

„I-Light“

Ein webbasiertes Lernsystem
zum Entwerfen mit Licht

Konzipierung und Realisierung
eines Prototypen

Vom Fachbereich Architektur
der Technischen Universität Darmstadt genehmigte

Dissertation

zur Erlangung des Grades
des Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt von
Stephen Wittkopf
geboren in Tübingen

Erstreferent: Prof. Manfred Koob
Zweitreferent: Hon. Prof. Dr.-Ing. Harald Hofmann

Tag der Einreichung: 20. Dezember 2000
Tag der mündlichen Prüfung: 26. April 2001

<http://elib.tu-darmstadt.de>

Danksagung

Für die fachliche und didaktische Betreuung dieser Arbeit und die Gewährung der notwendigen Freiräume während der zahlreichen Projektphasen spreche ich Herrn Prof. Manfred Koob meinen herzlichsten Dank aus.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Harald Hofmann für seine wertvollen Hinweise zur Lichtplanung bedanken.

Für meine Frau Nicole.

0	KURZBESCHREIBUNG	1
1	EINLEITUNG	
	1.1 Problemstellung und Zielsetzung	4
	1.2 Aufbau der Arbeit.....	6
2	GRUNDLAGEN UND STAND DER TECHNIK	
	2.1 Lichtplanung.....	8
	2.1.1 Bedeutung für die Architektur.....	8
	2.1.2 Visuelle Wahrnehmung.....	11
	2.1.3 Visuelle Darstellungen in der Planungspraxis.....	19
	2.1.4 Interaktive computerunterstützte Präsentationen	26
	2.1.5 Zusammenfassung und Bewertung.....	31
	2.2 Lernen	34
	2.2.1 Wissensarten.....	34
	2.2.2 Lerntheorien	37
	2.2.3 Zusammenfassung und Bewertung.....	41
	2.3 Computerunterstütztes Lernen.....	43
	2.3.1 Bedeutung für Lehre und Ausbildung	44
	2.3.2 Bedeutung von Multimedia.....	47
	2.3.3 Bedeutung des World Wide Web	48
	2.3.4 Lernsoftwaretypologien	52
	2.3.5 WWW-Dokumenttypen	55
	2.3.6 Zusammenfassung und Bewertung.....	59
	2.4 Computerunterstützte Lichtsimulation	61
	2.4.1 Programmtypen	61
	2.4.1.1 Planungsprogramme von Leuchtenherstellern.....	62
	2.4.1.2 3D-CAD Simulationsprogramme	63
	2.4.2 3D-CAD Modellierung.....	71
	2.4.2.1 Geometrische Modellierung	71
	2.4.2.2 Semantische Modellierung	77
	2.4.2.3 CAD-Datenaustausch	79
	2.4.3 Wirklichkeitsnahe Darstellung	85
	2.4.3.1 Physikalische Lichtausbreitung	85
	2.4.3.2 Berechnungsverfahren.....	90
	2.4.4 Zusammenfassung und Bewertung.....	98
	2.5 Handlungsbedarf	100

3	KONZEPT DES WEBBASIIERTEN LERNSYSTEMS „I-LIGHT“	
3.1	Lernmethode.....	104
3.2	Funktionelle Anforderungen.....	107
3.3	Technologischer Aufbau	112
4	IMPLEMENTIERUNG „I-LIGHT“	
4.1	Basiskonfiguration des Backends	122
4.1.1	Standardprogramme und Dateistruktur	122
4.1.2	Netzwerkeinstellungen	125
4.1.3	Standardauthentifizierung.....	125
4.2	Entwickelte Strukturen, Modelle, Programme und Daten.....	128
4.2.1	Dateistruktur.....	128
4.2.2	Objektorientiertes Szenenmodell	129
4.2.3	Programme im Verzeichnis Class	134
4.2.3.1	Programme des Szeneneditors.....	134
4.2.3.2	Programme des Servermoduls	143
4.2.4	Daten im Verzeichnis Elements	144
4.2.4.1	Lightscape Bibliotheken.....	144
4.2.4.2	VRML Dateien	144
4.2.5	Daten im Verzeichnis Luminaires	147
4.2.5.1	Lightscape Bibliotheken.....	148
4.2.5.2	VRML Dateien	149
4.2.6	Programme im Verzeichnis Perl	152
4.2.7	Daten im Verzeichnis Rooms	156
4.2.7.1	Lightscape Dateien.....	156
4.2.7.2	VRML Dateien	157
4.2.7.3	Konfigurationsdatei des Szeneneditors.....	157
4.2.7.4	Shockwave Datei	164
4.2.8	Daten im Verzeichnis Users.....	166
4.2.8.1	HTML Dateien	167
4.2.8.2	Lightscape Simulationsdateien.....	169
4.2.8.3	DXF Szenendatei	169
5	ANWENDUNG „I-LIGHT“	
5.1	Vorbereitung des Lernsystems.....	175
5.2	Start des Lernsystems	176
5.3	Exploration im Szeneneditor.....	177
5.3.1	Laden einer Originalszene	177
5.3.2	Bewegen in der räumlichen Szene	178
5.3.3	Markieren von Objekten	178
5.3.4	Aufruf von Funktionen im Menü	179

5.3.5	Ändern von Material	179
5.3.6	Verschieben von Objekten	180
5.3.7	Einfügen von Objekten	180
5.3.8	Speichern einer Szene	180
5.3.9	Kontrolle der Lichtwirkungen der verfügbaren Leuchten	181
5.3.10	Einfügen einer Leuchte	183
5.3.11	Editieren in verschiedenen Ansichten.....	184
5.3.12	Kopieren einer Leuchte.....	184
5.3.13	Rendern einer Szene	184
5.3.14	Szenenvariationen durch Ändern der Leuchtenattribute.....	185
5.3.15	Einfügen eines skalierbaren Elements	186
5.3.16	Verschieben mehrerer Elemente.....	187
5.3.17	Einfügen eines Achsobjekts	167
5.3.18	Ausrichten von Objekten	187
5.3.19	Einfügen von Fenstern	187
5.3.20	Einstellen des Tageslichts	188
5.4	Präsentation im Szenenviewer.....	189
6	ZUSAMMENFASSUNG	194
ANHANG		
A	Farbtafeln	
1	Homepage „I-Light“	1
2	Szeneneditor.....	4
3	Szenenviewer	20
4	Lichtwirkungen der Leuchten.....	30
5	Grundlagen.....	42
B	Programmunterlagen	
1	Herleitung der Leuchtenvolumen.....	60
2	Herstellerangaben zu den verwendeten Leuchten.....	70
3	Listings Perl-Programme	71
4	Klassendiagramm objektorientiertes Szenenmodell	80
5	Beispiel Konfigurationsdatei	81
6	Beispiel DXF-Datei.....	91
7	DXF Spezifikation.....	100
8	Lightscape Kommando-Optionen	110
9	Softwareverzeichnis	112
10	Pflichtenheft.....	113
C	Quellenverzeichnis	119
D	Abbildungsverzeichnis	123
E	Glossar.....	129
F	Bibliographie.....	160
G	Erklärung.....	168
	LEBENS LAUF	169

0 Kurzbeschreibung

Mit der steigenden Bedeutung architektonischer Beleuchtung steigt der Bedarf an entsprechender Planung. Die Möglichkeiten digitaler Instrumente haben Leuchtenhersteller erkannt, die 3D-CAD und Simulationen zur Erstellung von Präsentationen und das Internet als Verteiler einsetzen. Im Hochschulbereich ist es wichtig, Instrumente und Methoden anzubieten, mit denen die Wechselwirkung von Licht und Architektur anschaulich, nachvollziehbar und interaktiv erlernt werden kann.

Einleitend werden in einem theoretischen Kapitel die Grundlagen der Lichtplanung und lernpädagogischer Konzepte aufgezeigt. Parallel wird der Stand der Technik auf den Gebieten des computerunterstützten Lernens und der Lichtsimulation vorgestellt und hinsichtlich der lernpädagogischen Eignung bewertet. Daraufhin wird ein Handlungsbedarf formuliert, der eine neuartige Integration der einzelnen Bereiche vorsieht. Er mündet in die Entwicklung eines interaktiven webbasierten Lernsystems zum Entwerfen mit Licht - *I-Light* - dessen Konzept und Realisierung in den folgenden Kapiteln beschrieben wird. In einer Beispielanwendung zeigt der Verfasser abschliessend auf, wie das Internet in dieser innovativen Verbindung mit 3D-CAD und Simulation einen neuen Beitrag zum besseren Verständnis des Mediums Licht in der Architekturwahrnehmung leistet.

Den Kern dieses Lernsystems bildet ein neuartiges *virtuelles Lichtlabor*, in dem *architektonische Planungsbeispiele dreidimensional dargestellt und interaktiv verändert* werden können. Ein entwickeltes *semantisches Szenenmodell* sorgt dafür, dass Beleuchtung, Materialien und Begrenzungsflächen didaktisch angemessen variiert und verglichen werden, sodass visuelle Wirkungen überprüft und wichtige Zusammenhänge wahrgenommen werden können. Der Verfasser orientiert sich an der Lernmethode durch Simulation und bindet 3D-CAD- und Lichtsimulationsprogramme in das Lernsystem ein. Das berechnete fotorealistische Bild wird nicht - wie sonst üblich - als Präsentationsmaterial, sondern als interaktives Werkzeug angesehen.

Da 3D-CAD und Lichtsimulationsprogramme viel Anwendungskennnisse voraussetzen, verfolgt der Verfasser nicht das Ziel, den Benutzer mit diesen komplexen Programmen zu konfrontieren. Er entwickelt vielmehr ein neues System mit einer einfach zu bedienenden grafischen Oberfläche, mit der eine 3D-Szene geladen, individuell verändert und gespeichert werden kann (*Frontend*).

Sie ermöglicht desweiteren die Fernsteuerung einer automatischen, fotorealistischen Simulation auf Knopfdruck, wobei via Internet die Berechnungen auf einem zentralen Hochleistungs-PC ausgelagert werden und nicht auf dem PC des Anwenders erfolgen. Für den Betrieb des Frontend ist nur ein durchschnittlicher PC mit einem Standard-Webbrowser notwendig. Für die Gegenstelle entwickelt der Verfasser eine neuartige Schnittstelle, die einen Standard-Webserver um die neuartige Möglichkeit des Speicherns und Ausführens von Lichtsimulationen erweitert (*Backend*).

Die Anwendung des Lernsystems gliedert sich in folgende fünf Schritte:

1. Auswahl des architektonischen Planungsbeispiels
2. Information über die zur Verfügung stehenden Elemente
3. Interaktive Änderung des Planungsbeispiels
4. Speichern der nunmehr individuellen Varianten des Planungsbeispiels
5. Vergleichendes Betrachten der Varianten (weiter bei 3)

Registrierte Benutzer können im ersten Schritt ein architektonisches Planungsbeispiel wählen, das ihnen daraufhin im Ausgangszustand gezeigt wird (Abb. 1). Bevor der Benutzer anfängt die Szene individuell zu verändern, kann er sich über die visuellen Wirkungen der zur Verfügung stehenden Leuchten informieren (Abb. 2). Anschliessend kann er Änderungen vornehmen, z.B. Wände oder Decken verschieben oder Leuchten einfügen und dabei jederzeit seinen Stand- und Blickpunkt im Raum verändern (Abb. 3). Der Verfasser entwickelte eine abstrakte Darstellung für Licht und Leuchten, die die bei Lichtplanungen übliche Darstellung der Leuchtenposition und Lichtausbreitung um eine neue räumliche Dimension erweitert. In einem vierten Schritt kann der Benutzer seine so erstellten individuellen Varianten speichern und automatisch berechnen lassen. Hier unterscheidet sich das System wesentlich von den üblichen webbasierten Anwendungen, deren Interaktivität in der Regel aus Abrufmöglichkeiten von vorbereiteten zweidimensionalen Bildern von bereits berechneten Simulationen besteht. Diese Funktionen werden durch ein vom Verfasser entwickeltes Programm, das Java-Applet *Szeneneditor* realisiert, das er im Kapitel Implementierung ausführlich vorstellt. In einem letzten Schritt können im sogenannten *Szenenviewer* die errechneten Bilder vergleichend betrachtet werden (Abb. 4). Dabei kann zwischen den verschiedenen Perspektiven oder Varianten gewechselt werden, und zwischen dem direkten und indirekten Licht, um den Einfluss des direkten Lichts isoliert betrachten zu können. Der Verfasser entwickelte eine Methode der *dualen Darstellung*, in der eine Szene sowohl abstrakt (als Beleuchtungskonzept) als auch fotorealistisch (in seiner visuellen Wirkung) dargestellt werden kann.

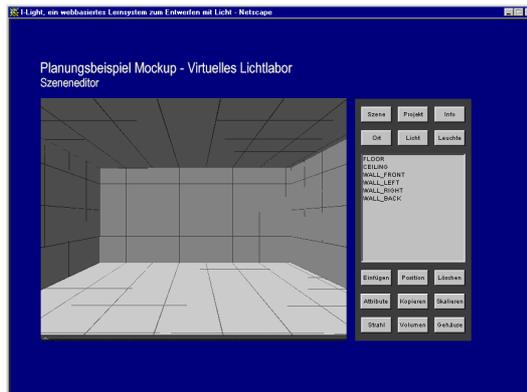


Abb. 1 I-Light: Szeneneditor 1, ein gewähltes Planungsbeispiel im Ausgangszustand



Abb. 2 I-Light: Information über die Lichtwirkungen der verfügbaren Leuchten

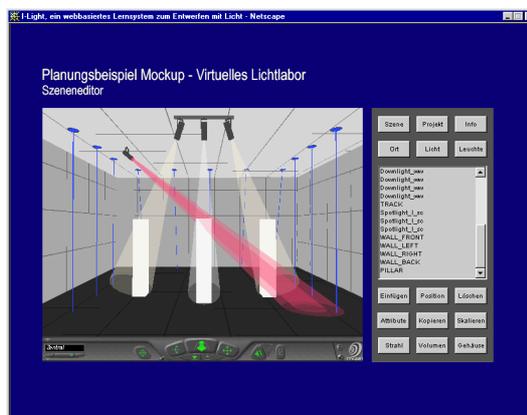


Abb. 3 I-Light: Szeneneditor 2, individuell entworfene Variante des Planungsbeispiels in lichtplanungstypischer und dreidimensional erweiterter interaktiver Darstellung

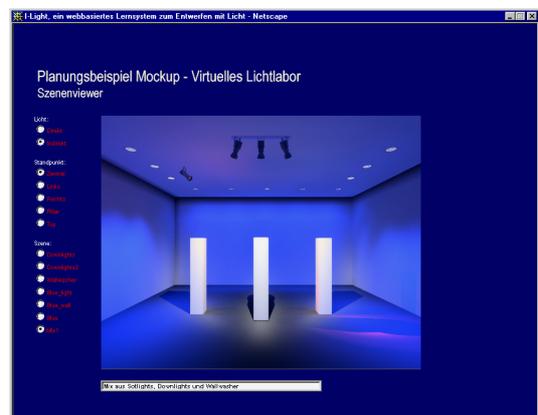


Abb. 4 I-Light: Szenenviewer zum vergleichenden Betrachten der Varianten. Darstellung der Lichtwirkungen anhand von fotorealistischen Simulationen

Das vom Verfasser vorgestellte System unterscheidet sich damit im didaktischen Konzept und in der technischen Realisierung von den bisher auf ähnlichen Gebieten existierenden Lösungen. Die interaktiven virtuellen Lichtlabore der architektonischen Planungsbeispiele stellen einen neuen Ansatz webbasierter Lernumgebungen dar, der zu einem neuen und besseren Verständnis von Licht in der Architektur führen kann. Zu den gewählten Werkzeugen (HTML, Java, VRML, Web-Server, Lightscape) gibt es auch nach Abschluss der Entwicklung noch keine ausgereiften Alternativen.

Als weiterführende Arbeiten schlägt der Verfasser die vertiefende Evaluierung und Weiterentwicklung des Systems vor, die in der Ergänzung der Planungsbeispiele und Elemente, in der Integration eines alternativen Simulationsprogramms oder in der Erweiterung des zugrundeliegenden semantischen Modells bestehen könnte. Letzteres würde bedeuten, dass nicht nur die gestalterische, sondern auch thermische Wirkung des Lichts im *virtuellen Labor explorativ erlernt* werden kann.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Beim architektonischen Entwerfen mit Licht ist immer wieder eine Wissenslücke der kausalen Zusammenhänge zwischen Licht, Form und Material festzustellen. Wie jeder Entwurf ist auch der einer architektonischen Beleuchtung ein Optimierungsprozess, in dem stetig Ideen und Konzepte entwickelt, überprüft und überarbeitet werden. Aber gerade bei Licht ist dies schwierig, weil die Darstellung sich einer für Architekten und Lichtplaner gemeinsam verständlichen Sprache entzieht.

Nichtsdestotrotz nimmt Licht einen immer höheren Stellenwert in der Architektur ein. Nach einer anfänglichen Sorge um genug Licht, ist heute der differenzierte Einsatz zur Gestaltung von Wahrnehmungshierarchien innerhalb einer Architektur wichtig: Licht als Medium für die visuelle Wahrnehmung und damit als Faktor unseres Wohlbefindens. Licht als Instrument, Architektur zu interpretieren und damit in seiner Aussage zu verstärken. Licht aber auch, um Architektur zu dynamisieren, d.h. sie durch wechselnde Beleuchtung zu inszenieren. Licht als Corporate Identity.

All diese Ansprüche an das Licht, in Verbindung mit den technologischen Fortschritten in der Lichttechnik, machen die architektonische Lichtplanung zu einem immer komplexeren Gebiet, für dessen Inhaltsvermittlung die o.g. Schwierigkeiten überwunden werden müssen.

Impulse für eine Überwindung dieser Schwierigkeiten kommen vor allem aus dem Bereich der Neuen Medien. Besonders hervorzuheben sind hier computerunterstützte Lichtsimulationsprogramme, die auf der Basis von 3D-CAD Modellen nahezu physikalisch exakte Berechnungen bei einer gleichzeitig fotorealistischen Darstellung von Licht ermöglichen, die sehr nahe an Fotografien realer Objekte heranreicht. Auch die Entwicklungen auf dem Gebiet des Internet, und insbesondere dem World Wide Web WWW, sind vielversprechend. Das WWW ist mittlerweile Synonym der Informationsgesellschaft geworden, in der multimediale Darstellungen sehr wichtig sind. Im Bildungsbereich spielen noch die webbasierten Lernsysteme eine große Rolle, die in vielen Fachbereichen bereits genutzt werden. In der Architektur allerdings noch sehr selten.

Die Forschung auf dem Gebiet der Kombination von 3D-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 3D-CAD-Programmen ist vor allem die Integration und der Datenaustausch von Produkt- oder Planungsdaten im zentralen Gebäudemodell nach IFC ein Forschungsschwerpunkt. Eine Kombination von 3D-CAD und Lichtsimulation gibt es erst, seitdem beide Programme seit ein paar Jahren auf den gleichen Plattformen laufen, mit dem Ziel Lichtsimulationen zunehmend in 3D-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. 50.000 Studierenden die Möglichkeit, sich orts- und zeitunabhängig weiterzubilden, allerdings ohne einen Kurs zur Architekturbeleuchtung. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat kürzlich einen Forschungsschwerpunkt etabliert, der das „kooperative Arbeiten in verteilten Umgebungen“ fördern soll. Ein Bereich, der vor allem für Planer besonders interessant ist, die an komplexen Projekten zunehmend in virtuellen Teams arbeiten.

Ansätze für eine Kombination von 3D-CAD, Lichtsimulation und Internet findet man vor allem bei den Leuchtenherstellern wie z.B. Trilux und ERCO, die berechnete Bilder als Planungshilfen im Internet präsentieren (allerdings als geschlossene Sammlung). Einen weitergehenden technischen Ansatz findet man bei ERCO. Ein Teil des Leuchtenprogramms liegt zur Verwendung für digital arbeitende Planer vor, d.h. virtuelle Leuchten können entweder direkt von der ERCO-Webseite per Drag&Drop in das 3D-CAD-Programm 3D-Studio-VIZ „gezogen“ werden oder als Leuchtenbibliothek für das Lichtsimulationsprogramm 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 Berechnungsvorschriften zur Berechnung weitergeben kann, allerdings hier ohne dass die Szene interaktiv und dreidimensional dargestellt wird.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein neuartiges Lernsystem zu konzipieren, das zu einem neuen und besseren Verständnis des Mediums Licht in der Wahrnehmung von architektonischem Raum beiträgt. Dabei sollen die digitalen Instrumente 3D-CAD, Lichtsimulation und Internet weniger zur Produktion von Anschauungsmaterial genutzt werden. Vielmehr sollen sie zu einem innovativen und interaktiven Planungsmedium verwoben werden, das sich durch leichte Bedienung, Interaktivität und dreidimensionale Darstellung auszeichnet. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, einen technischen Prototypen zu konzipieren und zu entwickeln, der die Machbarkeit dieses Ansatzes zeigt.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in folgende sieben Abschnitte unterteilt:

Nach Kurzbeschreibung und Einleitung werden im zweiten Abschnitt die Grundlagen und der Stand der Technik auf den relevanten Gebieten der Lichtplanung, Lernen, computerunterstütztes Lernen sowie computerunterstützte Lichtsimulation aufgezeigt. Dieser Abschnitt endet mit einer zusammenfassenden Bewertung und der Feststellung eines Handlungsbedarfs.

Im folgenden Abschnitt wird daraufhin das vom Verfasser entwickelte Konzept „I-Light, ein webbasiertes Lernsystem zum Entwerfen mit Licht“ vorgestellt, das ein *entdeckendes Lernen in virtuellen, interaktiven und dreidimensionalen Lichtlaboren* vorsieht. Dieses Konzept wird hinsichtlich Lernmethode, funktionellen Anforderungen und technologischem Aufbau konkretisiert.

Im vierten Abschnitt wird die Realisierung des Konzepts, d.h. die Implementation des Lernsystems, dokumentiert. Dabei wird besonderer Wert auf die neu entwickelten Datenmodelle (objektorientiertes Szenenmodell), Programme (Szeneditor und Szenenviewer), Schnittstellen (Renderserver), Datenformate (DXF-Szenendatei, Konfigurationsdatei) und Datenstrukturen (des Webservers) gelegt, die den funktionsfähigen Prototyp des Lernsystems „I-Light“ ergeben.

Im fünften Abschnitt wird anhand von Beispielen die Anwendung dieses Prototypen dokumentiert. Dabei wird die Exploration, d.h. die interaktive Änderung der dreidimensionalen Szene im Szeneditor, und die anschließende Präsentation im Szenenviewer unterschieden.

Im letzten Abschnitt wird der Nutzen des Systems hinsichtlich eines neuen und besseren Verständnisses von Licht in der Architektur und der Machbarkeit des prinzipiellen Ansatzes vom *Lernen in virtuellen Laboren* zusammengefasst. Darüber hinaus werden mögliche Anknüpfungspunkte für weitere Arbeiten skizziert.

Die Arbeit wird durch einen Anhang in Form eines zweiten Bandes ergänzt. Er enthält die Farbtafeln, Programmunterlagen, das Quellen- und Abbildungsverzeichnis, ein Glossar, eine Bibliographie sowie den Lebenslauf des Verfassers.