

5 Anwendung „I-Light“

In diesem Kapitel soll die Anwendung des Lernsystems *I-Light* beschrieben werden. Aus der Sicht des Benutzers wird die Anwendung von Szeneneditor und Szenenviewer beispielhaft erläutert. Die notwendigen Vorbereitungen zum Start des Lernsystems werden vorher aus der Sicht des Systemadministrators beschrieben.

5.1 Vorbereitung des Lernsystems

In drei Schritten wird das Backend gestartet:

- Start des **Webservers** *Internet Information Server*. Damit sind alle Verzeichnisse unterhalb des Stammverzeichnisses des Webservers (wwwroot) freigegeben und stehen dem Webclient zur Verfügung. Standardmäßig wird die Administrationswebsite ebenfalls freigegeben, die aber zum Betrieb nicht notwendig ist (Abb. 84). Darüber hinaus wird der Dateiname `index.html` als Standarddokument eingetragen. Der Benutzer kann ihn dann bei der Angabe der URL weglassen, weil er automatisch vom Webserver ergänzt wird.
- Start des Java-Kommandos **rmiregistry.exe** im Standardverzeichnis des *Java Development Kits*. Dadurch wird ein Dienst aktiviert, der das ferngesteuerte Ausführen von Kommandos auf diesem Rechner ermöglicht (Abb. 85). Diese Schnittstelle verbindet Szeneneditor und Servermodul.
- Start des **Servermoduls** im Verzeichnis der selbstentwickelten Java-Klassen `inetpub/wwwroot/class` (Abb. 86). Das Modul greift auf den RMI-Dienst zurück, wenn der Szeneneditor die DXF-Datei der Szene abspeichern will. Nur mit dem *Internet Information Server* wäre das nicht möglich. Das Servermodul stellt also eine Erweiterung des Webservers dar.

Jetzt kann das Backend dem Webclient (Frontend) alle Dienste zur Verfügung stellen. Die visuelle Enzyklopädie kann auch schon nach dem ersten Schritt benutzt werden, da nur die Standardfunktion eines Webservers, d.h. Daten zum Webclient zu liefern, benötigt werden. Die umfangreichen Interaktionen und Rückmeldungen des virtuellen Lichtlabors sind nur durch das Servermodul möglich.

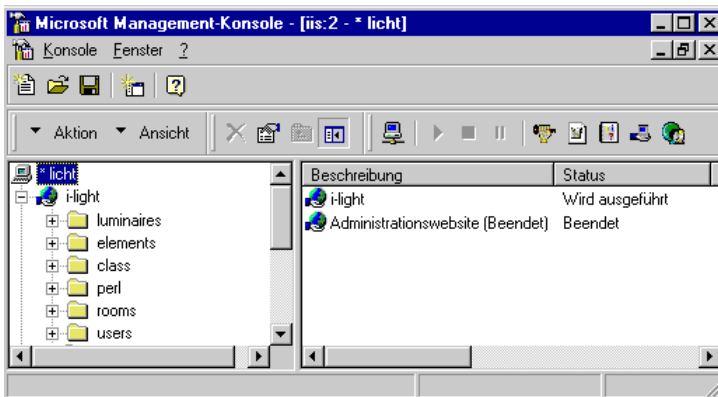


Abb. 84 Start des Webservers

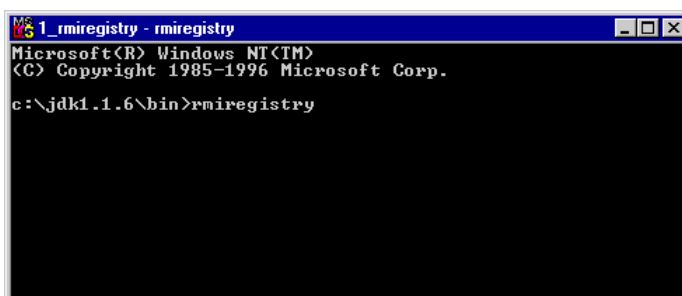


Abb. 85 Start des RMI-Dienstes

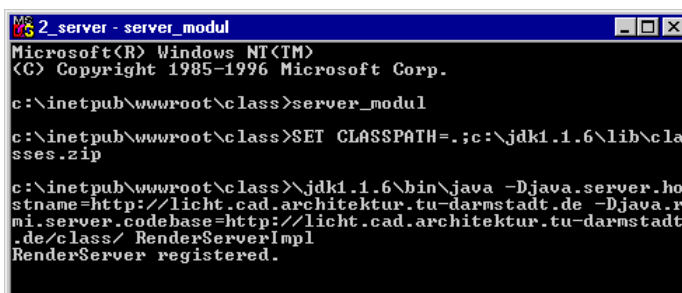


Abb. 86 Start des Servermoduls

Nachdem die Meldung „Render-Server registered“ erscheint, ist das Backend bereit.

5.2 Start des Lernsystems

Gemäß den Zielen des Systems benötigt das Frontend nur eine minimale Softwareausstattung. Es muß lediglich dafür gesorgt sein, dass auf dem Rechner der Webbrowser *Communicator* mit den Plugins *Shockwave* und *Cosmo Player* installiert ist und dass der Zugriff auf das Internet möglich ist.

Dann kann ein registrierter Benutzer seine I-Light Homepage anwählen und hat Zugriff auf die Virtuellen Lichtlabore (Farbtafeln A1). Die Adresse für den Benutzer Wittkopf lautet z.B.:

`licht.cad.architektur.tu-darmstadt.de/users/wittkopf.`

5.3 Exploration im Szeneneditor

In den nächsten Abschnitten wird anhand der Planungsbeispiele Mockup-Raum und Büro detailliert erläutert, welche Anwendungen für den Benutzer im virtuellen Lichtlabor möglich sind. Dabei wird zwischen den Funktionen zum interaktiven dreidimensionalen Entwerfen der Szene im *Szeneneditor* (Farbtafel A1.1, 4) und der anschließenden Präsentation der automatisch berechneten fotorealistischen Bilder im sogenannten *Szenenviewer* unterschieden (Farbtafel A1.5). Darüberhinaus wird kurz auf die Präsentation der Lichtwirkungen der verfügbaren Leuchten eingegangen, in der vorbereitete fotorealistische Bilder für jeden Leuchtentyp abgerufen werden können (Farbtafel A1.3).

Der Szeneneditor ist das Programm, das die Interaktion im virtuellen Lichtlabor ermöglicht. Hier kann der Benutzer in einem gewählten Planungsbeispiel im Selbststudium Experimente mit Licht machen. Zuersteinmal kann er sich frei bewegen und den Raum von allen Seiten ansehen. Er kann aber auch vorbereitete Standpunkte anwählen, die ihm verschiedene zentral- oder parallelperspektivische Ansichten des Raums präsentieren. Ausgehend von einer Startkonstellation – hier des Mockup-Raums - kann er Objekte ergänzen oder verändern und damit Varianten erzeugen und fotorealistisch berechnen lassen. Diese Anwendungen werden im folgenden beschrieben.

5.3.1 Laden einer Originalszene

Der Benutzer „betritt“ das virtuelle Lichtlabor über den Punkt „Lichtlabore“ in der linken Menüleiste seiner Homepage (Farbtafel A1.2). Dort wählt er den Punkt „Original“ vom Planungsbeispiel Mockup-Raum und startet den Szeneneditor. Es erscheint der Mockup-Raum in der leeren Ausgangskonstellation (VRML). Rechts neben der Szene wird das Menü (Java-Applet „Szeneneditor“) angezeigt, in dessen Objektliste die aktuell vorhandenen Objekte der Szene aufgeführt sind (Farbtafel A2.1). Der Benutzer kann jetzt die Szene begehen und Objekte ergänzen, verändern oder löschen. Die im folgenden erwähnten Dialogfenster sind im Kapitel „Programme im Verzeichnis Class“ näher beschrieben.

5.3.2 Bewegen in der räumlichen Szene

Die Bewegungsmöglichkeiten in der VRML-Szene sind durch das Plugin *Cosmo Player* vorgegeben. Der Benutzer kann sich bewegen und umschaun, d.h. seine Position nach vorwärts-rückwärts, rechts-links, oben-unten verändern, bzw. sich nach oben-unten neigen und rechts-links drehen. Die Bewegungen können mit der Maus oder mit Tastenbewegungen wie folgt ausgeführt werden:

Tabelle 10 Navigationssteuerung im Cosmo-Player

Bewegung	Ausführen durch
vorwärts bzw. rückwärts gehen	linke Maustaste mit Bewegung nach oben bzw. unten Cursortaste ↑ bzw. ↓
rechts bzw. links drehen	linke Maustaste mit Bewegung nach rechts bzw. links Cursortaste → bzw. ←
oben unten neigen	CTRL-Taste + Cursortaste ↑ bzw. ↓
rechts bzw. links gehen	rechte Maustaste mit Bewegung nach rechts bzw. links Alt-Taste + Cursortaste → bzw. ←
unten oben	rechte Maustaste mit Bewegung nach unten bzw. oben Alt-Taste + Cursortaste ↑ bzw. ↓
(beschleunigte Bewegung)	Zusätzlich Stift-Taste

Zusätzlich kann eine Steuerkonsole eingeblendet werden, über die die Bewegungsoptionen eingestellt, Objekte anvisiert und stürzende Linien korrigiert, Gravitationskräfte eingeschaltet und weitere Informationen abgerufen werden können. Außerdem kann der Benutzer hier auf vorbereitete Standpunkte zurückgreifen und so z. B. wieder den Originalstandpunkt einstellen (Farbtafel A2.2). Die möglichen Standpunkte sind in der Datei *scene.wlr* im Verzeichnis *rooms/mockup/VRML* definiert.

5.3.3 Markieren von Objekten

Laut den Vereinbarungen des objektorientierten Szenenmodells beinhaltet eine Szene verschiedene Objekte. Da sind zum einen die sichtbaren Szenenobjekte wie Raumbegrenzungen, Leuchten, Achsobjekte und Einrichtungsobjekte. Zum andern auch die für eine Tageslichtberechnung notwendigen Informationen zu Ort und Uhrzeit. Auch allgemeine Informationen z.B. Projektname und Beschreibung werden in der Szene beschrieben. Alle Einstellungen können verändert werden, nur müssen die Szenenobjekte vorher markiert werden, bevor sie mit einer Funktion aus dem Menü des Szeneneditors verändert werden können. Die Markierung erfolgt ausschließlich in der Objektliste und nicht in der perspektivischen Ansicht. Das hat zweierlei Gründe, zum einen sind dort kleine Objekte nur schwer selektierbar, wenn sie in einer komplexen Szene nah aneinander liegen. Zum anderen muss die Markierbarkeit der

Objekte über den zusätzlichen VRML-Knoten „Sensor“ ergänzt werden, was zwar nicht weiter schwierig ist, aber für den CosmoPlayer eine erhebliche zusätzliche Rechenbelastung darstellt, die das ganze System stark verlangsamen würde.

In der Objektliste können einzelne und mehrere Objektnamen selektiert werden. Sie werden dann in der Liste dunkel hinterlegt und im Cosmo Player rot eingefärbt. Die Markierung ist ein Wechselschalter, d.h. ein markiertes Objekt wird durch nochmaliges Selektieren wieder demarkiert. Nach der Markierung können die Funktionen im Menü ausgewählt werden. Daraufhin öffnen sich entsprechende Dialogfenster, in denen die aktuellen Einstellungen angezeigt und verändert werden können.

5.3.4 Aufruf von Funktionen im Menü

Die Funktion zum Ändern der Szene werden über die Funktionstasten erschlossen (Farbtafel A2.1). Oberhalb der Objektliste befinden sich die Funktionen, für die keine Objekte markiert werden müssen (Szene, Projekt, Info, Ort, Licht und Leuchte), während sich die unteren ausschließlich auf die markierten Szenenobjekte beziehen (Einfügen, Position, Löschen, Attribute, Kopieren, Skalieren). Die Funktionen in der untersten Zeile öffnen keine weiteren Dialogfenster, sondern wirken sich direkt auf die markierten Objekte bzw. Leuchten aus (Strahl, Volumen, Gehäuse). Die Dialogfenster erscheinen zwar immer am gleichen Ort in der Nähe des Menüs, sie können aber verschoben werden, wenn sie die Objektliste zu sehr verdecken. Alle Funktionen werden im Rahmen der folgenden Anwendungen erläutert.

5.3.5 Ändern von Material

Als nächstes kann der Benutzer z.B. das Material der Objekte ändern, bzw. sich informieren, wie es z. Zt. eingestellt ist. Dazu muss er ein Objekt z.B. den Fußboden in der Objektliste markieren und öffnet dann über die Funktionstaste „Attribute“ ein entsprechendes Dialogfenster, in dem das Material als „grau80“ ausgewiesen ist (Farbtafel A2.3). Er wählt ein anderes Material und ändert in der Folge auch das Material der übrigen Raumbegrenzungselemente. Es können auch mehrere Objekte, wie z.B. alle Wände markiert werden, auch wenn sie derzeit unterschiedliche Materialien haben. Sie bekommen dann alle in einem Schritt ein neues Material zugewiesen (effiziente Editierungsfunktionen, siehe Kapitel funktionelle Anforderungen). Die möglichen Materialien sind durch die Einträge in der Konfigurationsdatei bestimmt.

5.3.6 Verschieben von Objekten

Über die metrische Rasterung der Oberflächen kann der Benutzer die Größe des Raums abschätzen. Im folgenden ändert er die Raumproportionen durch Verschiebung der Decke und seitlichen Wände. Die Verschiebung der Decke erfolgt im Dialogfenster „lokale Position“ über die Funktionstaste „Position“. Die Position kann durch Eingabe einer Zahl oder durch Anklicken der „größer“ und „kleiner“ Symbole in festen Schrittweiten verändert werden (Farbtafel A2.4). Nach der Einstellung der richtigen Lage kann das Dialogfenster geschlossen werden. Analog können anschließend die seitlichen Wände nach innen verschoben werden. Angaben zur Neigung und Drehung haben laut den Vereinbarungen, die im objektorientierten Szenemodell beschrieben sind, keinen Einfluss auf Raumbegrenzungselemente.

5.3.7 Einfügen von Objekten

Der Benutzer kann laut objektorientiertem Szenemodell verschiedene Objekte in die Szene einfügen. Dazu muss er vorher ein Bezugselement anwählen, an dem das Objekt „befestigt“ werden soll. Beim Einfügen des Objekts werden die Plazierungsvorgaben des Vaterelements berücksichtigt. Objekte z.B. mit Bezug zum Fußboden werden demnach automatisch in Fußbodenmitte positioniert.

Der Benutzer wählt den Fußboden an und öffnet dann das Dialogfenster „Einfügen“ und kann aus der Liste der verfügbaren Objekte neben Leuchten z.B. „Pillar“ (Säule) auswählen (Farbtafel A2.5). Nach dem Schließen des Dialogfensters wechselt die Markierung vom Bezugselement (Fußboden) auf das neue Objekt (Farbtafel A2.6). Es erscheint automatisch das Dialogfenster „lokale Position“, um das Objekt direkt an die richtige Stelle schieben zu können. Das Objekt bleibt auch nach dem Verschieben markiert.

5.3.8 Speichern der Szene

Der Benutzer kann seine Arbeit im virtuellen Lichtlabor abbrechen und zur späteren Weiterbearbeitung speichern. Es werden alle Szenenobjekte und sonstigen Angaben der Szene unabhängig von der Markierung gespeichert. Vorher sollte er noch ein Projekttitel und eine Beschreibung im Dialogfenster „Projekt“ eingeben. Da er später eine Innenraumsimulation ohne Tageslicht durchführen wird, sollte er es im Dialogfenster „Tageslicht“ ausschalten. Anschließend kann er die Szene unter Angabe eines Namens z.B. „Start“ im Dialogfenster „Szene“ speichern (Farbtafel A2.7). Daraufhin errechnet das Java-Applet eine DXF-konforme Beschreibung der aktuellen Szene und nimmt unbemerkt vom Benutzer Kontakt mit dem Servermodul des Backends auf, um dort die DXF-Datei im Benutzerverzeichnis abzuspeichern.

Außerdem aktiviert es das Perl-Programm `save.pl`, das die entsprechenden HTML-Seiten erzeugt, über die der Benutzer wieder auf seine Szene zugreifen kann.

5.3.9 Kontrolle der Lichtwirkungen der verfügbaren Leuchten

Der Benutzer sieht ein Bild von einem Innenraum und eine Liste mit verschiedenen Leuchtentypen. Die Liste verweist auf weitere Bilder von Räumen, die sich durch ihre Beleuchtung unterscheiden (Farbtafeln A4.5 ff.). Jede Beleuchtung ist dabei ausschließlich mit einem Leuchtentyp erstellt. Damit der Benutzer die Größe des Raums einschätzen kann, haben die Oberflächen ein Raster im Maßstab 1 Feld = 1 Meter.

Die Bilder des Raums sind keine Fotografien, sondern Simulationen, die im Vorfeld erstellt wurden. Dabei wurden die Einstellungen zur Perspektive sowie die Oberflächen des Raums konstant gehalten. Die Bilder (Farbtafeln A4.11 ff.) wurden mit Texten und Links verbunden und zu einer Shockwave-Animation zusammengestellt (siehe Kapitel „Verzeichnis Rooms/Shockwave“).

Die Auswahl der Leuchtentypen stellt einen repräsentativen Querschnitt handelsüblicher Leuchten dar, die für eine Vielzahl architektonischer Beleuchtungsaufgaben eingesetzt werden. Der Lichtstrom aller Leuchten wurde auf 1000 Lumen je Leuchte gesetzt, um die Vergleichbarkeit der Lichtverteilungen gegenüber den Helligkeiten in den Vordergrund zu stellen. Angaben zu den Leuchten und den für die Simulation wichtigen Fotometrien finden sich im Anhang. Folgende Einteilung in 8 Leuchtengruppen mit ca. 30 Leuchtentypen wurde vorgenommen:

- *Downlights*
Dabei handelt es sich um Einbau-Downlights mit einer rotationssymmetrischen Lichtverteilung. Sie werden anhand ihres Cut-off Winkels und der Angabe, ob sie gleichmäßig fluten (*flood*) oder mit einem punktförmigen Zentrum strahlen, in folgende Typen unterschieden: *Cut-off 50 Grad spot*, *cut-off 50 Grad*, *cut-off 40 Grad narrow spot*, *cut-off 40 Grad spot*, *cut-off 40 Grad flood*, *cut-off 30 Grad flood*, *diffuse mounted* (Aufbau-Downlight) bzw. *diffus* (Farbtafeln A4.11-18)
- *Downlights asymmetrisch*
Hierbei handelt es sich um Einbau-Downlights die eine asymmetrische Ausstrahlung haben oder ausgerichtet werden können. *Washlights* bzw. *double washlights* und *wallwasher* strahlen flächig aus, während *directional spot* bzw.

directional narrow spot punktförmig d.h. akzentuierend Licht abgeben (Farbtafeln A4.19-23).

- *Spotlights*
Bei Spotlights wird zwischen *flood* und *spot* unterschieden. Sogenannte *sculpture lenses* (Skulpturenlinsen) machen aus dem ansonsten kreisförmigen Querschnitt des Lichts einen ellipsenförmigen, der z.B. die Beleuchtung von Skulpturen verbessert (Farbtafeln A4.24-26).
- *Washlights (Fluter)*
Sie werden zur flächigen Beleuchtung d.h. zum „Fluten“ von Wänden oder sonstigen großflächigen Architekturelementen verwendet. Hier werden sie unterschieden in das allgemeine *flood washlight*, sowie in *wallwasher* und *high wallwasher* für hohe Wände. Im Gegensatz zu Downlights, die auch Washlights sein können ist hier die Leuchte nicht eingebaut und daher architektonisch präsenter (Farbtafeln A4.27-29).
- *Lightstructures (Lichtstrukturen)*
Sie sind lineare Lichtquellen, die oft von der Decke abgehängt eingesetzt werden. Sie unterscheiden sich dadurch, ob sie nach unten strahlen (*direkt*), nach oben bzw. an die Decke (*indirect*) oder sowohl als auch (*direkt indirect*). Bei der Variante *direct 70 indirect 30* strahlt das Licht zu ungleichen Teilen nach unten (70) und oben (30) ab (Farbtafeln A4.30-33).
- *Wall mounted lights (an der Wand befestigte Leuchten)*
Hier handelt es sich um Leuchten, die vorzugsweise an der Wand angebracht sind und die Decke (*ceiling indirect a, c*) oder den Boden (*floor washlight*) oder beides (*ceiling indirect*) fluten, bzw. die Decke (*ceiling indirect b*) oder den Boden anstrahlen (*floor diffus*) (Farbtafeln A4.34-37).
- *Freestanding lights (nicht befestigte Leuchten)*
Diese Leuchten sind nicht fest angebracht. Sie können als Stehlampe zur Deckenflutung (*indirect*) oder mit einem bodengerichteten Anteil (*direct indirect*) eingesetzt werden. *Workstation lights* sollen den Arbeitsplatz ausleuchten, und werden in der Regel auf einem Tisch plaziert (Farbtafeln A4.38-40).

Der Benutzer hat jetzt folgende Interaktionsmöglichkeiten:

- Er kann die aufgelisteten verschiedenen Leuchtentypen anwählen und erhält sofort eine visuelle Rückmeldung, d.h. ein Bild wie der Raum mit diesem Leuchtentyp beleuchtet aussieht. Die wechselnden Bilder sind deckungsgleich „übereinandergelegt“, sodass beim Wechsel keine störenden Sprünge auftreten. Der Benutzer kann kreuz und quer zwischen Leuchtentypen schalten, innerhalb einer Gruppe oder zwischen den Gruppen und die verschiedenen Wirkungen vergleichen. Zusätzlich kann er immer wieder kontrollieren, wie der Raum ohne Licht aussehen würde. Darüberhinaus kann er die Leuchte als architektonisches Element und ihren Einfluss auf die visuelle Wirkung sehen. Die gerade angezeigte Beleuchtung korrespondiert mit einer orangenen Markierung des Leuchtentyps in der Auswahlliste.
- Er kann sich von jeder Beleuchtung auch nur den Anteil des direkten Lichts anzeigen lassen. Dazu muss er nur das kleine Bild daneben, das bereits das direkte Licht anzeigt, anklicken und es dadurch mit dem großen Bild austauschen. Ein erneutes Anklicken auf das kleine Bild vertauscht sie wieder.
- Er kann die Anzahl, Lichtstrom und Positionierung der Leuchten zu jeder Beleuchtung ablesen.

Er kann sich also Beispiele anschauen, wie verschiedene Leuchtentypen bzw. Lichtverteilungen architektonisch verwendet werden können.

5.3.10 Einfügen einer Leuchte

Das Einfügen von Leuchten geschieht ähnlich wie das Einfügen von Einrichtungselementen, nur mit dem Unterschied, dass beim Einfügen nur eine übergeordnete Leuchtengruppe statt eines Leuchtentyps ausgewählt werden kann. Ansonsten wäre die Auswahlliste unübersichtlich lang. Beim Einfügen wird die Höhe des Bezugselements übernommen und die Leuchte automatisch in die Decke gesetzt. Allerdings wird dann ein Standardleuchtentyp positioniert, der erst später (Attribute) näher definiert wird. Für jede Leuchtengruppe ist er in der Konfigurationsdatei definiert, d.h. für die Gruppe der Downlights ein Downlight mit 30 Grad Ausstrahlungswinkel und flutender Verteilung. Dieser Name erscheint leicht abgekürzt in der Objektliste (Downlight_30f). Die Abkürzung und die Vorgabe Objekte mittig von der Decke nach unten strahlend auszurichten, sind ebenfalls in der

Konfigurationsdatei definiert. Bei der Auswahl der Leuchten trifft der Benutzer auf die Leuchtengruppen, die ihm in der Visuellen Enzyklopädie vorgestellt wurden.

Es empfiehlt sich jetzt, das Lichtvolumen des Downlights über die Funktion „Volumen“ anzuschalten, um die Lichtverteilung schon jetzt, d.h. beim Entwurf abschätzen zu können. In dieser Darstellung kann man anhand der Kegelanschnitte die „cut-offs“ an den Wänden und anhand des breiten inneren Kegels die „flutende“ Verteilung des Lichts erkennen (Farbtafel A2.9).

5.3.11 Editieren in verschiedenen Ansichten

Das Downlight soll nun mehrmals über die Decke verteilt werden. Jetzt können natürlich neue Downlights eingefügt werden. Einfacher geht es durch mehrfaches Kopieren des vorhandenen Downlights. Eine bessere Kontrolle der richtigen Position der Kopien hat man natürlich in der Grundrissansicht. Diese und einige andere Seitenansichten oder weitere perspektivische Standpunkte können als Liste in der Cosmo Player Steuerkonsole ausgewählt werden. Anschließend kann das bereits eingefügte Downlight an eine Position verschoben werden, die Ausgangspunkt für ein mehrfaches Kopieren ist (Farbtafel A2.10).

5.3.12 Kopieren einer Leuchte

Beim Kopieren einer Leuchte können die Achsen, Abstände und die Anzahl der Kopien angegeben werden, sodass z.B. längs einer Wand eine Reihung von Downlights erzielt werden kann. Alle Kopien haben zwar die gleichen Attribute wie das Original, bleiben aber erhalten, wenn das Original gelöscht wurde. Nach dem Schließen des Dialogfensters „Kopieren“ werden die neuen Leuchten in die Szene und die Objektliste eingefügt (Farbtafel A2.11).

5.3.13 Rendern einer Szene

Jetzt, da auch Leuchten in der Szene enthalten sind, macht es Sinn die Szene nicht nur zu speichern, sondern sie auch zu Rendern, d.h. eine Lichtsimulation mit Lightscape durchzuführen. Der Benutzer muß dazu lediglich im Dialogfenster „Szene“ einen weiteren Szenenamen eingeben, die Option „Rendern“ aktivieren und Standpunkte auswählen. Bei der Wahl des Szenennamens kann er sich überlegen, ob er den alten Szenenamen „Start“ angibt, um die alten Daten zu überschreiben oder ob er einen neuen Namen angibt.

Der Benutzer entschließt sich in diesem Fall, die Szene unter dem Namen „Downlights“ mit allen Standpunkten zu Rendern (Farbtafel A2.16). Nach dem

Schließen des Dialogfensters kann er sofort mit dem Entwurf einer neuen Szene fortfahren, da die fotorealistische Berechnung der Szene ja erfolgreich an das Backend delegiert wurde. Er fährt fort mit dem Entwurf und Rendern weiterer Szenen, bevor er sie im Szeneneditor - fotorealistisch berechnet - ansieht und vergleicht.

Analog zur Option „Speichern“ wird auf dem Backend jetzt das Perl-Programm `render.pl` gestartet, das die Radiosity Berechnung der Szene mit direktem und indirektem Licht sowie die Raytracing Berechnung von Bildern für jeden Standpunkt ausführt (Nähere Informationen im Kapitel „Verzeichnis Perl“).

5.3.14 Szenenvariationen durch Ändern der Leuchtenattribute

In diesem ersten Fall, Änderung der Lichtverteilung, eignet sich die Seitenansicht am besten. Dort können die Attribute am deutlichsten dargestellt werden, vorausgesetzt die Darstellung des Leuchtvolumens ist aktiviert. Nach der Anwahl der Funktionstaste „Attribute“ erscheint das entsprechende Dialogfenster mit den Angaben zur Leuchtengruppe, Lichtverteilung und Lichtfarbe einer Leuchte bzw. des markierten Downlights. Die verfügbaren Leuchtengruppen und Lichtverteilungen entsprechen denen aus der visuellen Enzyklopädie nur mit dem Unterschied, dass sie hier aktiv verwendet werden können.

In der Objektliste erscheint aus Gründen der Übersichtlichkeit der Name des Leuchtentyps abgekürzt z.B. „Downlight_30f“, während im Dialogfenster „Attribute“ die Angaben detailliert ausgeschrieben sind, z.B. für die Lichtverteilung (Form/LV) „cut-off 30 flood“ und für die Lichtfarbe „weiß“ (Farbtafel A2.12).

Alle Eigenschaften einer Leuchte können in diesem Dialogfenster verstellt werden. Die ausgewählte Option wird als Vorschau sofort angezeigt und nicht erst nach dem Schließen des Dialogfensters. Dadurch kann man sich erst mal ein Bild aller Optionen machen (Farbtafeln A2.13 u. 14).

Zu den Attributen einer Leuchte gehört natürlich auch die Gestalt, die vorwiegend durch die Leuchtengruppe festgelegt wird. Auch sie kann gewechselt werden, d.h. dass ein Downlight gegen ein Spotlight austauscht werden kann. Dabei sorgt die objektorientierte Struktur des Szenenmodells dafür, dass die anderen Parameter automatisch übertragen werden, d.h. dass das Spotlight an die Position des Downlight gesetzt wird und die gleiche Lichtfarbe beibehält (Farbtafel A2.15). Bei der Wahl einer anderen Leuchtengruppe werden automatisch die zur Verfügung stehenden Lichtverteilungen ausgetauscht und ein Standardwert gesetzt, der wie oben beschrieben einfach verändert werden kann. Mit diesen Änderungsfunktionen können z.B. bei konstanter Beleuchtung bzw. Lichtverteilung die architektonische Gestalt der

Leuchten auf einen Schlag verändert werden (effiziente Änderungsmöglichkeiten). Dabei ist es unerheblich, welcher Leuchtengruppe sie ehemals angehört haben.

Nun werden in einem Schritt diese Downlights gegen Downlights Wallwasher ausgetauscht. Vorher wird der Standpunkt „Zentral“ aufgerufen und alle Downlights markiert. Zusätzlich kann man den zweiten Darstellungsmodus „Strahl“ aktivieren, der einem die Hauptlichtrichtung der Leuchten anzeigt und hier für die Downlights natürlich senkrecht nach unten strahlt (Farbtafel A2.17). Anschließend wird im Dialogfenster „Attribute“ die Lichtverteilung auf „Wallwasher“ gewählt und damit automatisch alle markierten Downlights entsprechend geändert. Damit ändert sich auch die Hauptstrahlrichtung nämlich in Richtung der Wand, was im Darstellungsmodus „Strahl“ gut zu erkennen ist (Farbtafel A2.18). Auch diese Szene wird unter dem Namen „Wallwasher“ unter Angabe aller Standpunkte gerendert.

In einem nächsten Schritt wird die Lichtfarbe der Wallwasher auf „Nightblue“ geändert was bedeutet, dass sich sowohl der Strahl als auch die Lichtaustrittsfläche an der Decke entsprechend einfärbt (Farbtafel A2.19). Die Szene wird als „Blue_light“ unter der Angabe aller Standpunkte gerendert.

Für die nächste Variante wird die Lichtfarbe wieder auf weiß und das Material der linken Wand auf blauen Marmor gesetzt und die Szene als „Blue_wall“ unter Angabe aller Standpunkten gerendert (Farbtafel A2.20).

5.3.15 Einfügen eines skalierbaren Elements

Der Benutzer möchte nun weitere Varianten erstellen und öffnet dazu seine bisher vorhandenen in der Menüleiste. Er wählt als Ausgangspunkt seine erste Variante „Downlights“.

Für das Einfügen des Elements „Quader“ (Bezugselement Fußboden) eignet sich am besten die Draufsicht. Der Quader wird so verschoben, dass er links hinter der Säule steht (Farbtafel A2.21). Der Quader hat eine Originalgröße von 1x1x1m und wird im Dialogfenster „Skalieren“ durch entsprechende Faktoren auf eine Länge und Breite von 30 cm sowie eine Höhe von 1.8 m gebracht (Farbtafel A2.22). Anschließend erhält er das gleiche Material wie die Säule hat und wird noch nach rechts neben die Säule kopiert (Farbtafel A2.23).

5.3.16 Verschieben mehrerer Elemente

Der Benutzer möchte nun den Raum weiter, d.h. die Proportionen wieder breiter und flacher machen. Die Downlights werden beim Absenken der Decke automatisch mit

abgesenkt (Farbtafel A2.24). In einem nächsten Schritt können Sie zusammen mit der linken Wand nach außen geschoben werden, d.h. der Abstand zur Wand wird beibehalten (Farbtafel A2.25).

5.3.17 Einfügen eines Achsobjekts

Achsobjekte sind laut dem objektorientierten Szenenmodell Objekte, die ihrerseits Bezugselement für weitere Objekte sein können. Stromschienen sind solche Achsobjekte, an die Leuchten eingefügt werden können, die sich in ihrer Position dann nach der Stromschiene richten.

Ein solches Objekt „Track“ fügt der Benutzer jetzt in die Szene ein, dreht es und verschiebt es etwas vor die Säule (Farbtafel A2.26). An dieses Achsobjekt fügt er ein Spotlight ein, das er dann längs zweimal kopiert (Farbtafel A2.27).

5.3.18 Ausrichten von Objekten

Der Benutzer will in diesem Schritt die Spotlights auf die einzelnen Stellen ausrichten. Vorher entscheidet er sich, bei dem mittleren Spotlight die Lichtverteilung von der Standardeinstellung auch zum Spot zu wechseln. Zum einfacheren Ausrichten benutzt er bei dem Spot die Darstellung „Beam“ und bei den anderen „Volume“. Dann wechselt er in die Seitenansicht und kann die Neigung im Dialogfenster „Position“ für alle drei Leuchten angeben (Farbtafel A2.28). Zur genauen Justage der Leuchten kann beliebig zwischen den Ansichten von vorne, oben, der Seite und der Perspektive gewechselt werden (Farbtafel A2.29). Nach dem Einfügen und Bearbeiten weiterer Leuchten wird die Szene als „Mix1“ gerendert.

5.3.19 Einfügen von Fenstern

Fenster können über das Dialogfenster „Einfügen“ oder im Tausch mit schon vorhandenen Elementen in die Szene eingefügt werden. Der Austausch hat den Vorteil, dass das neue Element sofort an der richtigen Stelle sitzt und nicht wie beim Einfügen erst positioniert werden muss.

Da im Planungsbeispiel Mockup-Raum keine Fenster vorgesehen sind, wechseln wir in das Planungsbeispiel Büro. In der Originalszene werden jetzt die vier seitlichen Wandtafeln gegen entsprechend große Fensterelemente ausgewechselt. Der Wechsel findet im Dialogfenster „Attribute“ statt, wo einfach das einzusetzende Fenster als neues Objekt gewählt wird (Farbtafel A2.30).

Fensterelemente sind kein spezieller Objekttyp im Sinne des objektorientierten Szenenmodells, sondern skalierbare Einrichtungselemente, die somit vielfältig editiert werden können.

5.3.20 Einstellen des Tageslichts

In den Dialogfenstern „Tageslicht“ und „Ort“ können die für eine Tageslichtsimulation notwendigen Daten eingetragen werden (Farbtafel A2.31). Der Benutzer kann jetzt sehr einfach eine Reihe von Szenen mit unterschiedlichen Uhrzeiten rendern, und so einen Tageslichtverlauf zu einem bestimmten Ort und Tag simulieren. Umgekehrt können verschiedene Büroszenen bei konstantem Tageslicht verglichen werden, um so z.B. den Einfluss zusätzlicher Fenster oder Lichtschwerter auf die Raumhelligkeit abschätzen zu können.

5.4 Präsentation im Szenenviewer

Der Szeneneditor ist das Programm, das die Ergebnisse der automatisch berechneten Lichtsimulationen darstellt. Die Ergebnisse liegen als fotorealistische Bilder vor, die nun die visuelle Wirkung des Lichts zeigen. Sie liegen von jeder individuell erzeugten Variante des Planungsbeispiels vor, die im Szeneneditor mit der Option „Rendern“ abgespeichert wurde. Pro gewähltem Standpunkt werden automatisch immer zwei Simulationen mit verschiedenen Lichtverteilungen gestartet, die zum einen das indirekte Licht und zum anderen nur das direkte Licht berücksichtigen. Damit kann pro Variante und Standpunkt analysiert werden, ob z.B. ein Helligkeitseindruck vorwiegend durch direktes Licht oder durch indirektes Licht (also unter dem Einfluss der Oberflächen) erreicht wird.

Im Szenenviewer können die Bilder aller Varianten einfach und schnell verglichen werden. Das Wechseln der Bilder wird durch eine Schaltmatrix ermöglicht, in der der Benutzer die Optionen der drei Wahlmöglichkeiten Licht, Standpunkt und Variante wählt und mit dieser Kombination das jeweils anzuzeigende Bild bestimmt. Sind beispielsweise für eine Versuchsreihe 6 Varianten mit jeweils 4 Standpunkten berechnet worden, so ergibt sich eine Anzahl von 6 Varianten x 4 Standpunkte x 2 Lichteinstellungen = 48 Bildern, die aufgerufen werden können. Im Szeneneditor erscheinen die Namen der sechs Varianten und vier Standpunkte zusammen mit den beiden Lichtverteilungsmöglichkeiten. Zusätzlich erscheint unter dem Bild ein Textfeld, in das der Text eingeblendet wird, der zur Erläuterung des Versuchs im Szeneneditor (unter Projekt) gespeichert wurde.

Farbtafel A3.1 zeigt den Szenenviewer für das Planungsbeispiel „Mockup“. Die sieben vom Benutzer individuell erstellen Varianten (*Downlights* bis *Mix1*) sind hier ebenso aufgelistet wie die Namen der Standpunkte (*Zentral* bis *Top*). Desweiteren die beiden Möglichkeiten der Lichtverteilung (*direkt* und *indirekt*). Eingestellt sind für Licht: indirekt, für Standpunkt: links und für die Szene: Wallwasher. Das zu diesen Einstellungen passende Bild wird mit einer erläuternden Bildunterschrift angezeigt.

Farbtafel A3.2. zeigt dieselbe Szene vom gleichen Standpunkt aus betrachtet, nur mit direktem Licht, weil der Benutzer die Option „direkt“ bei Licht angewählt hat. Im Vergleich zur vorigen Einstellung kann man jetzt erkennen, dass die linke Wand gleich hell bleibt, während die restlichen Oberflächen dunkler bis schwarz sind. Dieser Vergleich zeigt deutlich, dass die Raumhelligkeit im vorigen Bild nur über das von den

Oberflächen reflektierte Licht (indirekt) zustande kommt, während die Helligkeit der linken Wand auf das direkte Licht der Wallwasher zurückzuführen ist.

Im Vergleich zur nächsten Variante (Farbtafel A3.3), in der statt Wallwasher nun Downlights verwendet wurden, ist deutlich erkennbar, dass der obere Teil der linken Wand nunmehr kein direktes Licht erhält. Farbtafel A3.4 zeigt dann eine Variante der Downlights, in der die typischen Scallops der Downlights durch den größeren Abstrahlwinkel flacher erscheinen.

Farbtafel A3.5 zeigt die Variante „Downlights2“ von einem zentralen Standpunkt aus gesehen. Hier ist erkennbar, dass die links verwendeten *Downlights cut-off 50 spot* nur kleine Anschnitte an der Wand aber helle Zonen auf dem Boden ergeben, während die rechts verwendeten *Downlights cut-off 30 flood* ihr Licht breiter in den Raum streuen und deshalb die Wände heller und der Boden dunkler erscheint.

Die Farbtafeln A3.9-20 zeigen eine Versuchsreihe mit Tageslicht, in der im Planungsbeispiel Büro der Einfluss von Fensterflächen, Materialien und lichtlenkenden Elementen auf die Raumhelligkeit untersucht wurde. Die ersten vier Farbtafeln zeigen das Büro im Ausgangszustand zu einer bestimmten Tageslicteinstellung. Die Bilder zeigen, dass die Sonne in steilem Winkel durch die vier Fensterflächen auf angrenzende Wände und Tischplatten strahlt.

Die nächsten vier Farbtafeln zeigen die Raumhelligkeit der verschiedenen Varianten, jeweils vom gleichen Standpunkt aus gesehen. Bei der ersten Variante (Farbtafel A3.13) steigt die Raumhelligkeit sprunghaft an, was auf die Fensterbank aus weißem Kunststoff zurückzuführen ist, die das auftreffende direkte Licht tiefer in den Raum reflektiert. Keine signifikanten Veränderungen ergeben sich, wenn die Fensterfläche durch zusätzliche Fenster in den Seitenwänden vergrößert wird (Farbtafel A3.14). Das überrascht im ersten Moment, lässt sich aber damit erklären, dass zwar mehr Sonnen- und Zenitlicht eintritt, dafür aber weniger Flächen da sind, die Licht in den Raum reflektieren können. Auch eine zusätzliche Decke aus Hochglanz-Aluminium trägt unter diesen Umständen nicht zu einer signifikanten Steigerung der Raumhelligkeit bei (Farbtafel A3.15). Farbtafel A3.16 zeigt eine signifikante Steigerung der Raumhelligkeit, wenn in den Bereichen wo direktes Sonnenlicht einfällt weitere lichtlenkende Elemente aus weißem Kunststoff ergänzt werden. Hier wurde ein weiteres Lichtschwert an der Innenseite der Fenster in Höhe der mittleren Sprosse ergänzt, das ebenso wie eine ca. 50 cm breite Verkleidung der Seitenwände aus weißem Kunststoff besteht.

Die Farbtafeln A3.17-20 zeigen wieder die vorherigen Varianten, allerdings ohne dass das indirekte Licht berücksichtigt wurde. Im Vergleich kann hier untersucht werden, ob die Raumhelligkeit eher vom direkten oder indirekten Licht bestimmt wird. Betrachtet man die Farbtafeln, so kann man feststellen, dass es beim direkten Licht (gerichtetes Sonnen- und diffuses Zenitlicht) keine signifikanten Unterschiede gibt. Lediglich in der Variante mit den zwei Lichtschwertern kann man feststellen, dass sie die rechten Teile der Tischplatten verschatten, die bei den anderen Varianten direktes Sonnenlicht bekamen. Vergleicht man für jede Variante das direkte und indirekte Licht, so kann man feststellen, dass bei der Variante mit den zwei Lichtschwertern zwar am wenigsten direktes Licht in den Raum fällt, letztlich aber die größte Raumhelligkeit herrscht, weil durch die Lichtschwerter der Anteil an indirektem Licht überproportional vergrößert wurde. D.h. dass eine Raumhelligkeit weniger vom direkt einfallenden Licht sondern vielmehr vom indirekten Licht abhängt, das von den Oberflächen zurückgeworfen wird. Wenn das Ziel also eine Vergrößerung der Raumhelligkeit wäre, dann ist die Vergrößerung der Fensterflächen nur eine von mehreren Lösungen.

Der Vergleich der Bilder im Szenenviewer ermöglicht also die Analyse von Lichtqualitäten. Eine vertiefende Angabe zu Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten ist nicht das Ziel, weil das Erkennen einer Tendenz für das Kausalverständnis als ausreichend für dieses Lernsystem angesehen wird. Die erkannten Tendenzen bzw. Hypothesen können durch eine Weiterbearbeitung der Varianten im Szeneneditor jederzeit überprüft und vertieft werden.

Durch den Vergleich der Varianten oder Versuchsreihen im Szenenviewer kann der Benutzer mehrere Rückschlüsse auf die Wirkung von Licht im architektonischen Raum ziehen. Er lernt, dass Licht nicht nur eine technische, sondern auch eine visuelle Bedeutung hat, die die Raumwirkung bzw. Raumwahrnehmung erheblich mitbestimmt. Weil selbst ein so einfacher und klarer Raum wie dieser Mockup-Raum nur durch Licht so unterschiedlich wirken kann, wird deutlich, dass Form und Beschaffenheit eines Raums nicht die alleinigen Gestaltungsmittel sind. Dies ist ein erster wichtiger Schritt, wahrzunehmen, dass Licht als wichtiger gestaltgebender Baustoff in der Architektur wieder in das Bewusstsein des Anwenders gerät.

Das Lernsystem fördert die Einsicht, dass Licht und seine Wirkung planbar ist. Dass es Rezepte gibt, wie mit flächiger (horizontaler und vertikaler) und akzentuierter Beleuchtung diese oder jene Wirkung erzielt werden kann. Es fördert die Bildung

eines visuellen Wortschatzes an Lichtwirkungen, der eben nicht nur die Existenz unterschiedlicher Lichtstimmungen, sondern auch deren Realisierungsmöglichkeiten umschließt. Dies ist besonders wichtig angesichts der Tatsache, dass Licht in der Architektur zwar verstärkt eingesetzt werden soll, aber immer wieder falsche Vorstellungen zur Realisierung auftreten.

Eine dritter Lernschritt besteht aus der Einsicht, dass Licht nicht nur von einer Lichtquelle direkt, sondern auch indirekt von Oberflächen zurückstrahlt. Damit wird bewusst, dass die visuelle Wirkung letztlich im Zusammenspiel von Licht und angestrahlter Oberfläche besteht. Dass also eine Planung der visuellen Wirkung nicht beim Licht der Leuchte aufhören darf, weil eben sonst die Gefahr besteht, dass die gewünschte Wirkung durch das Material einer Oberfläche ins Gegenteil verkehrt werden kann. Auch am Beispiel von abgehängten Lichtstrukturen kann man diesen erheblichen Materialeinfluss an der Raumhelligkeit verdeutlichen. Betrachtet man das direkte Licht von Lichtstrukturen im Vergleich mit deren indirektem Licht, wird klar, dass das Anstrahlen einer weißen Decke zu einer größeren Raumhelligkeit führt als ein angestrahlter dunkler Fußboden (Farbtafeln A4.30-33 bzw. 66-69). In diesem Lernschritt wird also die Einsicht gefördert, dass in der Lichtplanung nicht nur Leuchten, sondern auch Oberflächen als lichtgebende Instrumente angesehen werden müssen, die in ihrem Zusammenspiel mit den Lichtquellen geplant werden müssen.

Ein vierter Lernschritt besteht in der Einsicht, dass Leuchten über ihre formale Gestalt Elemente der Architektur sind. Sie können der Architektur untergeordnet werden (Einbau-Downlights) oder aktiv in Erscheinung treten. Hier gelten die Gestaltgesetze. Räume mit ähnlicher Lichtwirkung können über die Architektur der Leuchten in ihrer Wirkung differenziert werden. Derselbe Raum (mit ähnlichen diffusen Lichtverteilungen) wirkt mit „unsichtbaren“ Einbau-Downlights leer, statisch und unstrukturiert, während er durch Lichtstrukturen eine Richtung erhält, bzw. durch Standleuchten in Bereiche zониert wird (Farbtafeln A4.18, 30 u. 38). Gerade bei der Museumsbeleuchtung ist es z.B. wichtig, ob Spotlights durch ihre architektonische Gestalt oder Positionierung mit den angestrahlten Exponaten konkurrieren dürfen oder ob dieselbe Lichtwirkung mit unsichtbaren Einbau-Downlight Richtstrahlern umgesetzt werden soll (Farbtafeln A4.22 u. 24). Dies macht deutlich, dass die Lichtinstrumente als architektonische Elemente aufgefasst werden müssen, die im Einklang mit der Architektur geplant werden müssen.

Ein weiterer Lernschritt erfolgt beim Betrachten der Lichtwirkungen der verfügbaren Leuchten. Hier wird gezeigt, wie konkrete architektonische Aufgaben mit bestimmten

Leuchtentypen erfüllt werden können und dabei auf ganz unterschiedliche Weise die Architektur neu interpretieren. Spotlights „schälen“ durch ihr akzentuierendes Licht architektonische Elemente aus dem Raum heraus, während alles andere an Bedeutung verliert (Farbtafel A4.42). Sie können durch Effekte architektonische Elemente aufnehmen und sie durch Wiederholung in ihrer Präsenz verstärken (Farbtafel A4.43). Sie können aber auch eine Wand im Hintergrund flächig beleuchten und so die Silhouette von Objekten betonen (Farbtafel A4.44). Mit indirektem Licht kann Tageslicht, wie es an einem bewölkten Tag vorherrscht, d.h. hell oben und diffus in der Verteilung, nachgeahmt werden und so zur Abschwächung der Raumkonturen beitragen (Farbtafel A4.45). Eine klassische gleichmäßige Allgemeinbeleuchtung ist z.B. mit Downlights möglich. Die Decke bleibt relativ dunkel, die Wände und ggfs. der Boden werden durch ihre charakteristischen cut-offs strukturiert und hell (Farbtafel A4.46). Wichtig an diesen Beispielen ist die Einsicht, dass Architekturbeleuchtung immer architektonische Ziele verfolgt, und nicht nur unter elektrotechnischen oder energetischen Gesichtspunkten gesehen werden darf.

Zusammenfassung

Für ein Verständnis von Licht in der Architektur ist nicht nur Faktenwissen, sondern vielmehr Anwendungswissen wichtig. Auf der Grundlage von theoretischem Wissen über lichttechnische Kenngrößen, Gestaltgesetze oder technische Produkte kann man nicht wirklich wissen, wie man Licht gezielt einsetzt. Die Frage, wie man eine bestimmte Wirkung mit Licht erzielt, kann nur im praktischen Experiment erlernt und nachvollzogen werden. Allerdings haben die heute vorhandenen realen Versuchslabore ihre Grenzen: Die Bedienung erfordert technisch versiertes Personal und die Möglichkeiten, Licht und Oberflächen zu verändern sind beschränkt. Zum Selbststudium sind diese Labore kaum zugänglich und die Dokumentationen in Form von Foto- oder Videoaufnahmen sehr aufwendig und kaum automatisierbar.

Computerunterstützte Simulationen bieten hier ernstzunehmende Alternativen, die auch in einigen Bereichen bereits seit langem eingesetzt werden. So ist beispielsweise in der Ausbildung von Piloten der Simulator ein vollwertiger Ersatz für die Realität geworden. Nicht nur, weil hier Flugversuche ungefährlicher und wirtschaftlicher sind, sondern weil die simulierte Welt so gut wie gar nicht mehr von der realen Welt zu unterscheiden ist.

Für die Lehrbelange in der architektonischen Lichtplanung sind die Instrumente für eine computerunterstützte Lichtsimulation allerdings noch nicht ausgereift. Hohe Ansprüche an die physikalische Exaktheit und die visuelle Darstellung müssen zwar zur Zeit teuer erkaufte werden, sind aber im Prinzip realisierbar. Professionelle Dienstleister wie das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg entwickeln und nutzen diese Programme im Auftrag von Architekten und Lichtplanern. Aber auch Anwender wie die Leuchtenfirmen ERCO und Trilux setzen sehr stark auf die computerunterstützte Lichtsimulation, wenn es darum geht, Architekten und Lichtplanern eine physikalisch korrekte Lichtdarstellung zu verkaufen. Für Architekten wie Kent Larson sind diese Simulationen das einzige Mittel, um z.B. an den ungebauten Meisterwerken von Louis. I. Kahn die Wirkung von Licht studieren zu können.

Das Internet bzw. das World Wide Web spielt nicht zuletzt deshalb eine große Rolle, weil es als neues Massenmedium, ähnlich dem Fernsehen oder Rundfunk, viele Menschen erreicht. So gesehen wird es von den meisten Anbietern von Internetseiten als innovative Plattform gesehen, die vor allem der Präsentation von Produkten oder

der Verteilung von digitalen Daten nutzt. Vielfältige multimediale und interaktive Darstellungsformen können auch für die Lehre von Vorteil sein, weil damit komplexe Inhalte anschaulich präsentiert werden können.

Diese Arbeit zeigt auf, dass das World Wide Web mehr ermöglicht, als das bisher bekannte passive Konsumieren von Präsentationen mit vorbereiteten Inhalten. Sie zeigt anhand der *virtuellen Lichtlabore* auf, dass die gewählte Kombination von World Wide Web, 3D-CAD und Lichtsimulation ein neuartiges interaktives Lernsystem „I-Light“ ermöglicht, in dem man im Selbststudium ein neues und besseres Verständnis von Licht in der Architektur erlangen kann. Das World Wide Web erhält hier eine neue Bedeutung, weil es zum einen die interaktive dreidimensionale Darstellung von architektonischen Planungsbeispielen ermöglicht (Szeneneditor), und zum anderen weil es eine einfache und ferngesteuerte Bedienung von Lichtsimulationen bietet, deren berechnete Bilder direkt in eine interaktive Präsentation integriert werden (Szenenviewer). Das fotorealistische Bild ist hier nicht Selbstzweck, sondern Mittel zur Evaluation des Entwurfs. Computerunterstützte visuelle Darstellungen können aber noch mehr als „nur“ die reale Welt möglichst fotorealistisch nachzubilden. Sie können z.B. die visuelle Welt um bisher nicht gekannte Darstellungsformen ergänzen, die vor allem für didaktische Zwecke genutzt werden können. Diese Möglichkeiten wurden in dem vorliegenden Lernsystem thematisiert und als *duale Darstellung* realisiert. Jede im Selbststudium erstellte Variante eines architektonischen Planungsbeispiels wird im interaktiven Szeneneditor aus didaktischen Gründen abstrakt und im Szenenviewer fotorealistisch dargestellt, sodass sowohl die Hardware des Lichts (Typ und Anordnung der Leuchten oder Fenster) wie auch die Software (Wirkung auf Oberflächen) im Kausalzusammenhang gezeigt und verstanden werden.

Darüberhinaus kann dieser Ansatz des entdeckenden Lernens in virtuellen Laboren oder Experimentierfeldern auch auf andere Bereiche in der Architektur übertragen werden, die mit Computerunterstützung simulierbar sind. Angesichts der fortschreitenden technologischen Entwicklung werden diese Bereiche zunehmen. Sei es, dass sie durch Computerunterstützung neu entstehen, wie beispielsweise die Baurobotik, sei es, dass sich die computerunterstützte Simulation auch in den bekannteren bauphysikalischen Bereichen wie der thermischen oder akustischen Simulation immer weiter Richtung Planungswerkzeug verbessert.