

Wahrnehmung und Bewertung künstlich beleuchteter Räume

12. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen
Gesellschaften "Licht '96", 2.-4. Oktober 1996, Leipzig

Conference Paper

Author(s):

Schierz, Christoph; Krueger, Helmut

Publication date:

1996

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004361924>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Wahrnehmung und Bewertung künstlich beleuchteter Räume

Christoph Schierz

Helmut Krueger

Zusammenfassung

Es wird eine experimentelle Studie vorgestellt, in welcher untersucht wurde, wie die objektive, physikalische Welt mit der subjektiven, psychologischen Welt verknüpft werden kann. Bindeglied und Kern dieser Studie ist dabei das Modell einer sogenannten „mentalenen Konzeptstruktur“ der visuellen Wahrnehmung. Es wird angenommen, daß an ihr und nicht direkt an der objektiven Welt subjektive Bewertungen erfolgen. Als objektive Welt dienten für die Studie sogenannte Lichtszenarien: mittels Diabildern erzeugte Stereobilder eines verschiedenartig beleuchteten Innenraums. Mit unterschiedlichen Methoden konnte die „mentale Konzeptstruktur“ und deren Bewertung erfaßt und in Zusammenhang gebracht werden. Es zeichnet sich ab, daß zur Umsetzung der Resultate in die Praxis und damit zur Erzielung eines für den Menschen förderlichen „visuellen Klimas“ die Konzeption der Beleuchtungsplanung neu zur Diskussion gestellt werden muß.

Einleitung

«So wie die äußere Welt der Objekte mit Licht beleuchtet wird, so wird die innere Welt mit Konzepten beleuchtet: Konzepte welche durch die Netzhautbilder der Augen ausgewählt werden.»

Mit diesem Satz eröffnet der Neuropsychologe R. L. Gregory einen Artikel /1/, in welchem zwei unterschiedliche Theorien der visuellen Wahrnehmung diskutiert werden: Die ingenieurwissenschaftliche Sicht eines *Reiz-Antwort-Systems* und die psychologische Sicht einer sogenannten „*Look-Up-Wahrnehmung*“. Die beiden Theorien charakterisieren die unterschiedlichen Sichtweisen, welche bezüglich der Bewertung einer künstlich beleuchteten Umwelt verbreitet sind. Für den Lichtplaner und den Arbeitswissenschaftler stellt sich immer wieder das Problem, die Beleuchtungswünsche der Architekten und die Anforderungen an eine arbeitsgerechte Beleuchtung zu verbinden. Dies liegt daran, daß Architekten und Lichttechniker einen unterschiedli-

Dr. sc. nat. Ch. Schierz
email: schierz@iha.bep.ETHZ.ch

Prof. Dr. H. Krueger
email: krueger@iha.bep.ETHZ.ch

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
Eidgenössische Technische Hochschule
CH-8092 Zürich
Fax: +41 1 632 11 73

chen Zugang zum Thema haben: Der Architekt berücksichtigt eher künstlerisch-psychologische Aspekte einer Beleuchtungsanlage und arbeitet häufig mit Blickfängen, während der Lichttechniker mehr die ingenieurwissenschaftliche Anschauung vertritt und sich an Sehleistungskriterien orientiert. Es ist jedoch bekannt, daß photometrische Gütemaße von Beleuchtungsanlagen allein nicht ausreichen, um in Innenräumen eine die Insassen zufriedenstellende Lichtgebung zu ermöglichen. Licht wirkt nicht nur als Sehreiz, sondern auch als Informationsstruktur.

Ein Reiz-Antwort-System arbeitet im wesentlichen dadurch, daß ein Reiz über ein Netz „interner Schalter“ direkt eine Antwort steuert oder kontrolliert. Dieser Vorgang ist immer mit einer Reaktionszeit verbunden. Nach der Theorie der „Look-Up“-Wahrnehmung hingegen, liegen *mentale Konzepte* möglicher Umweltgestaltungen bereits als Seherfahrung vor. Letztere eignete sich der Mensch in seinem Kulturkreis unter anderem im Laufe der Evolution und der Entwicklung nach der Geburt sowie in seiner unmittelbaren Vergangenheit an. Durch sensorische Information vom Auge wird das passendste Konzept ausgewählt und zur Wahrnehmung gebracht.

Ein solches System hat im Gegensatz zum Reiz-Antwort-System folgende Eigenschaften:

- a) Es kann in vernachlässigbarer Zeit reagieren. Dadurch ist es möglich, einen Innenraum in kurzer Zeit visuell zu beurteilen, obwohl eine sehr große Datenmenge in Form von Leuchtdichte- und Farbinformationen anliegt.
- b) Es kann auf nicht wahrnehmbare Eigenschaften schließen. Auch wenn auf einem Tisch die Beleuchtungsstärkeverteilung und damit die wahrgenommenen Leuchtdichten ungleichmäßig sind, entsteht nicht der Eindruck eines unregelmäßig verteilten Reflexionsgrads. Die Information zum nicht wahrnehmbaren Reflexionsgrad wird aus dem mentalen Konzept des Tisches gewonnen.
- c) Es kann auf Grund von Hypothesen über die Gestaltung der Umwelt auch bei fehlender sensorischer Information arbeiten. Anhand der psychologischen Blendung ist zu erkennen, daß der Mensch darauf reagiert. Er fühlt sich durch eine Blendquelle – z.B. eine helle, sonnenbeschienene Stoffstore – belästigt (=Antwort), weil diese zwar Aufmerksamkeit erregt, aber keine Information bietet (=fehlender Reiz). Ein Fenster mit Blick ins Freie führt hingegen kaum zu psychologischer Blendung, auch wenn die Leuchtdichten diejenigen der Stoffstore übertreffen.
- d) Es kann zeitliche Lücken schließen. Zum Beispiel sehen wir trotz Augenlidschlag eine zeitlich kontinuierliche Umwelt.

Parallel zu den beiden unterschiedlichen Betrachtungsweisen finden sich in der Literatur zwei unterschiedliche Forschungsmethoden /2/. Beispiele welche dem *ingenieurwissenschaftlichen Ansatz* des Reiz-Antwort-Systems entsprechen, sind Studien zur Beleuchtungsstärke /3/, zur mittleren Leuchtdichte /4/, zur maximalen Leucht-

dichte (Blendung) /5/ und zu Kombinationen davon /6/. Die *psychologisch orientierte Forschung* zur Beleuchtungswirkung setzt sich eher aus sporadischen Studien zusammen, die untereinander kaum koordiniert wurden. Diese bieten Zugang zu Modellen mentaler Konzepte sowie zu deren Bewertung. Beispiele sind Befragungen /7/ sowie subjektive Vergleiche zwischen verschiedenen Lichtgebungen /8/. Auch das Verhalten von Personen in Abhängigkeit der Beleuchtung wurde am Beispiel des Lärmpegels /9/ oder der Wahl eines Sitzplatzes /10/ untersucht.

Die Empfehlungen zu den traditionellen Güte Merkmalen einer Beleuchtung beruhen weitgehend auf dem Ansatz des *Reiz-Antwort-Systems*. Beim Sehvorgang ist der Reiz die Leuchtdichte- und Farbverteilung der Umgebung. Die Antwort ist das Verhalten, das Befinden und die Leistungsbereitschaft der Person. Momentane Absicht und Aufmerksamkeit der Person bestimmen die „internen Schalterstellungen“. Maßstab für diesen Ansatz ingenieurwissenschaftlicher Bewertung ist die sogenannte Sehleistung. Diese geht Hand in Hand mit der maximalen Wahrnehmungsgeschwindigkeit, die bei der Lösung schwieriger Sehaufgaben erreichbar ist. Die Zeit zwischen Reiz und Antwort sowie die Richtigkeit der Antwort ist Maßstab dafür, wie günstig die Ausgangsbedingungen den Fähigkeiten des Menschen angepaßt waren.

Im täglichen Leben ist jedoch die „Look-Up“-Wahrnehmung der Normalfall. *Daher können die Reaktionszeit und somit die Sehleistung nicht zur Bewertung der künstlich beleuchteten Umwelt herangezogen werden.* Die Sehleistung ist nur in denjenigen Fällen von Bedeutung, für welche die Wahrnehmung eines Sehobjekts durch kein mentales Konzept vorbereitet wird. Dies ist zum Beispiel bei der Produktprüfung der Fall, wo zufällig verteilte Fehlerstellen auf dem Arbeitsgut entdeckt werden müssen. Auch klassische Sehtests, bei welchen eine zufällig gewählte Orientierung eines Sehzeichens erkannt werden muß, können gut durch ein Reiz-Antwort-System beschrieben werden. In einer bekannten typischen Umwelt, wie sie zum Beispiel ein beleuchteter Arbeitsraum darstellt, überwiegen jedoch die determinierten Strukturen. Diese sprechen in Personen mit ähnlichem kulturellem Hintergrund ähnliche mentale Konzepte an. Für eine Beleuchtungsbewertung von Innenräumen muß daher ein anderer, auf solchen Konzepten beruhender Ansatz gewählt werden.

Ziel der Untersuchung

Die in diesem Beitrag beschriebene Untersuchung hatte zum Ziel, für die beiden unterschiedlichen Zugänge zum Thema „Wahrnehmung und Bewertung künstlich beleuchteter Räume“ einen gemeinsamen Rahmen, d.h. ein Modell zu schaffen und dieses mit experimentellen Untersuchungen zu verifizieren.

Modell zur Wirkung einer objektiven Umwelt auf das subjektive Erleben

Die objektive Welt wird in Form eines visuellen Reizes über das Auge mittels verschiedener Such-, Analyse- und Synthesestrategien in die subjektive Welt der Konzepte abgebildet (siehe Fig. 1 oben, abgeändert nach /11/). Diese subjektive Welt wird einerseits affektiv (emotional) bewertet (z.B. angenehm \leftrightarrow unangenehm) und es findet andererseits eine Attributierung statt (z.B. altmodisch \leftrightarrow modern). Affektive Bewertung und Attributierung beeinflussen auch die subjektive Welt, das heißt, die Wahrscheinlichkeit, welches mentale Konzept die „Look-Up“-Wahrnehmung auswählt. Werden beispielsweise verschiedene visuelle Reize aufgrund eines subjektiven Vergleichs in eine Rangliste gebracht, hängt diese nicht nur von objektiven Reizparametern wie etwa der Leuchtdichteverteilung ab, sondern auch davon, ob der Reiz als positiv oder negativ empfunden wird (affektive Bewertung).

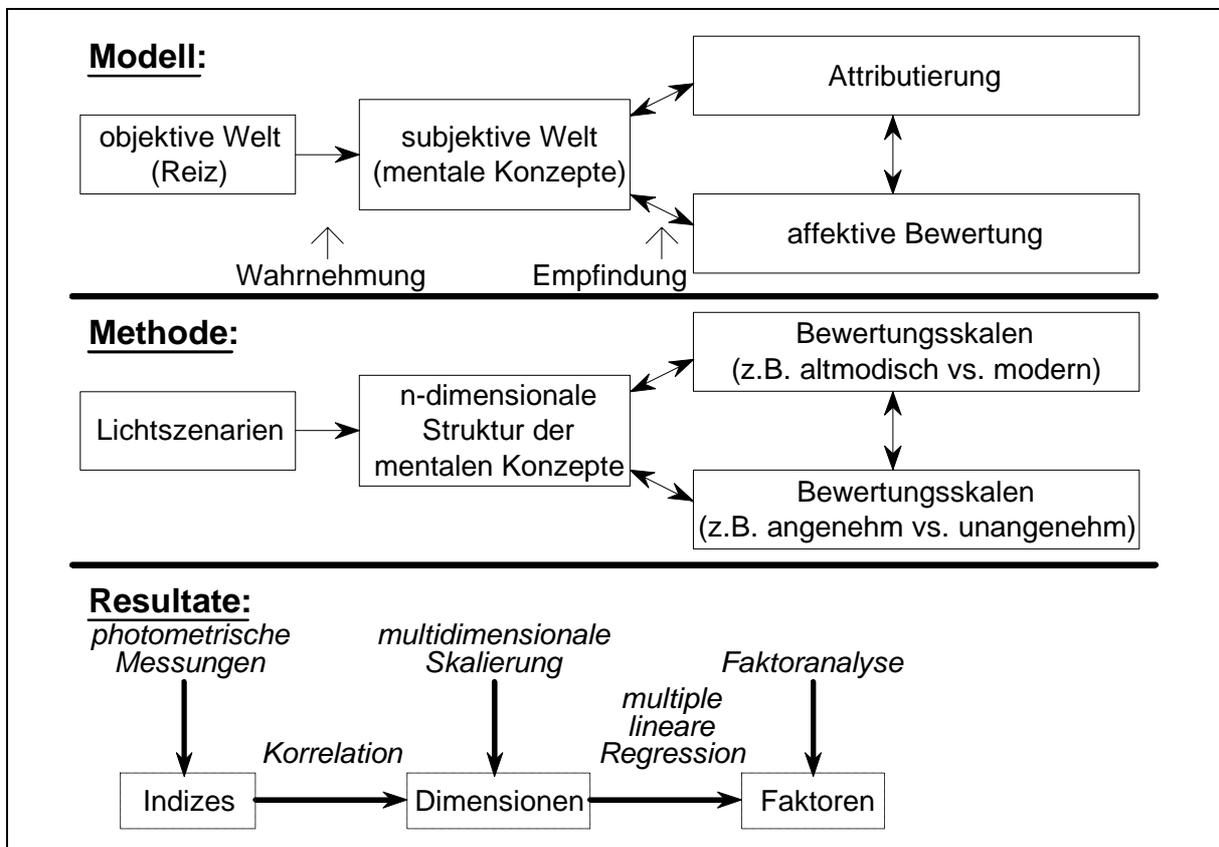


Fig. 1: Oben: Modell spezifischer sensorischer Wirkungen auf die subjektive Welt mentaler Konzepte und deren Bewertung.
Mitte: Übersicht über die in der Untersuchung verwendeten Methoden zur experimentellen Nachbildung des Modells.
Unten: Übersicht über die Resultate der Untersuchung und über die verwendeten statistischen Verfahren.

Untersuchungsmethoden

An der Untersuchung beteiligten sich 21 Versuchspersonen, 10 Frauen und 11 Männer unterschiedlichen Alters und Berufs. Als Reiz dienten sogenannte „Lichtszenerien“ (Fig. 1 Mitte). Es sind dies Ansichten eines mit Kunstlicht beleuchteten Büro-

raumes unterschiedlicher Lichtverteilung (Fig. 2). Die Ansichten konnten den Versuchspersonen in Form realitätsnaher photographischer Stereobilder über einen Betrachtungsapparat in rascher Folge präsentiert werden (Fig. 3). Durch den schnellen Wechsel wurde ein direkter Vergleich je zweier Lichtszenarien möglich, was mit realen Räumen kaum ausführbar wäre. Über Lautsprecher konnten die Versuchspersonen zu den Lichtszenarien befragt werden. Deren Antworten erfolgten durch Einstellen eines Drehschalters auf eine von sieben Schalterstellungen.

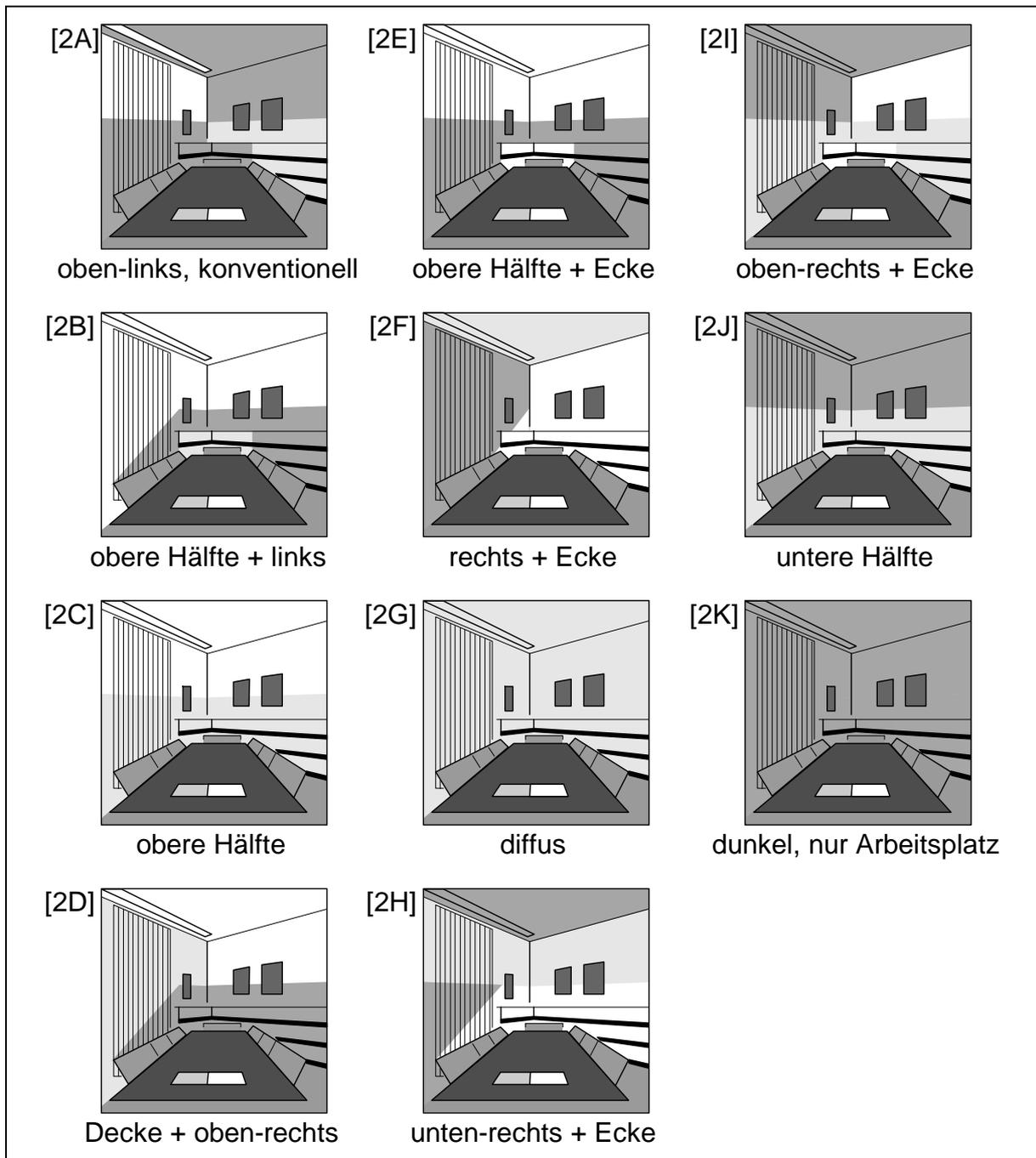


Fig. 2: Schematische Darstellung der untersuchten Lichtszenarien, gekennzeichnet mit einer Nummer in eckigen Klammern. Die Lichtszenarien wurden in Form von Stereobildern mit den angegebenen unterschiedlichen Lichtverteilungen im selben Raum photographiert. Im Vordergrund sind Referenzflächen, welche in allen Aufnahmen gleiche Helligkeit aufweisen.

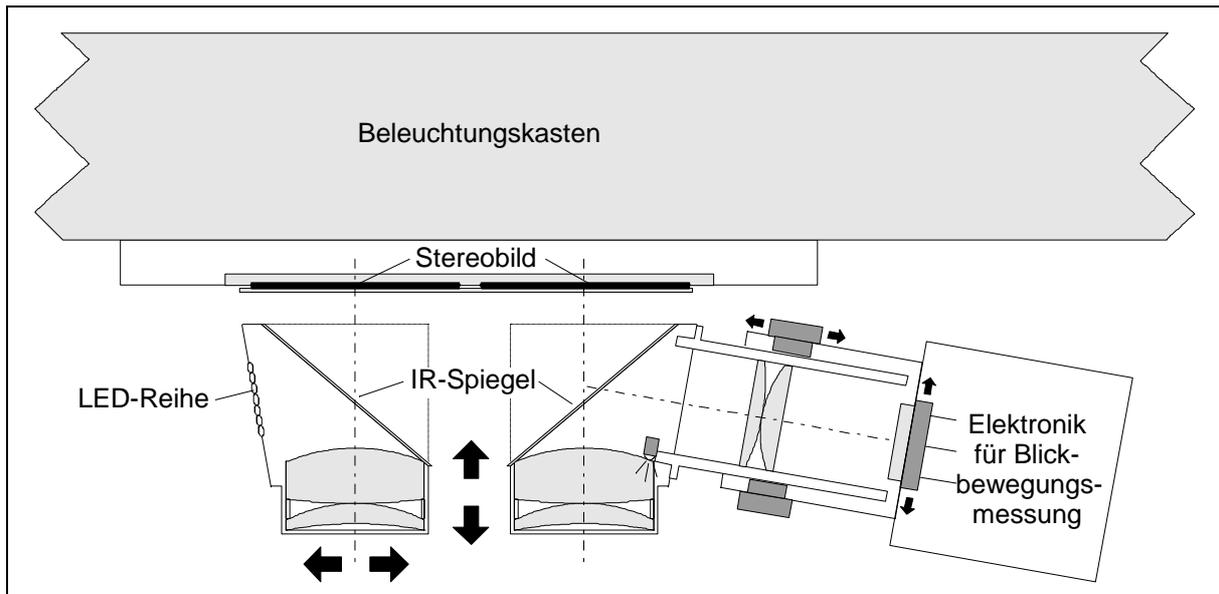


Fig. 3: Prinzip der Apparatur zur Betrachtung von realitätsnahen Stereobildern (Blick von oben). Die Versuchsperson betrachtet das Stereobild durch zwei Okulare. Es besteht aus zwei auf einer Glasplatte fest montierten Dias im Nennformat 60x60 mm. Die Realitätsnähe wird dadurch erreicht, daß die Sehwinkel bei Betrachtung der Bilder mit denjenigen der ursprünglichen realen Szene übereinstimmen. Die Beleuchtung erfolgt von hinten via eine Mattscheibe durch zwei Leuchtstofflampen mit dimmbarem EVG. Die Einrichtung für Blickbewegungsmessungen am rechten Okular wurde in diesem Projekt nicht verwendet.

Die experimentelle Umsetzung des Modells erfolgte in drei Stufen (Fig. 1 unten):

- 1) Photometrische Bestimmung der Leuchtdichteverteilung der Lichtszenarien mit Hilfe eines koordinatengesteuerten Leuchtdichte-Photometers.
- 2) Direkter Vergleich je zweier Lichtszenarien. Genauer formuliert: Jede Versuchsperson bestimmte auf einer Skala zwischen 0 und 10 den wahrgenommenen Unterschied der bei ihr durch je zwei Lichtszenarien selektierten mentalen Konzepte. Aus diesen Unterschiedswerten konnte mit Hilfe der multidimensionalen Skalierung eine dreidimensionale Struktur der mentalen Konzepte rekonstruiert werden /12/. In einem nächsten Schritt wurde die Bedeutung der drei *Dimensionen* ermittelt.
- 3) Bewertung jedes Lichtszenariums mit Hilfe eines akustischen Fragebogens. Genauer formuliert: Jede Versuchsperson bewertete ihr durch ein Lichtszenarium selektiertes mentales Konzept mit Hilfe von akustisch dargebotenen semantischen Differentialen /13/. Mit Methoden der Faktoranalyse konnten ähnliche Fragen zu grundlegenden Bewertungsgrößen, sogenannten *Faktoren* zusammengefaßt werden /14/.

In der Folge konnten die Leuchtdichteverteilungen mit Hilfe von Gewichtungsfunktionen sinnvoll zu *Indizes* umgerechnet werden, welche mit den Dimensionen der Struktur mentaler Konzepte hohe Korrelationen aufweisen. Es war auch möglich, die Bewertungsfaktoren mit den Dimensionen in Zusammenhang zu bringen.

Resultate

Entsprechend der drei Ebenen des untersuchten Modells ergeben sich drei unterschiedliche Datensätze mit Indizes für den Reiz (Fig. 4), Dimensionen für die mentale Konzeptstruktur (Fig. 5) und Faktoren für die Bewertungen (Fig. 6). Zwischen den Datensätzen ergaben sich Korrelationen hoher Signifikanz.

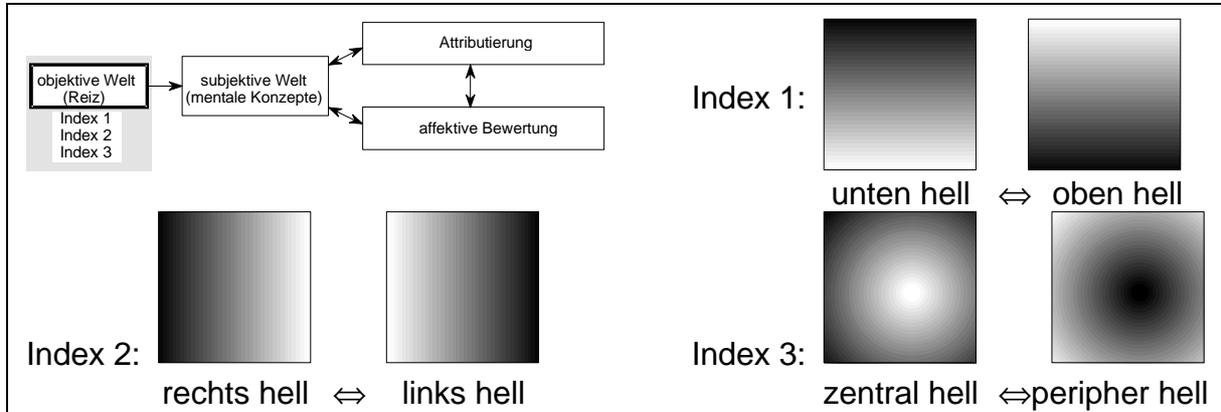


Fig. 4: Charakteristische Leuchtdichteprofile für welche die drei berechneten Indizes maximale Werte annehmen. Das heißt, die Versuchspersonen ermittelten die Unterschiede zwischen den Lichtszenarien aufgrund der hier dargestellten Lichtverteilungen, ohne daß diese Bewertungskriterien zuvor vom Versuchsleiter vorgegeben wurden.

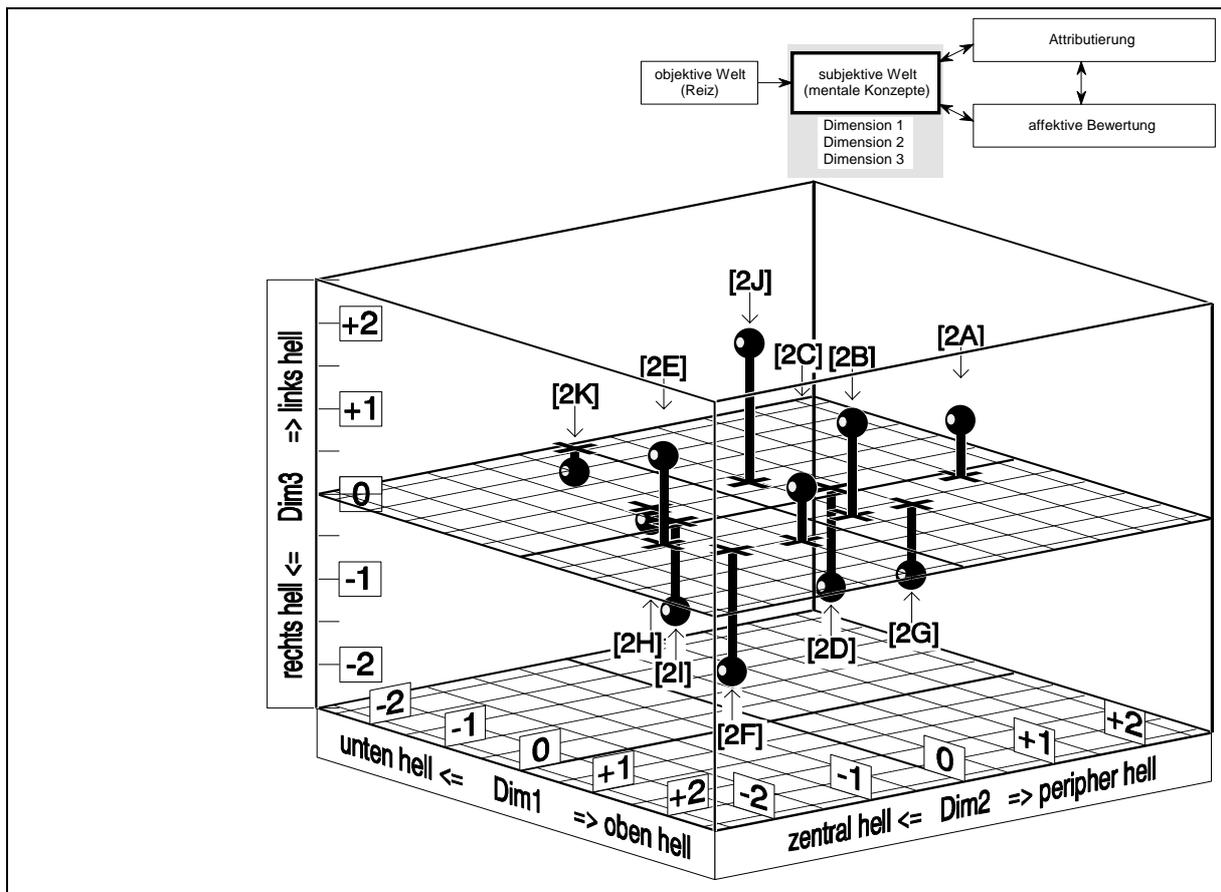


Fig. 5: Die durch die multidimensionale Skalierung gewonnene 3-dimensionale Struktur mentaler Konzepte. Jede Kugel stellt ein Lichtszenarium dar, mit der Bezeichnung gemäß Fig. 2. Der Abstand zwischen je zwei Kugeln entspricht dem von den Versuchspersonen ermittelten Unterschied zwischen den zwei entsprechenden Lichtszenarien.

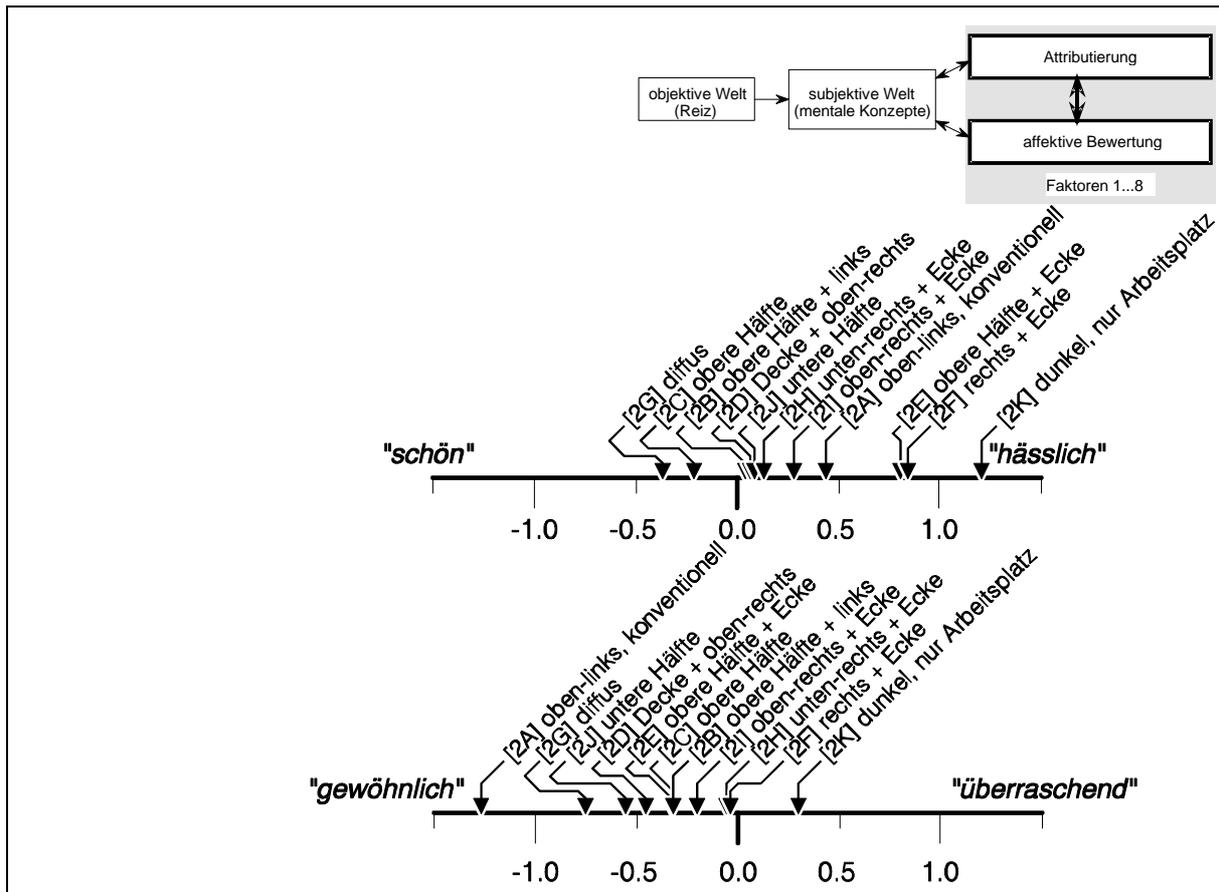


Fig. 6: Zwei der ermittelten acht Bewertungsfaktoren. Während der Gegensatz „schön \leftrightarrow hässlich“ eher einer affektiven, emotionalen Bewertung entspricht, setzt die Bewertung „gewöhnlich \leftrightarrow überraschend“ erinnerte Lichtgebungen voraus und entspricht daher einer Attributierung.

Diskussion

Wie können die gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis der Beleuchtungsplanung verwendet werden? Wie sollen Beleuchtungsanlagen geplant werden, daß sie gewünschten Attributierungen und affektiven Bewertungen Rechnung tragen? Konventionelle Beleuchtungsplanung schränkt den Handlungsspielraum stark ein, da sie als serieller Prozeß abläuft, bei welchem jeder Beteiligte die Vorgaben seines Vorgängers übernehmen muß /15/.

So plant der vom Bauherrn ausgewählte Architekt die Raumhöhe, –abmessungen und Deckenstruktur. Der Ingenieur wählt ein kostengünstiges Montagesystem und zugehörige Leuchten, die in der vordefinierten Deckenstruktur integriert werden können. Der Lichttechniker berechnet aus dem vorgegebenen Leuchtentyp und der vorgegebenen Deckenhöhe die Anzahl und Anordnung der Leuchten. Die Person, welche später in diesem Raum arbeitet, versucht ihren Arbeitsplatz den vorgegebenen Installationen anzupassen und wenn sie damit keinen Erfolg hat, wird möglicherweise ein Arbeitswissenschaftler beigezogen, der auch noch die vorgegebenen physischen und psychischen Anforderungen der Person berücksichtigen soll.

Das Resultat dieses Vorgangs ist, daß derart geplante visuelle Gestaltungen von Innenräumen immer etwa gleich aussehen und oft unbefriedigend sind. Keiner der Beteiligten kann sich erlauben, von seinem Schema abzuweichen, weil er bereits vor vollendeten Tatsachen steht, weil der nächste nicht mehr seine herkömmlichen Planungsinstrumente einsetzen kann oder weil der nächste nicht unbedingt in der Lage ist, abweichende Ideen aufzunehmen. Ein Architekt etwa, der versucht ästhetischen Ansprüchen zu genügen, kann dem Ingenieur sein Konzept nicht verständlich machen. Die Logik des Architekten findet auf der Ebene der Bewertung mentaler Konzepte statt, während diejenige des Ingenieurs auf die physikalische Ebene zielt.

Der Wert dieser Studie liegt unter anderem darin, allen das Prinzip der mentalen Konzepte und deren Strukturen verständlich zu machen. Ein einfaches, aber falsches (!) Vorgehen wäre jedoch, die in der Studie ermittelten Dimensionen und Faktoren direkt in Konstruktionsmerkmale umzusetzen. Diese gelten ohne Vorliegen weiterer experimenteller Ergebnisse vorerst nur für die untersuchten Lichtszenarien.

Hingegen bietet das Modell mentaler Konzepte eine *gemeinsame Diskussionsbasis*. Genau dies ist der alternative Weg zum seriellen Planungsprozeß: *Jeder Planungsschritt muß von den Beteiligten gemeinsam vollzogen werden.* In der Sprache des Modells formuliert, ist das Ziel des Designprozesses, *daß die Beteiligten gemeinsame Dimensionen finden, welche ein gemeinsames mentales Konzept der zu erstellenden Baute repräsentieren.* Dieses mentale Konzept wirkt kommunikativ: Das heißt, die am Design beteiligten Personen erfahren ähnliche Assoziationen; auf Fragestellungen liefert die „Look-Up“-Wahrnehmung jeder Person ähnliche Antworten. Dies ist ein notwendiger Schritt hin zu einer sinnvollen, alle Beteiligten befriedigenden Nutzung zukünftiger Beleuchtungs- und Architekturlösungen.

Literatur

- /1/ • GREGORY R.L.: Seeing in the light of experience. Trotter-Paterson Memorial Lecture. Lighting Res. and Technology V3 N4 (1971) P247-250.
- /2/ • TILLER D.K.: Toward a deeper understanding of psychological aspects of lighting. J. Illum. Eng. Soc. Am. V10 (Summer 1990) P59-65.
- /3/ • FISCHER D.: Optimale Beleuchtungsniveaus in Arbeitsräumen (Teil 1 und 2). Lichttechnik V22 (1970) P61-63 und 103-105.
- HENTSCHEL H.-J.: Zur Frage der leistungsorientierten Bewertung der Beleuchtung. Lichttechnik V23 N5 (1971) P304-307.
- KLOTZBÜCHER E., FICHTEL K. ET AL.: Einfluß verschiedener Beleuchtungsstärken einer Natriumdampf-Hochdrucklampe auf Leistung bei geistiger Arbeit und ausgewählte physiologische Funktionen. Licht-Forschung V2 N2 (1980) P65-69.
- SMITH S.W., REA M.S.: Relationships between office task performance and ratings of feelings and task evaluations under different light sources and levels. Proc. Int. Comm. Illum. (CIE) V19 (1979) P207-211.
- TREGENZA P.R., ROMAYA S.M. ET AL.: Consistency and variation in preferences for office lighting. Lighting Res. & Technol. V6 N4 (1974) P205-211.
- /4/ • BALDER J.J.: Erwünschte Leuchtdichten in Büroräumen. Lichttechnik V9 N9 (1957) P455-661.
- COLLINS J.B., PLANT C.G.H.: Preferred luminance distribution in windowless spaces. Lighting Res. & Technol. V3 N3 (1971) P219-231.
- FISCHER D.: Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten und Farben in Arbeitsräumen. Lichttechnik V24 N8 (1972) P411-416.

- GUTH S.K.: Light and Comfort. Industrial Medicine and Surgery (November 1958) P570f.
- HENTSCHEL H.-J.: Bevorzugte Leuchtdichtebereiche in der Innenbeleuchtung. Licht V42 N5 (1990) P404-411.
- VAN OOYEN M.H.F., VAN DE WEIJGERT J.A.C. ET AL.: Preferred luminances in offices. J. Illum. Eng. Soc. Am. V17 (1987) P152-156.
- REA M.S., OUELLETTE M.J. ET AL.: The effects of luminous surroundings on visual performance, pupil size and human preference. J. Illum. Eng. Soc. Am. V10 (Summer 1990) P45-58.
- /5/ • EBERBACH K., BODMANN H.W.: Zur Blendung einzelner Spiegelraster-Leuchten. Licht V41 N6 (1989) P428-433.
- FISCHER D.: Blendung: Neuer Ansatz für ein internationales Blendungsbewertungssystem. Licht V42 N1 (1990) P50-56.
- GUTH S.K.: A method for the evaluation of discomfort glare. Illum.Eng.V59 (1964) P351f.
- HAUBNER P., JOHANNI H.: Untersuchung über die psychologische Blendung in Innenräumen. Lichttechnik V22 (1970) P304-306 und P345-347.
- JAINSKI P.: Das Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit bei Blendung mit verschiedenen Lichtquellen. Lichttechnik V14 N2 (1962) P60-65.
- RANGE H.D., THIEKÖTTER F.W.: Begrenzung der Direktblendung bei leuchtenden Decken. Licht-Forschung V1 N1 (1979) P43-50.
- SÖLLNER G.: Ein einfaches System zur Blendungsbewertung. Lichttechnik V17 N5 (1965) P 59A-66A.
- SÖLLNER G.: Blendung durch leuchtende Decken. Lichttechnik V24 N11 (1972) P557f.
- /6/ • ROWLANDS E., LOE D.L. ET AL.: Lighting adequacy and quality in office interiors by consideration of subjective assessment and physical measurement. CIE-Journal V4 N1 (1985) P23-37.
- /7/ • BARTHES E., PARRY C.M.: A Questionnaire for the use of lighting engineers and designers for analysis of a visual environment. CIE-Publication V2 N2 (1983) P65-67.
- ÇAKIR A.: Die Anwendung der Faktoranalyse auf das Problem der psychologischen Blendung. Proc. Int. Comm. in Illum. (CIE) V18 (1975) P626-633.
- FLYNN J.E.: A study of subjective responses to low energy and nonuniform lighting systems. Lighting Design & Application V7 (February 1977) P6-15.
- HAWKES R.J., LOE D.L. ET AL.: A note towards the understanding of lighting quality. Journal of IES V8 (January 1979) P111-120.
- Küller R.: A semantic model for describing perceived environment. National Swedish building research D12 (1972).
- Rea M.S.: Calibration of subjective scaling responses. Lighting Res. & Technol. V14 N3 (1982) P121-129.
- /8/ • FLYNN J.E., SPENCER T.J. ET AL.: Interim Study of procedures for investigating the effect of light on Impression and behavior. Journal of IES V3 (October 1973) P87-94.
- FLYNN J.E., HENDRICK C. ET AL.: A guide to methodology procedures for measuring subjective impressions in lighting. Journal of IES V9 (January 1979) P95-110.
- FLYNN J.E., SEGIL A.W. ET AL.: Architectural interior systems. Van Nostrand; New York 2nd Ed. (1988) P16ff.
- KIMMEL P.S., BLASDEL H.G.: Multidimensional scaling of luminous environment. Journal of IES V3 (January 1973) P113-120.
- STONE P.T., PARSONS K.C. ET AL.: Subjective judgements of lighting in lecture rooms. Lighting Res. & Technol. V7 N4 (1975) P259-261.
- /9/ • SANDERS M., GUSTANSKI J. ET AL.: Effect of ambient illumination on noise level of groups. J. Appl. Psychol. V59 (1974) P527-528.
- /10/ • FLYNN J.E., SUBISAK G.J.: A procedure for qualitative study of light level variations and system performance. Journal of IES V8 (October 1978) P28-35.
- /11/ • KRUEGER H.: Wahrnehmung und Befindlichkeit ins richtige Licht gesetzt. Licht '94 vom 14.9-16.9.1994 in Interlaken. Tagungsband Seiten 13-26.
- /12/ • DAVISON M.L.: Multidimensional scaling. Wiley, New York (1983).
- GREEN P.E., CARMONE F.J. ET AL.: Multidimensional scaling, concepts and applications. Allyn and Bacon; Boston, London, Sydney, Toronto (1989).
- /13/ • OSGOOD C.E., SUCI G.J. ET AL.: The measurement of meaning. Urbana, Illinois: Univ. of Illinois Press (1957).
- /14/ • KRZANOWSKI W.J.: Principles of Multivariate Analysis. Clarendon Press, Oxford (1988).
- /15/ • LAM W. M. C.: Perception & Lighting as formgivers for architecture. Van Nostrand Reinhold, New York (1992).