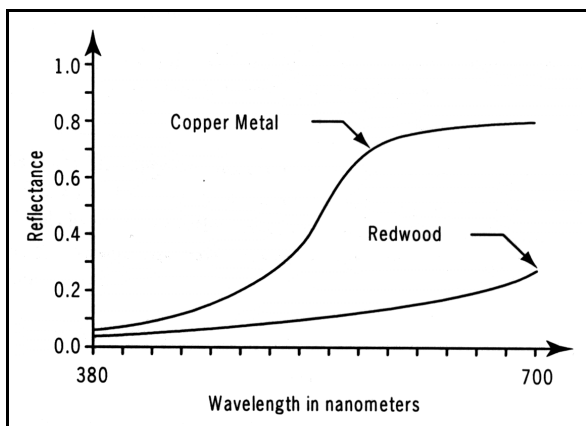


Abb. 52 Der Reflexionsgrad bei Metallen ist abhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichts, aus: [GAN-92]

Das Tageslicht setzt sich sowohl aus dem direkten, gerichteten Sonnenlicht, als auch aus dem diffusen Licht des bedeckten oder klaren Himmels zusammen. Dabei liegen die Beleuchtungsstärken des Tageslichts weit über denen der künstlichen Beleuchtung. Die Strahlungsstärke der einzelnen Wellenlängen ist kontinuierlich und die Lichtfarbe liegt im tageslichtweißen Bereich.

Das Spektrum des künstlichen Lichts von Leuchten kann drei unterschiedliche Zusammensetzungen haben, das *kontinuierliche* des Tageslichts (Temperaturstrahler) sowie das *Linien-* (Niederdruckentladung) und *Bandenspektrum* (Hochdruckentladung). Somit ergeben sich unterschiedliche Lichtfarben und Farbwiedergabequalitäten (Abb. 53).

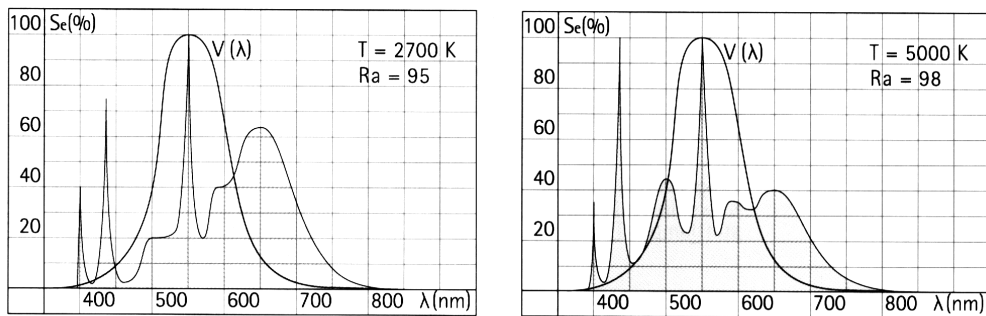


Abb. 53 Relative spektralen Verteilungen gebräuchlicher Leuchtstofflampen mit sehr guter Farbwiedergabe im Vergleich zum sichtbaren Bereich, links Lichtfarbe warmweiß, rechts tageslichtweiß, aus: [GAN-92]

Der Lichtstrom wird in der Regel nicht gleichmäßig in alle Richtungen abgegeben, sondern ergibt sich aus dem Aufbau des Leuchtmittels und der bewussten Lenkung durch z.B. Reflektoren. Die räumliche Verteilung der Lichtstärke einer Lichtquelle (Lichtstärkeverteilungskörper) wird als Lichtstärkeverteilungskurve (Schnitt) angegeben, die die Verteilung in einer oder mehreren Ebenen darstellt. Die Lichtstärke, bezogen auf 1000 Lumen [lm] Lichtstrom, wird dabei meist in einem Polarkoordinatensystem als Funktion des Ausstrahlungswinkels eingetragen (Abb. 54).

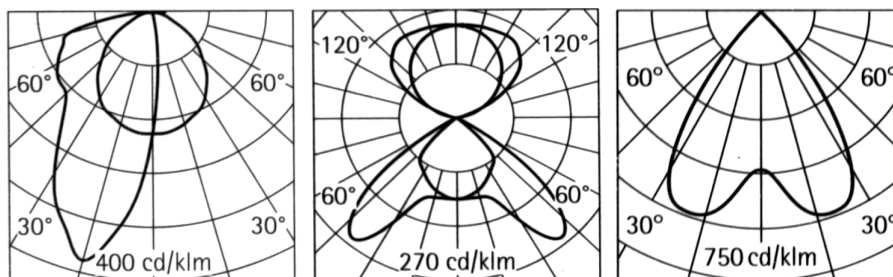


Abb. 54 Lichtverteilungskurve eines Wandfluters, einer direkt/indirekt strahlenden Lichtstruktur und eines Downlights v.l.n.r., aus: [GAN-92]

2.4.3.2 Berechnungsverfahren

Verfahren haben die Aufgabe aus der Geometrie, der Beleuchtung und den Informationen zum Material ein Bild vom Modell darzustellen. Die Darstellung reicht dabei von einer einfachen Drahtmodell-darstellung bis hin zu photorealistischen Renderings mit mehreren Stunden Berechnungszeit. Es gibt drei Gruppen von Darstellungsverfahren [FOL-90], [NEW-86]:

- Liniendarstellungen (Drahtmodell- und Verdeckte Linien)
schnellste Berechnung; Arbeitseinstellung in den meisten CAD-Programmen
- Schattierungen (Solid-, Flat-, Gouraud- und Phong-Shading)
differenzieren Material und Beleuchtungen aber keine Schatten, Spiegelungen und indirekte Lichtreflexionen; wird auch als „lokale Beleuchtung“ bezeichnet; Standard bei CAD-Visualisierungsprogrammen; schnelle Berechnung, wird überwiegend von der Grafikkarte in Echtzeit übernommen
- Renderingverfahren (Raytracing, Radiosity)
noch detailliertere Differenzierung von Material und Beleuchtungen; Schatten, Spiegelungen und indirekte Lichtreflexionen möglich; wird auch als „globale Beleuchtung“ bezeichnet; rechenintensiv, keine Echtzeitdarstellung möglich; nur durch spezielle Simulationsprogramme zu erreichen

Für Liniendarstellungen wird nur die Geometrie berücksichtigt. Beleuchtung und Material wird nicht differenziert. In der einfachsten Darstellung überhaupt, der Drahtmodell-darstellung (*Wireframe*), wird noch nicht einmal unterschieden, ob zwischen den Linien Flächen existieren. Ein wirkliches Drahtmodell kann nicht von einem geschlossenen Körper unterschieden werden (Farbtafel A5.33). Material kann nur über eine entsprechende Farblichkeit der Linien dargestellt werden. Die Drahtmodell-darstellung verlangt den geringsten Rechenaufwand und ist häufig die Arbeitseinstellung bei CAD-Programmen.

Einen Schritt weiter geht die Verdeckte Linien Darstellung (*Hidden line*) (Farbtafel A5.34). Hier kann überprüft werden, ob die Linien Flächen aufspannen und ob sie ein Volumen bilden. Es bleibt jedoch weiterhin bei einer linienorientierten Darstellung, d.h. Materialangaben können nur durch farbige Linien dargestellt werden.

Flächige Darstellungen können nur durch eine Schattierung erreicht werden, bei denen die Materialinformationen erstmals auch auf die Flächen übertragen werden. Für die Helligkeitsabstufung auf den Flächen sind Informationen zur Beleuchtung notwendig.

Das *Solid Shading* ignoriert diese Informationen, was zu verwirrenden Darstellungen führt, weil die Flächen zwar farbig, aber ohne Helligkeitsabfall angelegt sind. Nichts kann darauf hindeuten, dass es sich bei den Volumen hier wirklich um Volumen handelt und nicht um flächige Kulissen. Eine Kugel sieht mit diesem Shading genauso aus wie eine Scheibe (Farbtafel A5.35). Nur im sogenannten *Solid-outlined Shading* bekommt man durch die zusätzliche Einblendung der Flächenbegrenzungskanten einen räumlichen Eindruck (Farbtafel A5.36).

Die nachfolgenden Shading-Verfahren berücksichtigen erstmals auch die Informationen zur Beleuchtung. Damit kann dann jede einzelne Fläche anhand ihrer Orientierung zur Lichtquelle eine individuelle Helligkeit bekommen, womit erstmals Aussagen zur räumlichen Ausdehnung eines Körpers zugelassen werden.

Das *Flat-Shading* ermittelt für jede Fläche einen konstanten Helligkeitswert. Er ist abhängig von seiner Oberflächenbeschaffenheit, Orientierung und Abstand zur Lichtquelle sowie deren Intensität. An den Flächenkanten entstehen dadurch Helligkeitssprünge. Runde Körper, die aus facettierten Oberflächen bestehen, wirken daher wie kantige Vielecke (Farbtafel A5.37).

Rund wirken solche Oberflächen erst, wenn der Helligkeitsverlauf auch über die einzelnen Facetten ohne sichtbare Sprünge verläuft, wie es im *Gouraud-* oder *Phong-Shading* möglich ist (Farbtafel A5.38).

Diese Shadings können jetzt auch unterschiedliche Beleuchtungen differenzieren. Das einfachste ist das *ambiente Licht*, das immer vom Beobachter ausgehend in das Modell scheint. Objekte werden also immer frontal angeleuchtet, was das räumliche Erkennen der Objekte erschwert (Farbtafel A5.38).

Erst mit dem *Parallellicht* kann man dem Licht gezielt eine Richtung geben (Farbtafel A5.39), so z.B. die Volumen seitlich beleuchten. Mit dem *Punkt-*, bzw. *Spotlight* kann man eine Lichtquelle auch in jeder Stelle im Raum positionieren bzw. beliebig ausrichten und darüberhinaus auch eine realistische Lichtabnahme erzielen (Farbtafel A5.40).

Allen diesen vorgenannten Schattierungen ist jedoch gemein, dass sie nur den direkten Anteil des Lichts in Betracht ziehen und damit wichtige Aspekte einer photorealistischen Darstellung nicht abbilden können. Dazu gehört in erster Linie, dass Objekte nicht nur schattiert werden, sondern auch Schatten werfen, Licht reflektieren und damit andere Objekte zusätzlich anleuchten oder die Lichtausbreitung zu anderen Objekten behindern oder in Teilen durch das Objekt hindurch gehen.

Mit den Rendering Verfahren *Raytracing* oder *Radiosity* lässt sich der Grad des Fotorealismus entscheidend steigern. Allerdings werden auch höhere Anforderungen auf die Exaktheit der Geometrie und die Leistungsfähigkeit der Hardware gestellt. Antwortzeiten im Sekundenbereich oder sogar in Echtzeit sind hier bei den Berechnungen nicht zu erwarten. Beide Render-Verfahren unterscheiden sich hauptsächlich darin, dass beim Raytracing zusätzlich die Position in die Berechnung und ein Standbild berechnet wird, während bei Radiosity das Licht unabhängig von der Betrachterposition berechnet wird und sich anschließend zur Echtzeitbegehung eignet.

Raytracing ist eines der ersten Berechnungsverfahren zur globalen Lichtausbreitung. Es basiert auf der Aussendung von Strahlen, die vom Auge des Benutzers (durch die Bildschirmmatrix) in das CAD-Modell gesandt werden, bis sie auf Oberflächen auftreffen. Dort wird anhand der Materialeinstellungen die Reflexion, Transmission und Absorption berechnet.

Bei der Ermittlung der Helligkeit an diesem Punkt gibt es verschiedene Ansätze. Der klassische Raytracer berücksichtigt nur das direkte Licht. Er schickt von dort Suchstrahlen in Richtung der Lichtquellen aus (*Shadow Rays*), die ihn Informationen zur Helligkeit der Lichtquellen geben. Für den Punkt kann er nur dann eine Helligkeit ermitteln, wenn die shadow rays nicht durch andere Objekte unterbrochen werden. Erreicht kein shadow ray eine direkte Lichtquelle, bleibt dieser Punkt schwarz (Abb. 55).

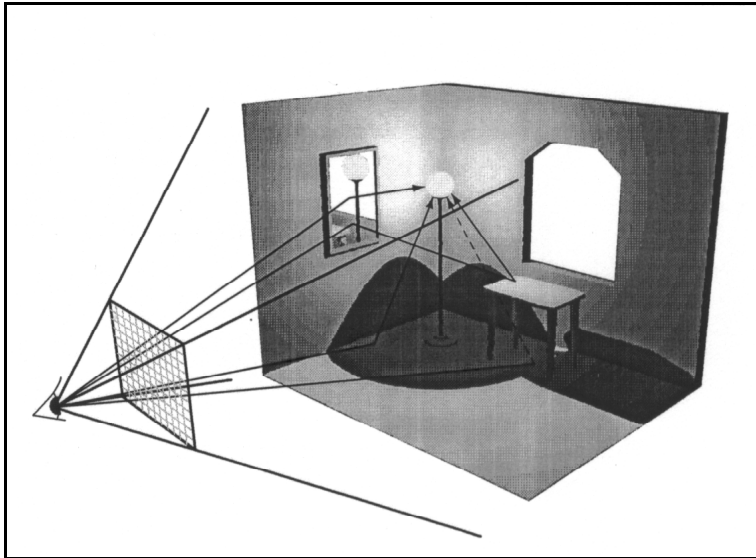


Abb. 55 Raytracing (Strahlenrückverfolgung), aus: [AUT-99]

Aus Erfahrung wissen wir, dass dieser Bereich nicht schwarz sein kann, sondern nur dunkelgrau, weil er auch indirektes Licht von den umgebenden Wänden und dem Boden erhält. Dieses indirekte Licht kann aber der klassische Raytracer nicht ermitteln. Deswegen sind die Schatten geprägt durch harte Konturen und völlige Schwärze, dort wo kein direktes Licht hinkommt. Der resultierende starke Kontrast wirkt vor allem bei architektonischen Umgebungen unnatürlich, der hauptsächlich durch diffuse Schatten geprägt ist. Dies kann man mit dem klassischen Raytracer nur über Umwege nachstellen, indem man zusätzliche Lichtquellen einfügt, die die dunklen Stellen ausleuchten, die aber nichts mit der eigentlichen Beleuchtung zu tun haben.

Ein weiteren Nachteil des Raytracing Verfahrens ist die Abhängigkeit von der Anzahl der Lichtquellen, da für jede Lichtquelle auch ein shadow Ray berechnet werden muß. D.h. bei architektonischen Modellen mit einer großen Anzahl von Lichtquellen kann die Berechnung sehr lange dauern.

Einer der Vorteile des Raytracing Verfahrens ist jedoch die Berücksichtigung der physikalischen Materialeigenschaften. Spiegelnde, opake, und transparente Oberflächen können unterschieden werden (Farbtafel A5.41). Die Oberflächen sind aber immer noch gleichmäßig glatt und unstrukturiert. In der Wirklichkeit weisen nur die wenigsten Oberflächen solch eine perfekte Gleichmäßigkeit auf. Steinoberflächen haben Strukturen und sind rau und selbst bei einer weiß gestrichenen Wand sind Nuancen in den Helligkeitswerten wahrzunehmen, die sich aus der Unebenheit der Wände ergeben. Diese Oberflächenbeschaffenheit lässt sich durch die Verwendung von Texturen genauer definieren. In der einfachsten Form wird ein Bild, das Strukturen zeigt, einfach auf die Oberfläche „geklebt“ (Image Mapping). Durch die Wiederholung

über die gesamte Fläche wird so der Eindruck einer strukturierten Oberfläche erweckt (Farbtafel A5.42). Bei genauer Betrachtung fällt aber auf, dass die im Bild enthaltenen Beleuchtungsverhältnisse nicht zu denen im Modell passen, was zu Verwirrungen führen kann. Dies stimmt nur mit den sogenannten prozeduralen Texturen überein. Hier können über Bump Mappings dreidimensionale Reliefs und über ein Intensity Mappings zweidimensionale wolkenförmige Flecken oder Schleier definiert werden. Dadurch kann jetzt zusätzlich zur Struktur einer Fläche die Rauhigkeit differenziert werden (Farbtafel A5.43).

Die oben angesprochenen indirekten Reflexionen werden vom Backwards- oder Diffusen Raytracer berücksichtigt. Er „schickt“ nicht einen Strahl in Richtung der Lichtquellen, sondern rekursiv Strahlenbündel gleichmäßig in den Raum, die die Helligkeit der benachbarten Flächen in die Berechnung der Helligkeit auf diesem Punkt integrieren (Abb. 56). Damit wirken die Darstellungen realistischer (Farbtafel A5.44). Allerdings auf Kosten einer exponentiell gestiegenen Rechenzeit, weil sie direkt abhängig von der Zahl der zu berechnenden Strahlen ist.



Abb. 56 Backwards Raytracing, aus: [ALT-00]

Eine anderes Renderingverfahren, das auch die indirekten Zwischenreflexionen berücksichtigt, ist Radiosity. Diese Technik ist ursprünglich von Strömungstechnikern erfunden worden, die den Wärmeaustausch zwischen den Flächen in Motoren oder Öfen berechnen wollten. Erst später nutzte man dieses Verfahren auch zur Verteilung der Lichtenergie. Der grundlegende Unterschied zu Raytracing ist, dass nicht nur die Helligkeit auf den Flächen berechnet wird, die gerade betrachtet werden, sondern dass

sie für alle Flächen berechnet wird. Die Berechnung ist standpunkt-unabhängig, d.h. man kann sich anschließend frei im Raum bewegen, ohne dass wie im Raytracing Verfahren die gesamte Berechnung wiederholt werden muß. Radiosity ist deshalb die geeignete Methode, um beleuchtete interaktive Modelle zu erzeugen, die in VR-Umgebungen in Echtzeit begangen werden können. Diese Standpunkt-Unabhängigkeit hat allerdings den Nachteil, dass standpunktabhängige Effekte wie Spiegelbilder oder Transparenzen, nicht dargestellt werden können (Farbtafel A5.45).

Ein Vorteil ist allerdings die Berücksichtigung der indirekten Zwischenreflexionen, womit wiederum ein realistischer Effekt erzielt wird. Allerdings ist die Berechnungsmethode ganz anders als beim diffusen Raytracer. Radiosity unterteilt jede Fläche des gesamten Modells in kleine Maschen. Für jede Masche wird untersucht, wieviel direktes Licht einstrahlt. Abhängig vom Material wird dann ermittelt, wieviel Licht einbehalten (absorbiert) wird. Das übrige Licht wird in die Umgebung zurückgeworfen. Die Masche wird dabei als Flächenlichtquelle aufgefasst, die das Licht gleichmäßig in alle Richtungen – ideal diffus – abstrahlt (Abb. 57).

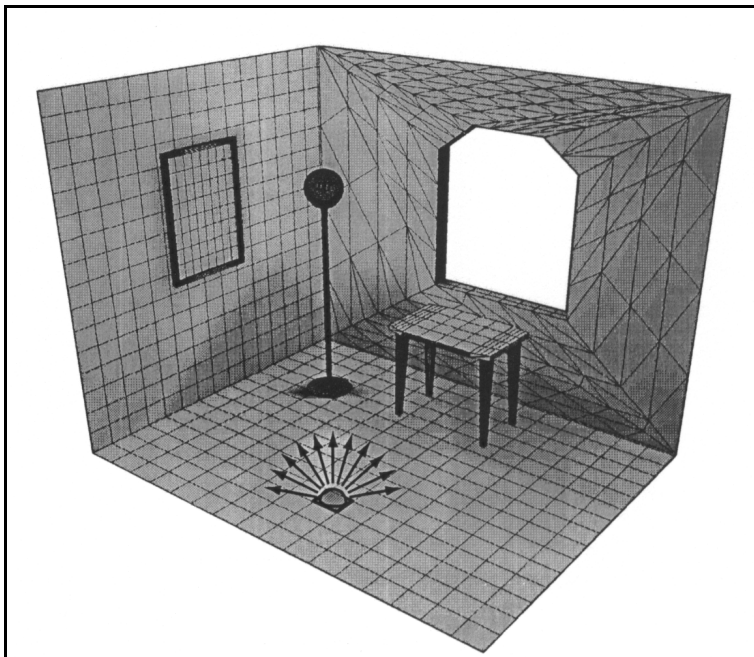


Abb. 57 Lichtverteilung nach dem Radiosity Verfahren, aus: [AUT-99]

Dieses indirekte Licht fällt auf andere Maschen, die wiederum Licht absorbieren, durchlassen oder reflektieren. Irgendwann ist fast alles Licht absorbiert. Dann sind die Reflexionen nur noch extrem schwach und haben so gut wie keinen Einfluss mehr auf das visuelle Ergebnis. Damit der Radiosity Prozess nicht unendlich viele Reflexionen berechnet, kann die Anzahl der Schritte – Iteration genannt – vorgegeben werden.

Neben den indirekten Zwischenreflexionen und den eingeschränkten Materialdifferenzierungen sind also die getrepten Schattenkonturen kennzeichnend für Radiosity (Farbtafel A5.45). Die Konturen folgen dabei den Maschenkanten. Bei früheren Radiosity Verfahren war die Maschengröße konstant. Detaillierter geht die adaptive Vermaschung vor. Sie verkleinert automatisch dort, wo große Helligkeitsunterschiede auftreten die Maschen, sodass dort die Schattenkonturen weniger getrept sind und realistischer wirken (Farbtafel A5.46).

Vergleicht man die Vor- und Nachteile des Raytracing und Radiosity Verfahrens (Tabelle) so kann man erkennen, dass man mit einer Kombination beider Verfahren sehr gute Ergebnisse erzielen kann.

Tabelle 6 Möglichkeiten von Raytracing, backwards Raytracing und Radiosity

	Raytracing	Backwards Raytracing	Radiosity
standpunkt-unabhängig, d.h. begehbar	-	-	+
Zwischenreflexionen	-	+	+ (ideal diffus)
Spiegelungs-, Brechungs- und Transparenzeffekte	+	+	-
Berechnungszeit von der Anzahl der Lichtquellen unabhängig	-	-	+

Quelle: (Verfasser)

Ein Raytracing Verfahren kann man nach einer Radiosity Berechnung anschließen, um die spekularen Reflexionen und Transparenzen zu ergänzen. In dieser Kombination kann die Radiosity Berechnung das unrealistische ambiente Licht ersetzen, das die meisten Raytracing Programme als Ersatz für die notwendigen diffusen Zwischenreflexionen verwenden. Das ergibt noch realistischere Darstellungen (Farbtafel A5.47). Und weil der Radiosity Prozess bereits die direkte Lichtverteilung berechnen kann, braucht der Raytracing Prozess keine „shadow rays“ mehr, sondern nur noch „reflected“ oder „transmitted rays“ zu berechnen. Das wiederum kann die Raytracing Berechnungszeit für ein Bild reduzieren.

Eine weitere Verbesserung betrifft die Definition der Lichtquellen. Bisher waren sie nur unsichtbar und haben das Licht idealisiert ausgestrahlt. Eine reale Leuchte hat aber eine formale Gestalt, die sie zum Architekturelement macht, sowie eine charakteristische Lichtverteilung, über die ihre Beleuchtungsaufgabe definiert wird (Photometrie). Erst wenn dies in den Berechnungen und Darstellungen berücksichtigt wird, kann flächige und akzentuierte Beleuchtung ausreichend differenziert werden.

Dies sind die Grundlagen der Architekturbeleuchtung, mit denen durch die Schaffung von Wahrnehmungshierarchien die architektonische Aussage verstärkt bzw. interpretiert wird. Nur so kann z.B. eine Wand durch gleichmäßige Flutung in ihrer Fläche als Bühne und eine Skulptur durch eine der Form angepassten Akzentbeleuchtung durch z.B. eine Skulpturenlinse als hervorstechendes Architekturelement betont werden (Farbtafel A5.48).

2.4.4 Zusammenfassung und Bewertung

Planungsprogramme der Leuchtenindustrie und 3D-CAD-Simulationsprogramme haben unterschiedliche Zielrichtungen. Die Planungsprogramme der Leuchtenindustrie orientieren sich eher an den technischen Anforderungen der Fachplaner, die überwiegend Beleuchtungsstärken und lichttechnische Angaben interessiert [MOE-99]. Die 3D-CAD-Simulationsprogramme sprechen Architekten an, weil sie die für eine visuelle Überprüfung der Lichtqualitäten detaillierte und fotorealistische Darstellung der Architektur und Lichtinstrumente ermöglichen.

Allerdings sind diese Programme aufgrund ihrer Komplexität nicht so einfach zu bedienen, weswegen es oft zu viel Zeit in Anspruch nimmt, bis brauchbare Ergebnisse vorliegen. Keines von beiden Programmen erfüllt letztlich beide Anforderungen, sowohl leicht bedienbar zu sein als auch eine visuelle Überprüfung der Lichtqualitäten in der Architektur zu ermöglichen. Hier ist ein großer Nachholbedarf zu verzeichnen.

3D-CAD Programme ermöglichen die Erstellung von 3D-Modellen, deren geometrische und semantische Informationen z.B. im bauspezifischen 3D-Gebäudemodell sehr komplex werden können. Sie haben sich im Laufe der Jahre an die Bedürfnisse der verschiedenen Branchen angepasst und bieten eine durchgängige Planung von der Werkplanung bis zur Visualisierung [PÜN-00].

Die physikalisch korrekte Lichtsimulation ist zur Zeit allerdings nicht Bestandteil einer durchgängigen Planung, sie kann nur mit zusätzlichen Programmen durchgeführt werden. Diese speziellen Programme stellen wiederum spezifische Anforderungen an das geometrische Modell. Oft muss nach den ersten Versuchen einer Lichtsimulation die geometrische Eingabe im Nachhinein optimiert werden. Das bedeutet, dass ein 3D-CAD Modell nicht automatisch für eine Lichtsimulation geeignet ist. Die Dauer und Qualität einer Lichtsimulation ist in erheblichem Maße von der Anzahl und Form der Flächen abhängig und da die meisten CAD-Programme sehr schnell viele Flächen erzeugen, oft ineffizient. Das bedeutet, dass die CAD-Modelle in Richtung Lichtsimulation optimiert werden müssen.

Erst wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, können Lichtsimulationen von hoher Qualität erzeugt werden, die nicht nur zur Präsentation, sondern vor allem auch zur Planung von Architekturbeleuchtung einen wertvollen Beitrag liefern können. Außerdem klammern die Standardisierungsversuche von 3D-CAD Datenformaten (IFC, STEP, DWG) noch Angaben zum Tageslicht oder Leuchten aus, was den

Datenaustausch über verschiedene Programme hinweg erheblich erschwert. Für die Entwicklung eines Standardformats für lichtplanungsspezifische Daten innerhalb von 3D-CAD Programmen besteht ein großer Nachholbedarf.

Die physikalische Welt der Lichtverteilung ist zu komplex, als dass man sie vollständig in einem Computermodell abbilden könnte. Die verschiedenen Berechnungsverfahren und ihre Kombinationen sind „lediglich“ Annäherungen an diese Wirklichkeit [ALT-00]. In jedem Anwendungsfall sollte man prüfen, wie weit die entsprechende Physik in der Simulation enthalten ist. In vielen architektonischen Fällen können die Annäherungen sehr nah sein und es ist zu erwarten, dass sich der Abstand von Simulation und Realität weiter verringert [LAR-00].

Licht gibt uns Informationen über die Oberfläche, Form und Farbe eines Körpers. Je nach Berechnungsart variieren diese Informationen. Visualisierungsprogramme die nur diffuses oder ambientes Licht kennen, vermitteln uns ebenso wenig Information über z.B. die Rauigkeit, wie das Licht eines diffusen Himmels. Gerichtetes Licht lässt die Oberflächenstruktur erkennen und die Spiegelungs- und Brechungseffekte signalisieren seine Brillanz. Für die visuelle Wahrnehmung haben alle diese Effekte eine Bedeutung und deshalb muß so viel wie möglich davon in einer Simulation berücksichtigt werden. Die Kombination von Radiosity und Raytracing verspricht in der Lichtsimulation die derzeit besten Ergebnisse. Allerdings mit den bekannten Einschränkungen, dass Radiosity Licht nur ideal diffus und nicht gerichtet reflektieren kann. Klammert man kritische Materialien aus, dann können Simulationen durchaus zu einem Planungswerkzeug in der Architekturbeleuchtung werden, mit dem Beleuchtungskonzepte schneller entworfen und evaluiert werden können als mit analogen Mitteln [WKO-98, 00].

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die architektonische Lichtsimulation ein sehr spezielles Anwendungsgebiet ist, für das es noch keine angepassten Programme gibt. Die übliche Kombination mehrerer Werkzeuge, die von der Erzeugung/Nachbesserung eines 3D-CAD Modells über den Datenaustausch und das Simulieren bis hin zur Darstellung reicht, enthält heute noch zu viele potentielle Fehlerquellen. Hier besteht ein weiterer Entwicklungsbedarf.

2.5 Handlungsbedarf

Licht wird als Mittel zur Erzeugung von Wahrnehmungshierarchien und Corporate Identities in der Architektur immer wichtiger. Damit steigt auch der Bedarf an Planung. Der gezielte Einsatz von Licht basiert auf dem Wissen, wie Licht wirkt. Dieses Wissen kann nur über die Anwendung erschlossen werden. Aus einem Wissen von Grundlagen und Produkten kann man kein Wissen zur Anwendung ableiten. Die Anwendungen müssen geübt werden, damit ein visueller Wortschatz an realisierbaren Lichtwirkungen entsteht. Die Lehre vom Licht ist in der Geschichte der Hochschulstudiengänge überwiegend unter Gesichtspunkten der Technik und Elektrizität und weniger unter architektonischen Gesichtspunkten erfolgt. Bei der Ausbildung zum Lichtplaner kann man in Deutschland auf so gut wie keine Hochschul-Tradition zurückblicken. Erst langsam etablieren sich Studiengänge, die auf den gestiegenen Nachholbedarf reagieren [ROH-99].

Wie jeder Entwurf ist auch der eines Beleuchtungskonzeptes ein sich wiederholender Prozess aus Entwicklung und Überprüfung von Ideen und Konzepten. Zur Überprüfung ist die Darstellung notwendig. Es wurde angesprochen, dass dabei Lichtplaner und Architekten selten eine gemeinsame Sprache sprechen [FLA-00]. Den Architekten interessiert die Software des Lichts (die Wirkung) und den Lichtplaner die Hardware, also die Umsetzung technischer Belange (Konstruktion, Auswahl und Anordnung von Leuchten oder Lichtöffnungen). Diese unterschiedlichen Auffassungen drücken sich auch in der Darstellung aus. Der Architekt bevorzugt fotorealistische Darstellungen, der Lichtplaner kann die Lichtwirkungen auf Position und Lichtausbreitung reduziert darstellen, weil er die visuelle Wirkung aufgrund seines visuellen Wortschatzes kennt.

Im Hinblick auf eine geeignete Lernform für das Verständnis von Licht in der Architektur spielt die Simulation, d.h. die Anwendung, in der Hypothesen aufgestellt und überprüft werden können, eine große Rolle. Reale Raum- oder Lichtlabore sind dann auch konsequente Entwicklungen. Nur ist ihr Betrieb sehr personal- und technikintensiv, was deren Nutzung vor allem im unter Kostendruck stehenden Hochschulumfeld stark einschränkt.

Die Möglichkeiten von 3D-CAD und Lichtsimulationsprogrammen sind mittlerweile sehr vielfältig. Die Physik des Lichts kann zunehmend genauer berechnet werden, und auch die Darstellungen der Berechnungsergebnisse haben sich von einer ehemals

alphanumerischen hin zu einer leichter verständlichen fotorealistischen Form entwickelt. Die tendenzielle Eignung dieser Instrumente als Planungswerkzeuge ist zwar gegeben [WKO-00], sie erfordert aber z.Zt. noch eine zu große Einarbeitungszeit, als dass sie sofort für einen Laien verwertbare Erkenntnisse liefert.

Die Anwendung neuer Medien (3D-CAD, Lichtsimulation, Internet) für die Präsentation von Beleuchtungskonzepten wird von Lichtplanern noch als kritisch angesehen, weil beim derzeitigen Stand der Werkzeuge allgemein zu viel Zeit beansprucht wird, die vom Erreichen des eigentlichen Ziels - einer guten Lichtplanung – ablenkt [OKS-00].

Die Chancen neuer Medien, insbesondere der computerunterstützten Simulation und der interaktiven Präsentationsformen im World Wide Web, nutzen zur Zeit überwiegend die Leuchtenhersteller. Sie können ihre lichtplanerische Kompetenz aus marketingpolitischen Gründen nunmehr einem weltweiten potentiellen Kundenkreis präsentieren. Hier gilt es aber festzustellen, dass die gezeigten Präsentationen aus einer geschlossenen Sammlung bereits vorbereiteter Simulationsbilder und Texte bestehen. Die Interaktion beschränkt sich auf das Aufrufen von vorbereiteten Querverbindungen, die meist an Textpassagen oder zweidimensionalen Bildern festgemacht sind. Räumliche Interaktionen sind nicht möglich.

Neben diesen Präsentationsmöglichkeiten wird das Internet wegen seiner Distributionsmöglichkeiten genutzt. Ein paar Leuchtenhersteller bieten auf ihren Homepages Teile ihres Leuchtenprogramms zur Verwendung für digital arbeitende Planer an. Beispielsweise können virtuelle Leuchten entweder direkt von der ERCO-Webseite per Drag&Drop in das CAD-Programm 3D-Studio-VIZ „gezogen“ oder als Leuchtenbibliothek für das Lichtsimulations-Programm Lightscape heruntergeladen werden. Einen weiteren Ansatz findet man für das Lichtsimulationsprogramm Radiance. Die Website „Render City“ bietet an, dass der Anwender seine Radiance Dateien per WWW mitsamt den individuellen Einstellungen zur Berechnung versenden kann. Beide Ansätze sind jedoch fraglich. Sie erschließen sich weiterhin nur einem recht kleinen Anwenderkreis, der diese komplexen Programme bedienen kann. Außerdem ist die Verwendung von virtuellen Leuchten in individuellen Projekten nicht unbedingt dazu geeignet, etwas vom Licht zu lernen, sie unterstützen vielmehr die Präsentation der eigenen Projekte.

Computerunterstützte Lernsysteme, die das Ziel haben, Anwendungswissen zu vermitteln, basieren im allgemeinen auf der Lernmethode „des entdeckenden Lernens“,

die sich wiederum der Simulation bedient [STE-99]. Für bestimmte Fachbereiche existieren solche Lernumgebungen, aber zur Zeit nur sehr vereinzelt in der Architektur, geschweige denn für die architektonische Lichtplanung.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Verbesserungspunkte festhalten, die einen Handlungsbedarf aufzeigen:

- Trotz einer gesteigerten Bedeutung des Lichts ist das Hochschulangebot im Bereich architektonischer Lichtplanung noch zu gering. Hier klafft eine große Lücke. Bei den vorhandenen Lehrangeboten nimmt die Vermittlung von Anwendungswissen gegenüber dem Faktenwissen zu Grundlagen und Produkten einen zu geringen Anteil ein.
- Architekten und Lichtplaner sprechen eine unterschiedliche Sprache, die sich vor allem in unterschiedlichen Darstellungen von Lichtentwürfen und Beleuchtungskonzepten spiegelt. Den Architekten interessiert eher die „Software“ des Lichts (Lichtwirkung) und den Lichtplaner die „Hardware“, also die technische Leuchte und deren Anordnung. Eine Darstellung, die beide Ansprüche berücksichtigt, ist nicht vorhanden.
- Die Benutzung von realen Licht- und Raumlaboren unterstützt zwar theoretisch das für das Anwendungswissen wichtige „entdeckende Lernen“, diese Labore werden aber in der Praxis zu wenig genutzt, da der Betrieb zu personal- und kostenintensiv ist.
- Eine Nutzung von 3D-CAD und Lichtsimulationsprogrammen ist z.Zt. nicht effektiv. Sie erfordert noch einen zu hohen zeitlichen Aufwand, da es für den Spezialbereich der architektonischen Lichtsimulation noch keine angepasste und leicht zu bedienende Software gibt. Man muss derzeit noch verschiedene Programme einsetzen, deren Kombination allerdings potentielle Fehlerquellen birgt und sich so einem breiten Nutzerkreis verschließt.
- Computerunterstützte Instrumente und Medien, d.h. 3D-CAD, Lichtsimulation und Internet werden z.Zt. nur zum Erstellen von Präsentationen benutzt, deren Interaktion aus einem passiven Betrachten und Konsumieren vorbereiteter zweidimensionaler Inhalte besteht.
- Das Internet wird überwiegend als Präsentations- und Distributionsmedium von lichtplanerischen Informationen und Daten eingesetzt, aber nicht als interaktives Planungsmedium.

Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit wird jetzt ein neuartiges Lernsystem entwickelt, das auf eine innovative Weise zu einem neuen und besseren Verständnis von Licht in der Architektur beiträgt und damit die Lehre der architektonischen Lichtplanung unterstützt. Es ist gekennzeichnet durch:

- virtuelle Lichtlabore, in denen ein Benutzer interaktiv und dreidimensional mit Licht, Raum und Material im Sinne von „entdeckendem Lernen“ individuell experimentieren kann und dies auf eine einfachere Weise als bisher.
- eine duale Darstellung von Licht, die gleichermaßen die Ansprüche der Architekten und Lichtplaner erfüllt.
- architektonische Planungsbeispiele, die als virtuelle Lichtlabore angeboten werden, deren reduzierter und klarer Raum nicht durch überflüssige Details ablenkt.
- das WWW, das die Darstellung und einfache Bedienung der virtuellen Lichtlabore ermöglicht und so das Internet als interaktives Lernmedium vorstellt.

Ein solches Lernsystem gibt es bisher noch nicht.

Die Forschung auf dem Gebiet dieser Kombination von CAD, Lichtsimulation und Internet als Lernsystem für die Architekturbeleuchtung ist derzeit noch nicht sehr weit entwickelt. Sie konzentrierte sich bisher vor allem auf die Weiterentwicklung der einzelnen Instrumente. Die rechenintensiven Lichtsimulationsprogramme wurden von UNIX-basierten Workstations auf preiswertere PC portiert, während die eigentlichen Berechnungsverfahren zur physikalisch exakten Simulation als relativ ausgereift gelten. Bei den bauspezifischen CAD-Programmen ist vor allem die Integration und der Datenaustausch von Produkt- oder Planungsdaten im zentralen Gebäudemodell nach IFC ein Forschungsschwerpunkt. Eine Kombination von CAD und Lichtsimulation gibt es erst, seitdem beide Programme seit ein paar Jahren auf den gleichen Plattformen laufen, mit dem Ziel, Lichtsimulationen zunehmend in CAD Programme zu integrieren. Beim Internet konzentrierte sich die Forschung u.a. auf die Entwicklung zahlreicher neuer multimedialer 3D-Darstellungsmöglichkeiten des World Wide Web. Und im Bereich des computerunterstützten Lernens startete vor ca. 5 Jahren die bekannte Fernuniversität Hagen die „Virtuelle Universität“. Sie gilt als Vorreiter in Deutschland und bietet heute ca. 50000 Studierenden die Möglichkeit, sich orts- und zeitunabhängig weiterzubilden, allerdings keinen Kurs zur Architekturbeleuchtung.