



Licht

Grundlagen der Beleuchtung

Bundesamt für Konjunkturfragen



■ **Projektleiter:**

Ch. Vogt (deutsche Schweiz)

Prof. J.-L. Scartezzini (welsche Schweiz)

■ **Beratende Projektgruppe:**

Prof. J.-L. Scartezzini, Universität Genf

Dr. Blaser
Eidg. Amt für Messwesen, Bern

M. Güntensberger
Eidg. Arbeitsinspektorat, Zürich

Dr. Bertschinger
Bernische Kraftwerke AG, Bern

M. Etz
Bernische Kraftwerke AG, Bern

■ **Übersetzung und Überarbeitung:**

Ivan Keller, Amstein+Walthert AG, Zürich

Christian Vogt, Amstein+Walthert AG, Zürich

■ **Redaktion:**

D. Chuard, SORANE SA, Lausanne

B. Paule, CUEPE, Universität Genf

Prof. J.-L. Scartezzini, CUEPE, Universität Genf

Dr. S. Simos, EIG, Genf

■ **Trägerschaft:**

Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, Bern

■ **Gestaltung**

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3012 Bern

Copyright ©
Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, April 1994.

Auszugsweiser Nachdruck mit Quellenangabe erlaubt.
Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale EDMZ
(Best.-Nr. 724.329.1 d)

Form. 724.329.1 d 4.94 2000 U15329



Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990–1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL – Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien.

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitenkapital.

Im Zentrum der Aktivität von RAVEL steht die Verbesserung der fachlichen Kompetenz, Strom rationell zu verwenden. Neben den bisher im Vordergrund stehenden Produktions- und Sicherheitsaspekten soll verstärkt die wirkungsgradorientierte Sicht treten. Aufgrund einer Verbrauchsmatrix hat RAVEL die zu behandelnden Themen breit abgesteckt. Neben den Stromwendungen in Gebäuden kommen auch Prozesse in der Industrie, im Gewerbe und im Dienstleistungsbereich zum Zuge. Entsprechend vielfältig sind die angesprochenen Zielgruppen: Sie umfassen Fachleute auf allen Ausbildungsstufen wie auch die Entscheidungsträger, die über stromrelevante Abläufe und Investitionen zu befinden haben.

■ Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von RAVEL durch Untersuchungsprojekte zur Verbreiterung der Wissensbasis und – darauf aufbauend – Aus- und Weiterbildung sowie Informationen. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Es ist vorgesehen, jährlich eine RAVEL-Tagung durchzuführen, an der jeweils – zu einem Leitthema – umfassend über neue Ergebnisse, Entwicklungen und Tendenzen in der jungen, faszinierenden Disziplin der rationellen Verwendung von Elektrizität informiert und diskutiert wird. InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint viermal jährlich und ist (im Abonnement) beim Bundesamt für Konjunkturfürden, 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Die Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

■ Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen im Bereich der Stromanwendung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und



stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten, die den rationellen Einsatz der Elektrizität anstreben, sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Roland Walthert, Werner Böhi, Dr. Eric Bush, Jean-Marc Chuard, Hans-Ruedi Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, Dr. Daniel Spreng, Felix Walter, Dr. Charles Weinmann sowie Eric Mosimann, BfK) verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Ressorts durch Projektgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben (Untersuchungs- und Umsetzungsprojekte) zu lösen haben.

■ Dokumentation

Die vorliegende Dokumentation erklärt die Grundbegriffe der Lichttechnik und zeigt die wesentlichsten Punkte der Innenraumplanung auf. Dabei werden vor allem die energierelevanten Faktoren des Kunst- und Tageslichtes eingehender betrachtet. Das Heft soll all jenen, welche sich mit Beleuchtungsfragen beschäftigen, ein Hilfsmittel sein bei der Kommunikation mit Fachplanern und der Abklärung des notwendigen Energieaufwandes von Beleuchtungsanlagen und Tageslichtmassnahmen.

Die vorliegende Publikation stellt die Basis von drei weiteren Dokumentationen dar, welche die spezifischen Merkmale von Industrie-, Büro- und Verkaufsraumbeleuchtung bzw. -belichtung vertieft behandeln.

Alle vier Hefte wurden nach einer detaillierten Vernehmlassung und dem Anwendungstest in Pilotveranstaltungen nochmals überarbeitet. Die AutorInnen hatten zudem freie Hand, Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen und tragen somit auch die Verantwortung für den Inhalt. Unzulänglichkeiten, welche sich bei der praktischen Anwendung ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der Kursleiter Ch. Vogt nehmen diesbezügliche Anregungen gerne entgegen.

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

März 1994

Bundesamt für Konjunkturfragen
Dr. B. Hotz-Hart
Vizedirektor für Technologie



Inhaltsübersicht

1	Einleitung	7
2	Grundlagen	11
2.1	Die Wahrnehmung des Lichtes	11
2.2	Photometrie (Lichtmessung)	14
2.3	Das Auge und dessen Beanspruchung durch das Licht	17
3	Tageslicht	23
3.1	Generelle Überlegungen	23
3.2	Probleme bei der Verwendung von Tageslicht	25
3.3	Benutzung des direkten Lichtes	27
3.4	Benutzung des diffusen Lichtes	31
3.5	Einige Öffnungssysteme	37
3.6	Sonnenschutzsysteme	39
3.7	Kombination mit Kunstlicht	44
4	Künstliche Beleuchtung	47
4.1	Eigenschaften der verschiedenen Lichtquellen	47
4.2	Eigenschaften der verschiedenen Beleuchtungskörper	58
4.3	Lichtsteuersysteme	62
4.4	Schritte im Beleuchtungsprojekt	64
5	Energetische Aspekte	69
5.1	Analyse der heutigen Situation	69
5.2	Energie und Tageslicht	71
5.3	Wärmeabfuhr	79
5.4	Kombination von Tages- und Kunstlicht	84
6	Vorgehen bei einem Beleuchtungsprojekt	91
6.1	Allgemeines	91
6.2	Grundlegende Projektdaten	92
6.3	Gebäudenutzung	96
6.4	Kosten	101
7	Begriffserläuterung	105
8	Literaturverzeichnis	109
	Publikationen des Impulsprogrammes RAVEL	111



1 Einleitung

■ Warum dieses Heft?

Das Konzept und die Verwirklichung von Beleuchtungsprojekten ist gleichzeitig eine Kunst und eine Wissenschaft. Denn es ist einerseits genügend Licht für eine bestimmte Tätigkeit vorzusehen und andererseits gleichzeitig ein angenehmes, anregendes und attraktives Raumklima entstehen zu lassen.

Die kompetente Bearbeitung eines solchen Projektes verlangt vielseitiges Wissen und viel Erfahrung. Die Architektur, die Beleuchtungstechniken und die visuelle Ergonomie sind wesentliche Projektmerkmale, um schlussendlich ein optimales Resultat zu erhalten. In den letzten hundert Jahren wurden in der Entwicklung von neuen Kunstlichtquellen beträchtliche Anstrengungen unternommen, was den Leuchtenkonstruktoren in ihrer Arbeit wesentlich geholfen hat. Immer kompaktere und leistungsstärkere Lichtquellen sowie verbesserte Wirkungsgrade der Leuchten erlauben ständig anspruchsvollere Beleuchtungsanlagen zu realisieren; heute steht eine breite Palette von Leuchten zur Verfügung, so dass der Kreativität des Innenraumplaners weite Möglichkeiten offenstehen.



Bild 1.1:
Mischung von Kunst- und Tageslicht in
einem öffentlichen Bau (Internationaler
Flughafen von Kopenhagen, Dänemark).



Da es heutzutage notwendig ist, die Umwelt miteinzubeziehen, ist es nicht mehr verantwortbar, ein Beleuchtungsprojekt ohne Berücksichtigung des Energieverbrauchs zu erstellen.

Die intensive Nutzung des Tageslichtes kombiniert mit einer optimierten Kunstlichtbeleuchtung, eine der Benutzung entsprechende Lichtsteuerung sowie die Beseitigung unnötiger Ansprüche, stellen wichtige Einflussgrößen für eine gute Beleuchtung dar. Die erwähnten Punkte ermöglichen häufig eine, für den Benutzer ergonomische, Auslegung, unter gleichzeitiger Aufwertung der architektonischen Qualität des Gebäudes.

■ Ziel dieses Heftes

Das Ziel dieses Dokumentes besteht einerseits darin, einen Überblick über die Grundbegriffe zu ermöglichen, sowie andererseits die wichtigsten Punkte bei der Planung einer Innenraumbeleuchtung aufzuzeigen. Es soll so umfassend orientieren, dass die Notwendigkeit zu spezifischeren Beleuchtungs-Abklärungen erkannt wird (Beleuchtung in Büros, Industrie und Handel). Es richtet sich an alle am Bau beteiligten, welche direkt von allfälligen Beleuchtungsfragen betroffen werden (Architekten, Innenarchitekten, Bauherren, beratende Ingenieure, Elektro-Installateure etc.).

Vor allem die energetischen Fragen des Kunst- und Tageslichtes sollen in diesem Dokument behandelt werden. Ein übergeordnetes Vorgehensmuster für die Beleuchtungsplanung befindet sich am Schluss dieses Heftes. Dieses Vorgehensmuster soll aufzeigen, wann detaillierte respektive weitergehende Abklärungen gemacht werden sollten.

Eine vollständige Begriffserläuterung am Schluss des Heftes dient zum besseren Verständnis der in Fettdruck gehaltenen Spezialausdrücke und Fachbegriffe.

Dieses Heft dient neben dem Selbststudium der laufenden Beleuchtungsschulung im Rahmen der RAVEL-Kurse. Es soll die Anwendung und das Verständnis der wichtigsten beleuchtungstechnischen Fachausdrücke ermöglichen, sowie auch der Kommunikation mit Fachplanern im allgemeinen dienen.

■ Aufbau des Heftes

Es wurde versucht, den Aufbau des Heftes bewusst so zu gestalten, dass es dem geneigten Leser das Selbststudium erleichtert. So finden sich am Seitenrand allfällige Querverweise, Bild- und Tabellenunterschriften. Merksätze und wichtige Textteile werden durch einen Rahmen hervorgehoben.

Wir wünschen Ihnen unterhaltsame und lehrreiche Stunden bei der vorliegenden Lektüre.



2 Grundlagen

2.1 Die Wahrnehmung des Lichtes	11
■ Das Auge	11
■ Das Licht: sichtbarer Bereich der elektromagnetischen Strahlung	12
■ Das Gesichtsfeld	13
■ Die Reaktionsmöglichkeiten des Auges	13
2.2 Photometrie (Lichtmessung)	14
■ Grundgrößen der Photometrie	14
2.3 Das Auge und dessen Beanspruchung durch das Licht	17
■ Visuelle Leistung	17
■ Visueller Komfort	18
■ Visuelle Annehmlichkeit	19



2 Grundlagen

2.1 Die Wahrnehmung des Lichtes

■ Das Auge

Das Vermögen zu sehen, hat physikalische und biologische Gründe. Dazu braucht es vorerst einen Lichtstrahl, der in das Auge eindringt, sowie seine Absorption durch die Netzhaut (siehe Bild 2.1).

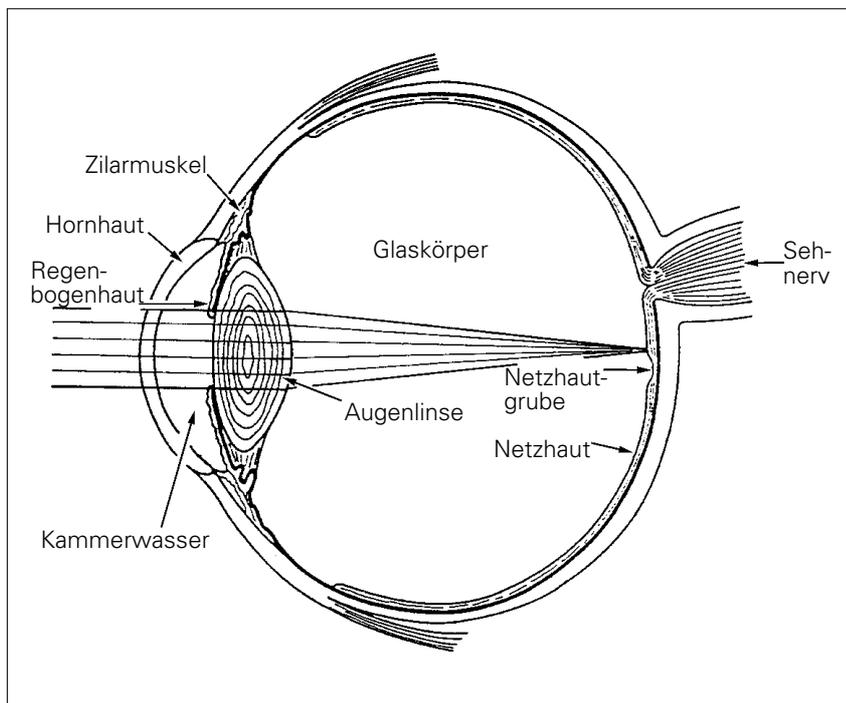


Bild 2.1:
Schematischer Querschnitt durch das menschliche Auge (Distanz Hornhaut-Netzhaut: ca. 24 mm) /1/.

Die Lichtempfänger, die auf der Netzhaut angeordnet sind (Zapfen und Stäbchen), wandeln die Lichtenergie in einen Nervenreiz um, welcher durch den Sehnerv bis in das Hirn geleitet wird. Dieses beginnt das erhaltene Signal zu verarbeiten und rekonstruiert so das Originalbild.



Das Licht: sichtbarer Bereich der elektromagnetischen Strahlung

Die elektromagnetischen Strahlen, zu denen auch Röntgenstrahlen, das Licht und die Radiowellen gehören, können vom menschlichen Auge nicht alle empfangen werden. Nur diejenigen, deren Wellenlänge sich im sichtbaren Bereich befindet (Bereich von 380 bis 700 Nanometer), bewirken eine Lichtwahrnehmung.

Diese Einschränkung ist mit der Empfindlichkeit (welche für jede Wellenlänge anders ist) der Lichtempfänger auf der Netzhaut verbunden. Die spektrale Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$ hält diese Eigenschaft fest. Das Bild 2.2 zeigt diese Kurve, die sich natürlich im Bereich der sichtbaren Wellen befindet. Die Kurve spielt in einer gewissen Art die Rolle eines Filters, das jeder Wellenlänge einen Wert zuordnet, der proportional zur Sehmöglichkeit in diesem Spektralbereich ist. Diese Wertung ist gleich Null für die Wellenlängen, die sich ausserhalb des sichtbaren Bereiches befinden.

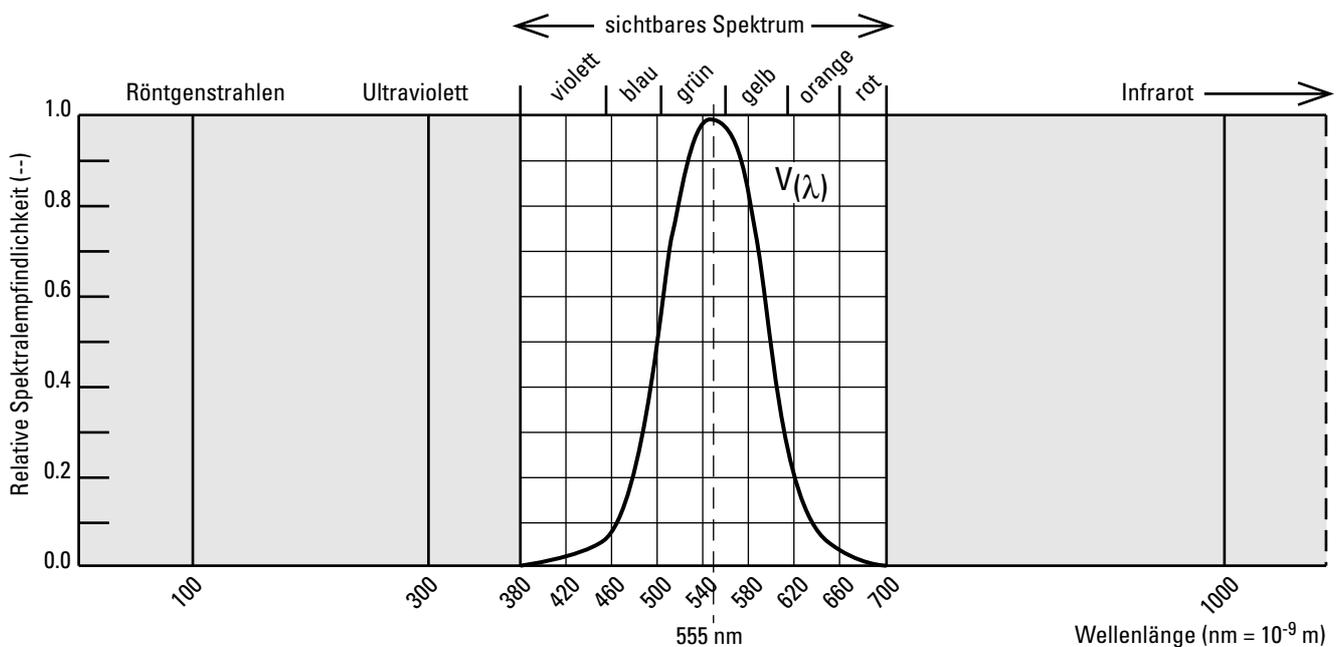


Bild 2.2:
Spektrale Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges.

Das Farbwahrnehmungsvermögen hängt von der Wellenlänge des betreffenden Lichtstrahles ab. Das Spektrum der wahrgenommenen Farben durchläuft die sichtbaren Wellenlängen von violett bis rot. Das Gelb-Grün, entspricht einer Wellenlänge von 555nm ($1 \text{ nm} = 1 \text{ milliardstel Meter}$) und wird vom menschlichen Auge als intensivste Farbe wahrgenommen (maximale spektrale Helligkeit).



Das Gesichtsfeld

Durch seine geometrische Form sind dem Auge im Bezug auf das räumliche Sehvermögen Grenzen gesetzt. Obschon das einsehbare Gesichtsfeld von individuellen Punkten abhängig ist (Nasengrösse und Augenform), entspricht das binokulare Gesichtsfeld näherungsweise dem abgebildeten Bereich in Bild 2.3: es beträgt etwa $2 \times 60^\circ$ seitlich und 60° bis 70° gegen oben und unten.

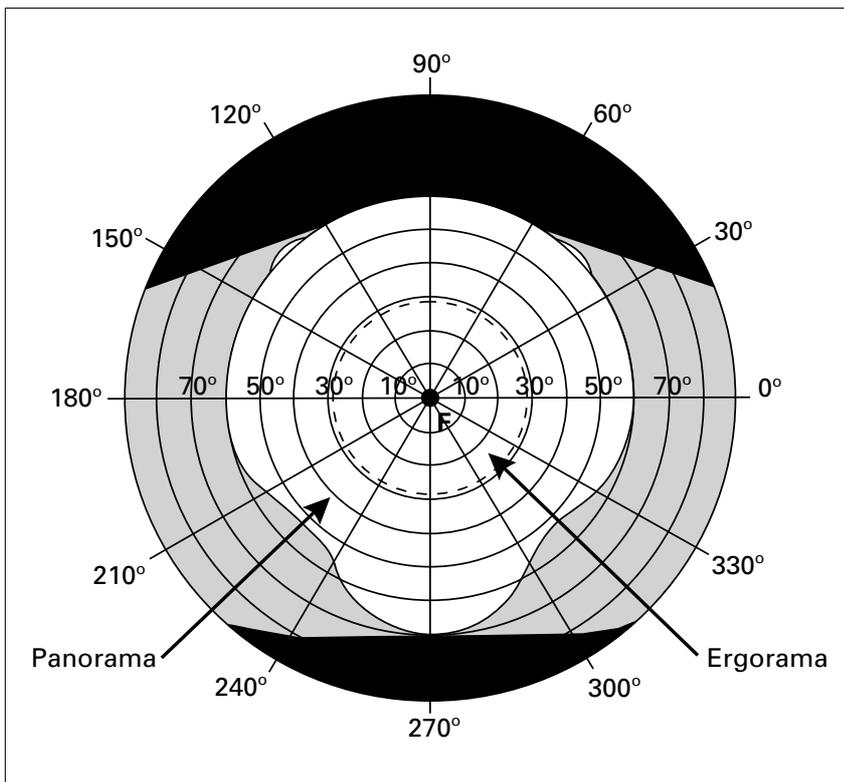


Bild 2.3:
Menschliches Gesichtsfeld /1/

weiss: von beiden Augen gleichzeitig eingesehener Bereich

grau: von nur einem Auge eingesehener Bereich

F: Zentralbereich (Fovea/Netzhautgrube).

Die Sehkapazität des Auges hängt von seiner relativen Position im Gesichtsfeld ab:

- Details können nur im Zentralbereich wahrgenommen werden (Bereich von 1° Öffnungswinkel zur Sehachse).
- Formen können im Ergorama wahrgenommen werden (Bereich von $2 \times 30^\circ$ Öffnungswinkel).
- Bewegungen sind nur im Panorama wahrnehmbar (Bereich von $2 \times 60^\circ$ Öffnungswinkel).

Die Reaktionsmöglichkeiten des Auges

Das Auge besitzt verschiedene Reaktionsmöglichkeiten, die ihm eine bestmögliche Informationsaufnahme gestatten:

- Der Durchmesser der Pupille verändert sich je nach Lichtmenge (Adaptation).
- Die Form der Linse hängt vom Abstand des betrachteten Objektes ab (Akkommodation/Scharfeinstellung).

Diese Reaktionsmöglichkeiten nehmen mit zunehmendem Alter des Menschen ab (Weitsichtigkeit, grössere Blendempfindlichkeit).



2.2 Photometrie (Lichtmessung)

■ Grundgrössen der Photometrie

Die Photometrie befasst sich mit der Messung des Lichtes /1-3/. Sie befasst sich ausschliesslich mit dem sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die gebräuchlichsten lichttechnischen Grössen sind:

- Die Beleuchtungsstärke (gemessen in Lux).
- Die Lichtstärke (gemessen in Candela).
- Die Leuchtdichte (gemessen in Candela/m²).

Von diesen drei Grössen ist für das menschliche Auge nur die Leuchtdichte erkennbar (die Beleuchtungsstärke kann gemessen, jedoch nicht wahrgenommen werden).

Die Leuchtdichte ist das Mass für den Helligkeitseindruck, den eine leuchtende oder beleuchtete Fläche im Auge erzeugt (z.B. eine von der Sonne beleuchtete Fassadenfläche).

Die wahrgenommene Leuchtdichte hängt nicht nur von der auf die Fläche auftreffenden Lichtmenge ab. Auch die Lichtfarbe des in Blickrichtung reflektierten Lichtes, sowie die Reflexionseigenschaft der Fläche spielen eine wesentliche Rolle. Bei gleicher Beleuchtungsstärke unterscheidet sich eine Fläche mit heller Farbe von einer solchen mit dunkler Farbe durch die grössere Leuchtdichte.

Die Beleuchtungsstärke (E)

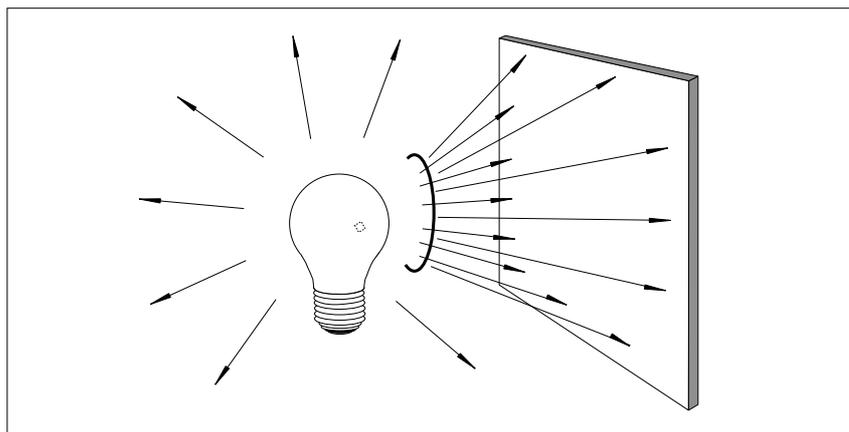


Bild 2.4a:
Lichtstrom pro Flächeneinheit (Lumen pro m²).

Masseinheit: Das Lux [lx] $1\text{lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$



Die Lichtstärke (I)

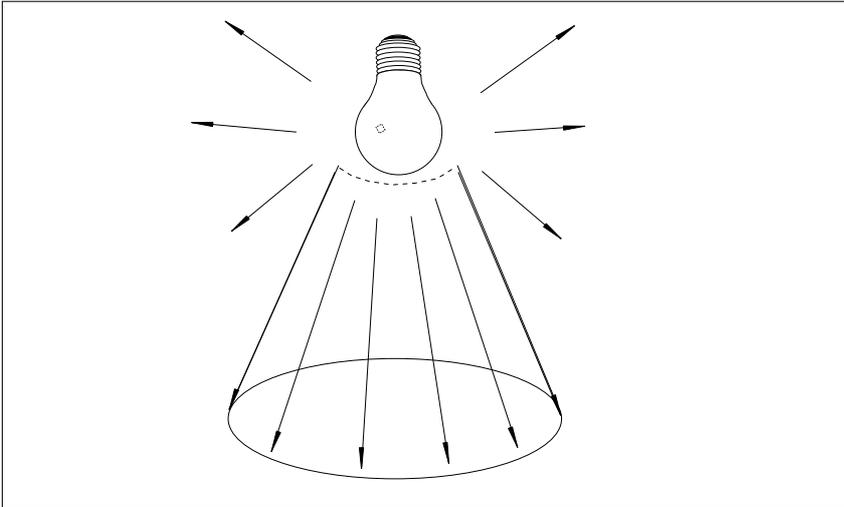


Bild 2.4b:
Lichtstrom pro Raumwinkel (Lumen pro Steradian).

Masseinheit: Das Candela (cd) $1\text{cd} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$

Die Leuchtdichte (L)

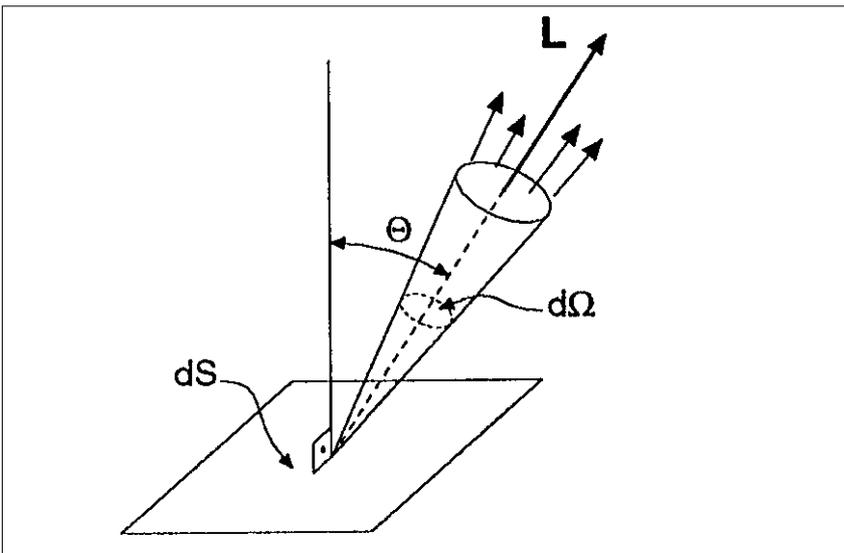


Bild 2.4c:
Lichtstrom pro Raumwinkel pro Quadratmeter (Lumen pro Steradian pro Quadratmeter).

Masseinheit: Candela pro Quadratmeter (cd/m^2)



Reflexion des Lichtes

Die Leuchtdichte einer matten Oberfläche (diffuse Reflexion), die durch einen Lichtstrahl beleuchtet wird, ist, unabhängig von der Blickrichtung, konstant (siehe Figur 2.5). Im Gegensatz zu den matten Oberflächen gibt es die vollständig reflektierenden (Spiegel), die die Eigenschaft haben, das Licht dem Einfallswinkel entsprechend zurückzuwerfen. Meistens hat man es jedoch mit gemischten Oberflächen zu tun, deren lichttechnische Eigenschaften sich zwischen den oben erwähnten Extremen bewegen. Der Reflexionsfaktor, mit Werten zwischen 0 und 1, definiert das Reflexionsvermögen einer Oberfläche (Quotient vom reflektierten Lichtstrom zum auftreffenden Lichtstrom). Sein Wert beträgt Null für eine komplett schwarze Fläche, respektive 1 für eine ideal weisse Fläche.

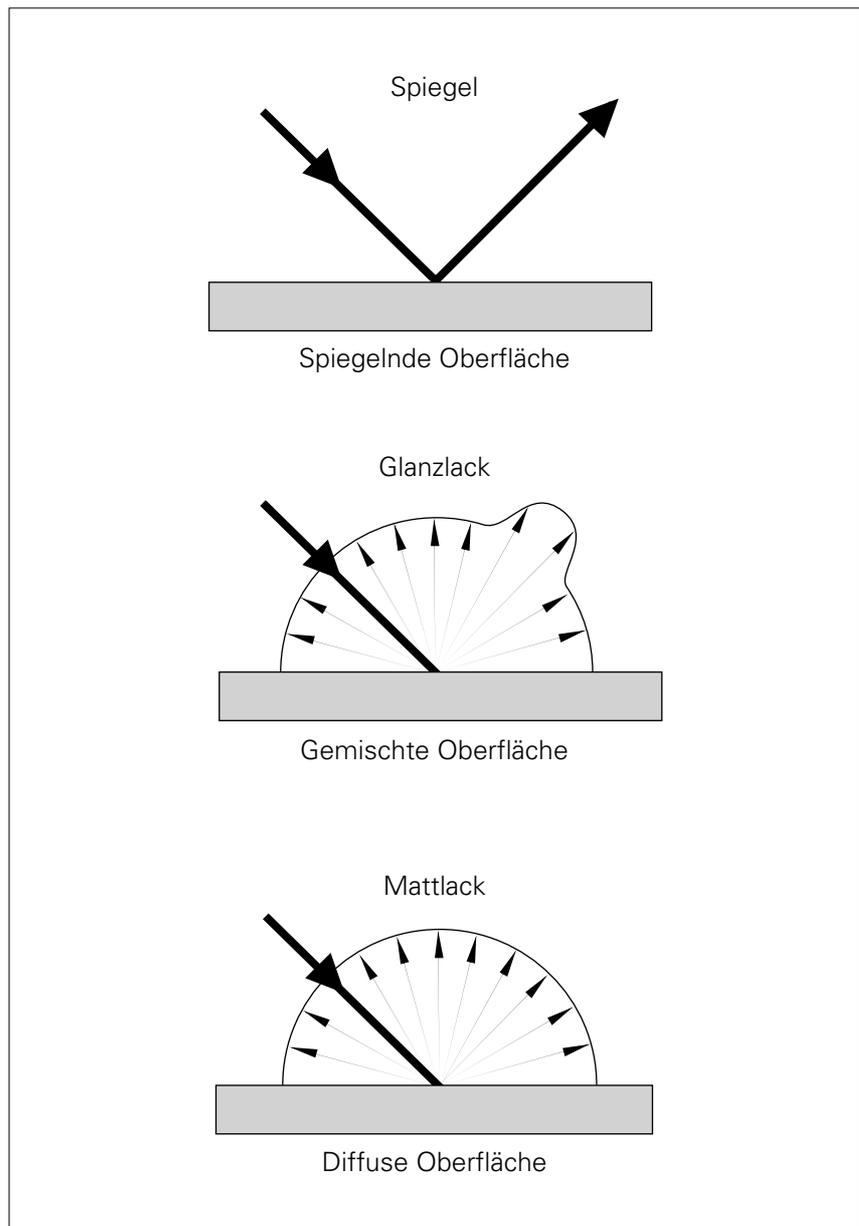


Bild 2.5:
Verschiedene Reflexionsarten des Lichtes durch eine Fläche. Veränderung der Leuchtdichte in Abhängigkeit der Blickrichtung.



2.3 Das Auge und dessen Beanspruchung durch das Licht

Die Erarbeitung eines Beleuchtungsprojekts sollte folgende Ziele berücksichtigen:

- Die Beleuchtung soll gewährleisten, dass die Ausführung einer gewissen Aufgabe mit grösstmöglicher Garantie erfolgreich verlaufen wird (Visuelle Leistung).
- Die Beleuchtung soll das Wohlbefinden der Benutzer garantieren (visueller Komfort).
- Die Beleuchtung soll ganz bestimmte Emotionen hervorrufen (visuelle Annehmlichkeit).

Wenn eine gewisse Anzahl Regeln befolgt werden, können diese Ziele ohne weiteres zur allgemeinen Zufriedenheit verwirklicht werden. Hier sei nur kurz das Prinzip dazu erläutert.

■ Visuelle Leistung

Die visuelle Leistung für eine bestimmte Aufgabe hängt von einer grossen Anzahl von Parametern ab:

- Beleuchtungsstärke der Arbeitsfläche.
- Kontrast der Leuchtdichten vom Objekt und dessen Hintergrund.
- Ausmasse des Objekts.
- Alter der arbeitenden Person.
- Zur Verfügung stehende Zeit für die Ausführung der Arbeit.

Der Einfluss des Leuchtdichtenkontrasts auf die Leseleistung ist durch diesen Text veranschaulicht. Der linke Teil ist mit Buchstaben von schlechter Qualität geschrieben (Druckerschreibband abgenutzt z. B.). Diese Minderqualität führt zu einem kleinen Verhältnis der Leuchtdichten zwischen dem Text (Objekt) und der weissen Seite (Hintergrund). Die Leseleistung wird dadurch natürlich reduziert.

Genauso kann auch die Grösse der Schriftzeichen zur besseren, oder eben weniger guten Leseleistung führen. Die Grösse dieser Buchstaben (8 Zeichen/Zoll) eignet sich nicht für längeres Lesen. Mit dieser Schriftgrösse (10 Zeichen/Zoll) geht es schon etwas besser. Wobei natürlich diese Schrift (12 Zeichen/Zoll) weitaus am angenehmsten ist.

Die Beleuchtung einer bestimmten Sehaufgabe ist einer der wenigen Parameter, die der Beleuchtungsplaner wirklich beherrscht. So gibt es ganz spezifische Empfehlungen diesbezüglich für jede Sehaufgabe.

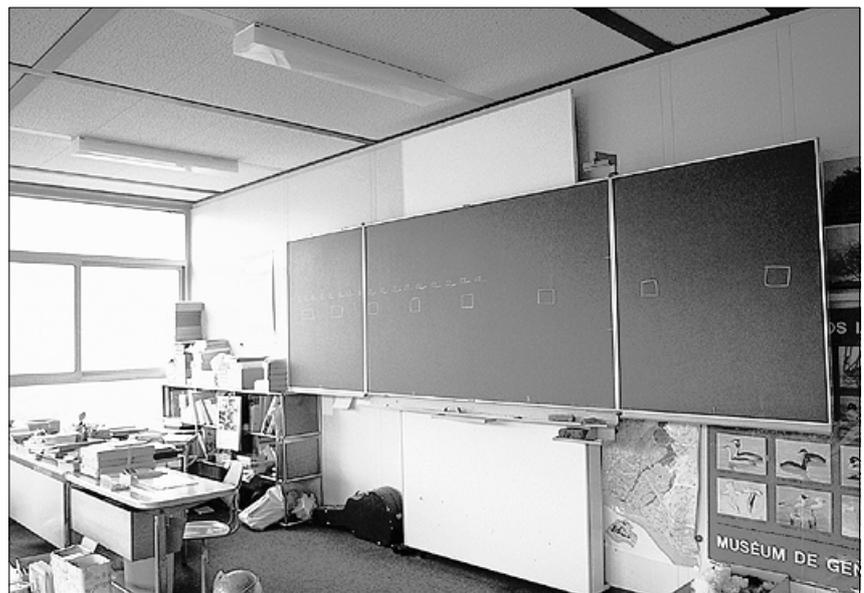


■ Visueller Komfort

Der Ausdruck «Visueller Komfort» ist nur subjektiv und demzufolge schwer definierbar. Es ist einfacher zu verstehen, was «Unkomfort» ist: Ein Gefühl von visuellem Unbehagen, von Unwohlsein (Blendung), hervorgerufen durch grosse Leuchtdichtenkontraste im Blickfeld. Zwei Arten von Blendungen werden im Alltag unterschieden:

- Physiologische Blendung, in Anwesenheit welcher man nichts mehr um die Lichtquelle herum erkennen kann (z.B. direkte Sicht in die Scheinwerfer eines Fahrzeuges).
- Psychologische Blendung, in Anwesenheit welcher das Erkennen der Umgebung, obwohl gestört, immer noch möglich ist (Beleuchtungskörper im Blickfeld).

Im Alltag sind die häufigsten Quellen von Unkomfort verglaste Öffnungen (Sonne, Himmelszelt) und ungeeignete Kunstlichtanlagen. Glänzende Oberflächen können manchmal auch den selben Effekt hervorrufen. Bild 2.6 veranschaulicht einen typischen Blendungszustand in einem Gebäude.



*Bild 2.6:
Zustand von visuellem Unkomfort
(Psychologische Blendung, Reflektions-
schleier) durch ungeeignete Öffnung
(Fenster) und extrem glänzende Ober-
fläche (Wandtafel aus Glas) hervorgeru-
fen.*

Es ist möglich, das Risiko Unkomfort zu schaffen, klein zu halten, indem man speziell auf ein Gleichgewicht der Leuchtdichtewerte im Blickfeld achtet. Es gibt gewisse mathematische Modelle, an Hand von welchen die quantitativen Werte von solchen Blendungen prognostiziert werden können (Wahrscheinlichkeit des visuellen Komforts).



■ Visuelle Annehmlichkeit

Auch die visuelle Annehmlichkeit ist ein nur subjektiv bewertbarer Begriff. Sie hängt von der individuellen Emotion, die durch ein gewisses visuelles Umfeld hervorgerufen wird, ab. Unter den als angenehm empfundenen Situationen, sollen einige hervorgehoben werden:

- Präsenz von Tageslicht (Farbtemperatur und -wiedergabe).
- Die zeitliche Veränderung dieses Lichtes (Tagesablauf und meteorologische Verhältnisse).
- Die Möglichkeit einen angenehmen und weiten, unverbauten Ausblick zu genießen (Ausruhen des Auges).
- Spezielle Effekte der Kunstbeleuchtung aus Art und Anordnung der Beleuchtungskörper resultierend.
- Die Harmonie der Farben der Wände eines Raumes.

Der psychologische Einfluss dieser verschiedenen Elemente ist klar zu erkennen, was vom physiologischen Effekt, der viel schwieriger zu definieren ist, nicht gesagt werden kann.



3 Tageslicht

3.1	Generelle Überlegungen	23
3.2	Probleme bei der Verwendung von Tageslicht	25
■	Das Licht einfangen	25
■	Das Licht lenken	26
■	Das Licht verteilen	26
3.3	Benutzung des direkten Lichtes	27
■	Sonne und Energie	27
■	Die «Sonnen-Geometrie»	27
3.4	Benutzung des diffusen Lichtes	31
■	Der Himmel	31
■	Die verschiedenen Himmelstypen	31
■	Tageslichtfaktor	34
3.5	Einige Öffnungssysteme	37
■	Direktes Licht (Sonneneinstrahlung)	37
■	Diffuses Licht (Himmelszelt)	38
3.6	Sonnenschutzsysteme	39
■	Verschiedene Arten von Sonnenschutz	39
■	Fester Sonnenschutz	40
■	Beweglicher Sonnenschutz	42
3.7	Kombination mit Kunstlicht	44
■	Farbtemperatur	44
■	Zonenbildung	44



3 Tageslicht

3.1 Generelle Überlegungen

Das Tageslicht ist die Referenzlichtquelle und Ursache allen Lebens. Sie ist unabdingbar für das Wachstum und die harmonische Entwicklung des Kindes wie auch für das psycho-physiologische Gleichgewicht des Erwachsenen.

Das Tageslicht ist aus Wellenlängen zusammengesetzt, auf die das Auge des Menschen speziell ausgerichtet ist; es sind diejenigen, die von der Sonne hauptsächlich ausgestrahlt werden (siehe Bild 3.1). Dies ist der Grund, wieso das Tageslicht wesentlich leistungstärker ist, als die üblichen Lichtquellen einer künstlichen Beleuchtung (siehe Bild 3.2).

Die Lichtausbeute des Tageslichtes bewegt sich zwischen 120 bis 160 lm/W (Lumen pro Watt) während eine herkömmliche Glühlampe nur Werte von 12 bis 20 lm/W erreicht.

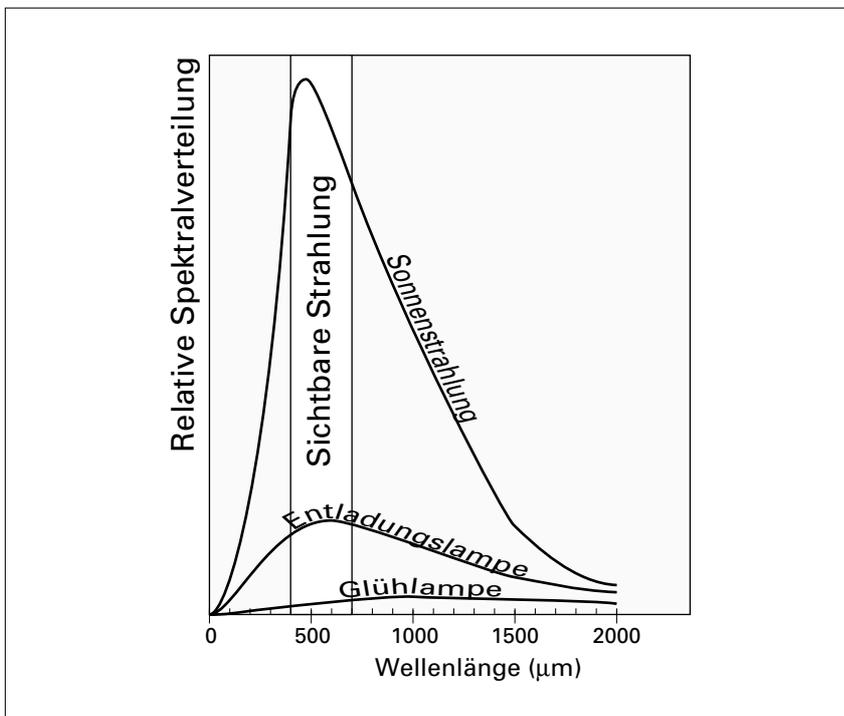


Bild 3.1:
Spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges und Emissionsbereiche von verschiedenen Lichtquellen.

Angewendet auf die Beleuchtung von Gebäuden erlaubt die Tageslichtnutzung gegenüber vergleichbaren Beleuchtungen:

- Reduktion des Energieverbrauchs für künstliche Beleuchtungen.
- Reduktion der Lüftungs- und Kühllasten in Gebäuden.
- Verbesserung des Wohlbefindens und Produktivitätssteigerung der Angestellten.



Nebst diesen Beiträgen erlaubt das Tageslicht zudem eine Aufwertung der architektonischen Qualitäten eines Gebäudes.

Das Tageslichtvorkommen teilt sich in zwei Quellen auf:

- Die Sonne (direktes Licht).
- Den Himmel (diffuses Licht).

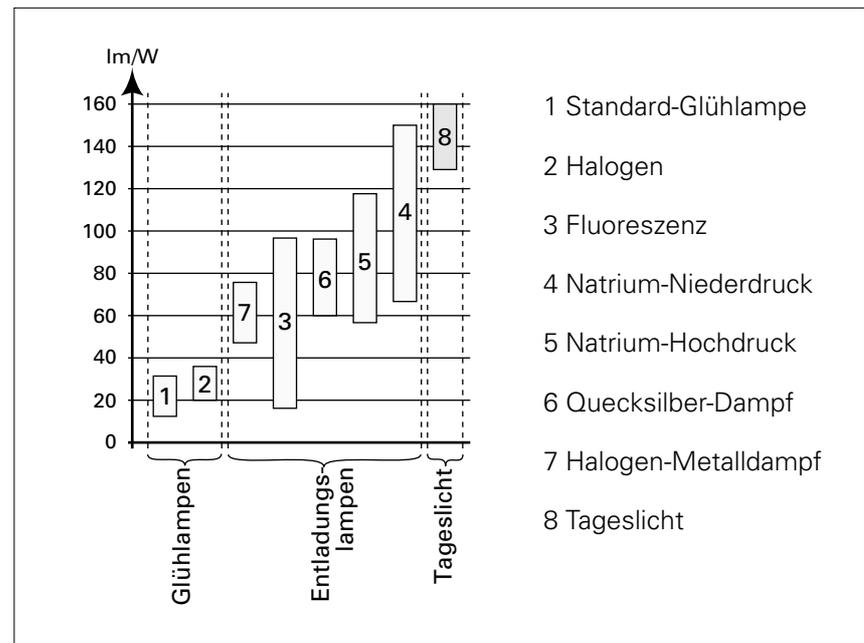


Bild 3.2:
Lichtausbeute der hauptsächlichsten Kunstlichtquellen inklusive Vorschaltgerät.



3.2 Probleme bei der Verwendung von Tageslicht

Die Beherrschung der natürlichen Beleuchtung und die daraus entstehende Atmosphäre in einem Raum ist gewährleistet, wenn der zur Verfügung stehende Lichtstrom im richtigen Moment von aussen nach innen transportiert wird. Um diese Gelegenheit besser zu verstehen, wollen wir sie an Hand einer modernen Kunstlichtleuchte der achtziger Jahre veranschaulichen (siehe Bild 3.3)

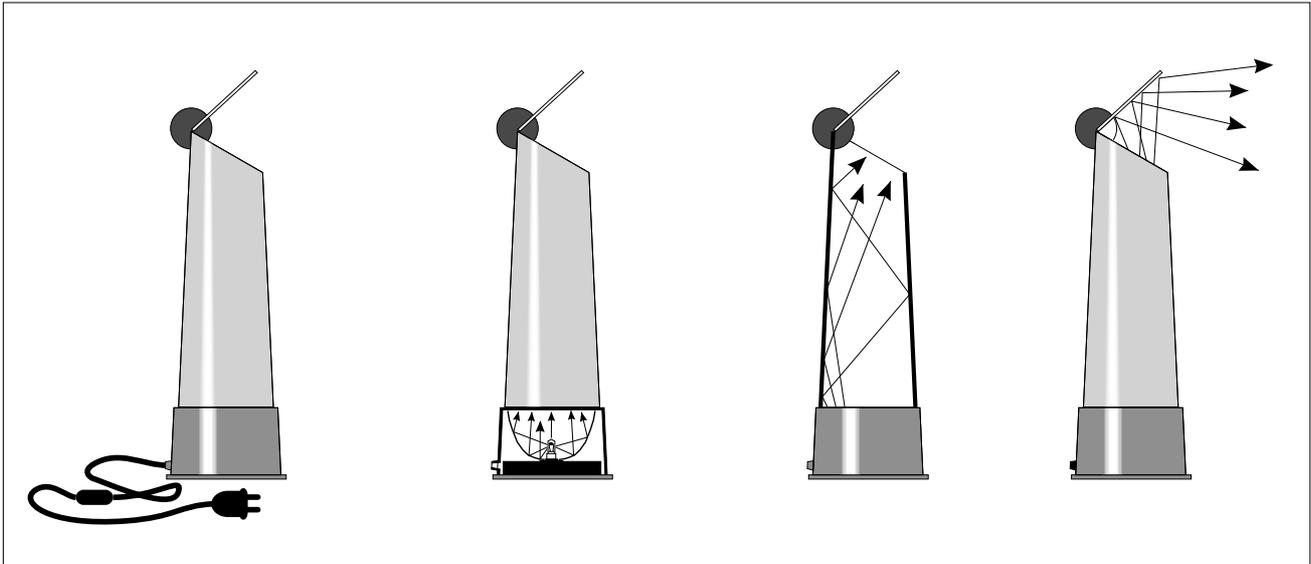


Bild 3.3:
Analogie mit einer modernen Kunstlichtleuchte.

■ Das Licht einfangen

Das System, welches Tageslicht einfängt, kann mit dem Reflektor eines Beleuchtungskörpers verglichen werden. Dieser Reflektor sammelt den Lichtstrom, der von der Quelle ausgestrahlt wird und sendet ihn in die gewünschte Richtung.

Beim Tageslicht soll darauf geachtet werden, dass die Empfangsfläche des Lichtes (F) so gross wie möglich gestaltet wird und dass dabei gleichzeitig die Fläche der Verglasung (G) so klein wie möglich bleibt (Siehe Bild 3.4). Je grösser das Verhältnis von F/G ausfällt, um so effizienter ist das ganze Öffnungssystem. Es ist dasselbe, wie wenn dadurch der von der Verglasung aus gesehene Anteil des Himmels grösser würde.



■ Das Licht lenken

Im Inneren der Leuchte wird das Licht durch einen Aluminium-beschichteten Zylinder geführt, in dem so wenig Absorptionsverluste wie möglich anfallen sollten (siehe Bild 3.3).

Beim Tageslicht ist es so, dass es in den meisten Fällen an den, von den Öffnungen am weitesten entfernten Orten gebraucht wird. Dabei muss darauf geachtet werden, dass so wenig Absorptionsverluste wie möglich an den Wänden des Raumes entstehen, damit genügend Licht in die Tiefe vordringen kann. Zu diesem Zweck sollten Wände, welche direktes Tageslicht empfangen mit sehr hellen, eventuell glänzenden Baustoffen bedeckt sein.

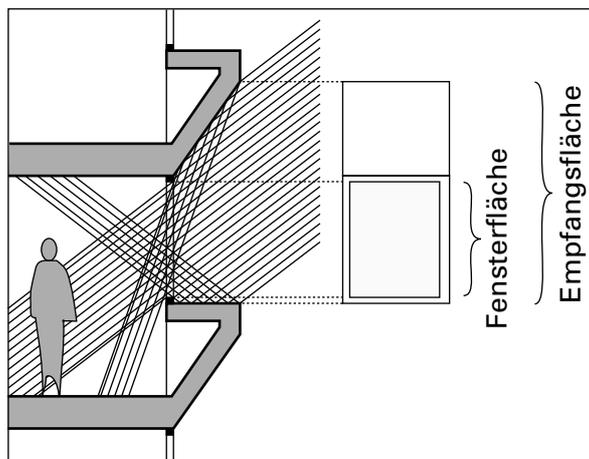


Bild 3.4:
Die Empfangsfläche erhöhen, ohne die Fensterfläche zu vergrößern.

■ Das Licht verteilen

Ein Reflektor im oberen Teil der Leuchte in Bild 3.3 übernimmt die Lichtverteilung. Form und Beschaffenheit (Oberfläche des angestrahlten Teils) dieses Reflektors ermöglichen es, die Richtung und Streuung des vorhandenen Lichtbündels zu beeinflussen (tief- oder breitstrahlendes Bündel).

Es ist darauf zu achten, dass dabei der Benutzer nicht geblendet wird. Der Farbton des Reflektors bestimmt auch direkt die Farbtemperatur des vorhandenen Lichtes.

Beim Tageslicht gilt es darauf zu achten, dass das im Raum verfügbare Licht auch effektiv genutzt werden kann. Damit dies garantiert wird, müssen die Leuchtdichten im Blickfeld der Benutzer überprüft werden, damit keine Blendungen geschaffen werden. Das bedeutet, dass im Ergonomie- wie auch im Panoramabereich des Benutzers, auf eine gleichmässige Verteilung der Leuchtdichten zu achten ist. So sollen glänzende Materialien im unmittelbaren Arbeitsbereich nach Möglichkeit vermieden und auf die Verwendung von Baustoffen mit ähnlichen Reflektionsfaktoren geachtet werden.



3.3 Benutzung des direkten Lichtes

Unter «direktem Licht» versteht man diejenigen Lichtstrahlen, die direkt von der Sonne kommen. Da diese Lichtstrahlen von einer im Weltall genau lokalisierten Quelle ausgesendet werden, können sie direkt erfasst und in ein Gebäude geleitet werden /1/,/2/,/3/.

■ Sonne und Energie

Die Sonne ist Quelle einer enormen Lichtleistung. Bei schönem Wetter liefert sie Beleuchtungsstärken in der Grössenordnung von 100'000 Lux. Ein grosser Teil der Strahlung fällt dabei als Infrarot an.

Die Sonne ist also eine Wärmequelle, von der man während des Winters profitieren kann; dagegen ist es empfehlenswert sich im Sommer entsprechend zu schützen, um allfällige Überhitzungen zu vermeiden. Die Strahlungsenergie der Sonne wird als vernachlässigbar betrachtet, sofern der Winkel von der Sonne zum Horizont weniger als 10 Grad beträgt.

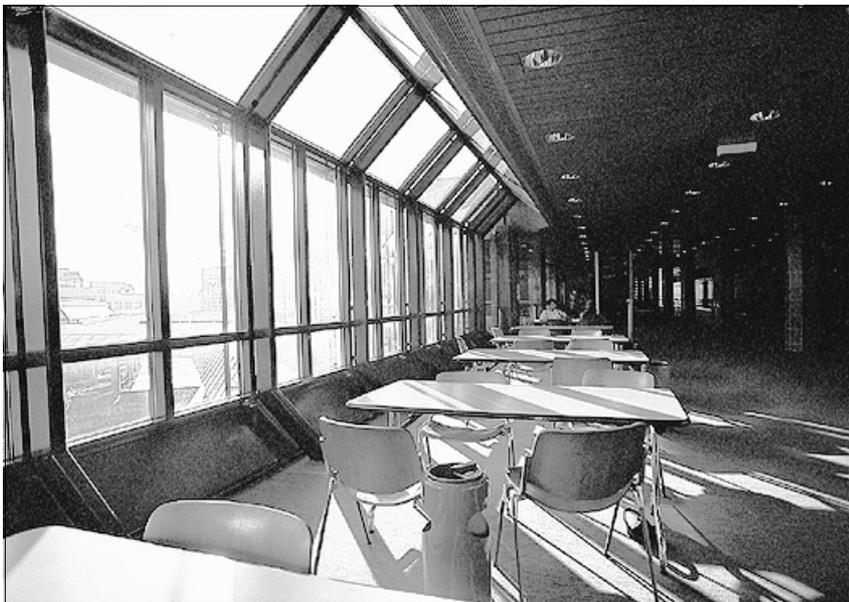


Bild 3.5:
Bereich, der mit direktem Licht beleuchtet wird.

■ Die «Sonnen-Geometrie»

Die geographische Breite

Die Sonne ist eine punktförmige Lichtquelle, deren Lauf am Himmel von der geographischen Breite des betroffenen Ortes abhängt. Die geographische Breite charakterisiert die Lage eines Punktes auf der Erdkugel bezogen auf die Nord/Süd-Achse. Sie wird in Grad gemessen und ihr absoluter Wert nimmt von den Polen (+/-90°), bis zum Äquator (0°) ab. Je mehr man sich dem Äquator nähert, um so stärker verwischen sich die saisonalen Schwankungen, vor allem bezüglich der Dauer von Tag und Nacht. Dagegen werden gegen die Pole zu die saisonalen Eigenheiten, mit langen Tagen im Sommer und kurzen im Winter, ausgeprägter. Die «mittlere» geographische Breite in der Schweiz beträgt 46.5° Nord.



Die Jahreszeiten

- Die Sonnenwende im Winter (21. Dezember):

Es ist dies der kürzeste Tag des Jahres (Tagesdauer von ca. 8 Std.). Der Sonnenstand am Mittag (Sonnenstunden) liegt 20° über dem Horizont (siehe Bild 3.6). Die Sonne scheint somit durch die Südfassade stark in die Tiefe eines Raumes. Während der Winterperiode wird die Sonne immer als sehr positives Element erlebt und man akzeptiert gerne, dass sie in die Gebäude scheint.

- Die Tag- und Nachtgleiche (21. März / 21. September):

An diesen Daten sind der Tag und die Nacht gleich lang (12 Stunden). Die Sonne geht am Morgen genau im Osten um 6.00 Uhr auf (Sonnenstunden) und geht genau im Westen um 18.00 Uhr unter (siehe Bild 3.7).

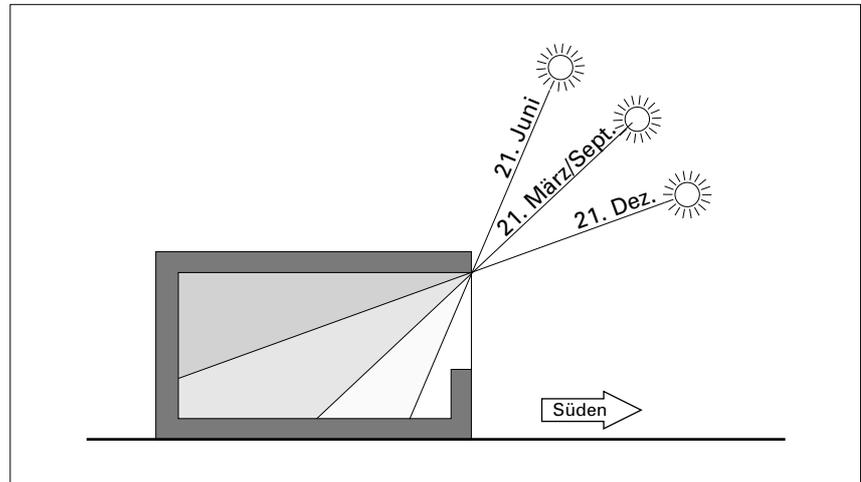


Bild 3.6:
Veränderung des Sonnenstandes nach
Jahreszeit
(geographische Breite 46.5° Nord).

Der Sonnenstand mittags beträgt 43.5° über dem Horizont. Wichtig zu wissen ist, dass sich die Sonnenlaufbahn um die Tag- und Nachtgleichen von einem Tag auf den anderen sehr rasch verändert: der Sonnenstand verschiebt sich in nur fünf Tagen um 2° . Zudem ist festzuhalten, dass trotz gleichlanger Sonnenpräsenz, am 21. März und am 21. September sehr verschiedene klimatische Verhältnisse herrschen (mittlere Abweichung der Temperatur von ca. 10° gegenüber dem Herbst), vor allem wegen der thermischen Trägheit der Erde.

- Die Sonnenwende im Sommer (21. Juni):

Dies ist der längste Tag des Jahres (ungefähr 15,5 Stunden); gleichzeitig erreicht die Sonne an diesem Tag die maximale Höhe (67° am Sonnen-Mittag). Da nun die Sonne beim Auf- und Untergehen ihre nördlichste Position erreicht, vermag sie am Tagesanfang und Tagesende an Ost und West gerichteten Fassaden weit in die Raumtiefe einzudringen (siehe Bild 3.7).

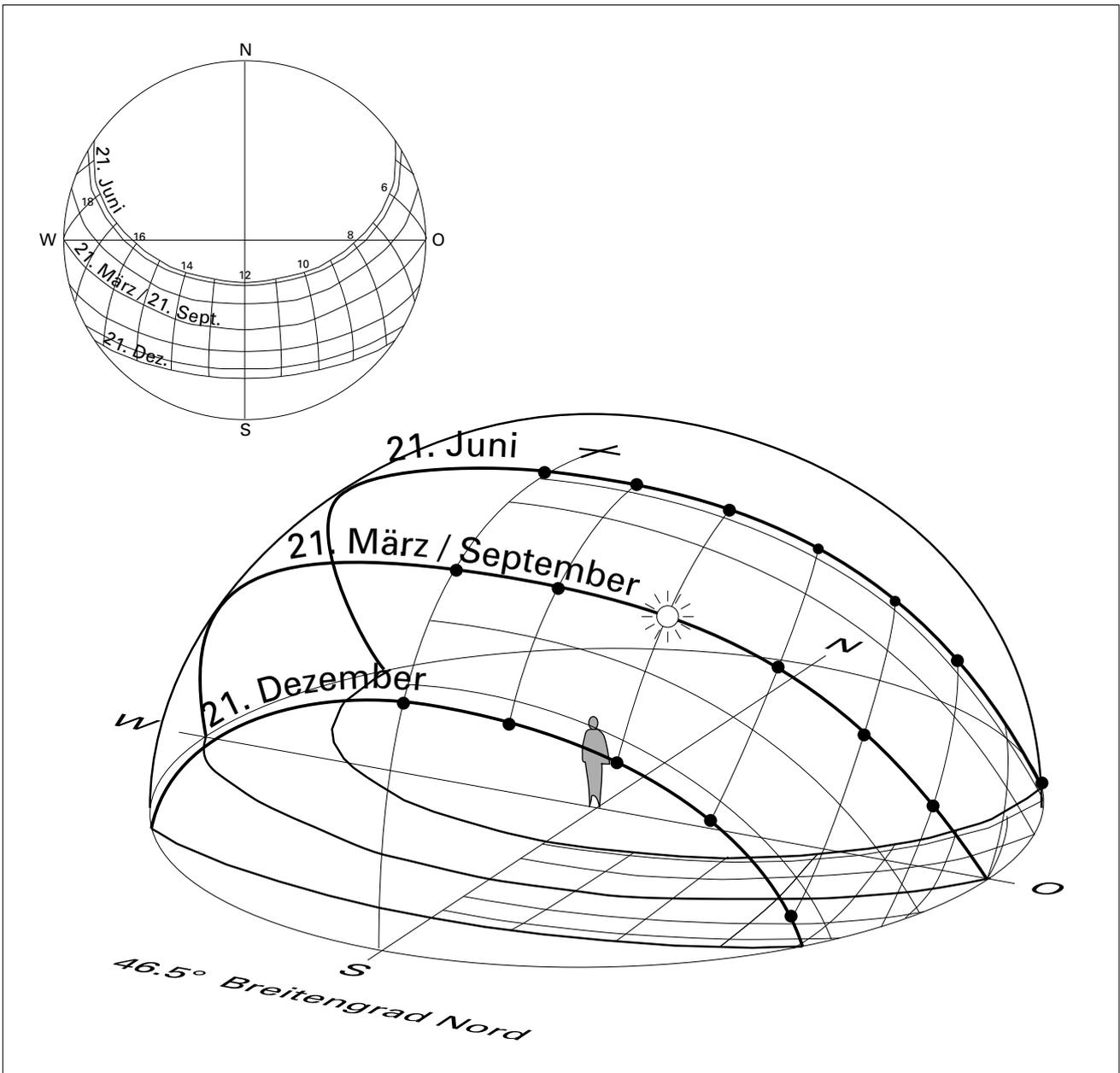


Bild 3.7:
Sonnenlaufbahn am Himmel in Funktion
des Monats und der Stunden.

Entgegen der logischen Annahme ist während dieser Saison nicht die Besonnung der südlich gelegenen Räume am grössten, da die Sonne sehr hoch am Himmel steht (siehe Bild 3.6). Dagegen ist die Besonnung durch zenitgerichtete Öffnungen maximal.

In der sonnenintensiven Periode zwischen Anfang Mai und Ende August ist es ratsam, die direkte Sonnenbestrahlung der Räume zu vermeiden. Während dieser Periode findet der Sonnenaufgang und der Sonnenuntergang jenseits der Ost-West-Achse statt (siehe Bild 3.7), was bedeutet, dass die Nordfassaden besonnt werden, auch wenn dies nur mit mässiger Intensität und zudem nur frühmorgens und spätabends und in unverbaute Lage möglich ist.



Vor- und Nachteile des direkten Lichtes:

Die Eigenschaften des direkten Lichtes sind zweischneidig. Je nach Situation können seine Vorteile sogar als Nachteile empfunden werden.

Vorteile:

- Seine Leistung ist beträchtlich.
- Es ist gerichtetes Licht, welches ein Auffangen und Lenken zum Nutzen der fensterfernen Bereiche erlaubt.
- Es ermöglicht eine interessante Dynamik.
- Es bringt einen nennenswerten Beitrag zur Heizung im Winter.

Nachteile:

- Es ist eine beachtliche Ursache von Direktblendungen.
- Es erzeugt starke Schlagschatten und bewirkt enorme Leuchtdichteunterschiede.
- Wegen seiner ständigen Bewegung ist seine Handhabung schwierig.
- Es steht nur sehr unregelmässig zur Verfügung und fällt vor allem im Winter weniger häufig an (in unseren Breitengraden).
- Es kann in der Sommerperiode massive Überhitzungen bewirken.



3.4 Benutzung des diffusen Lichtes

Mit Diffuslicht wird die Summe der Lichtstrahlen bezeichnet, die nicht direkt von der Sonne abgestrahlt werden (im Gegensatz zum Direktlicht). Das Himmelsgewölbe ist die wichtigste Diffuslichtquelle /4/,/5/,/6/.

■ Der Himmel

Die Sonnenstrahlen werden beim Durchqueren der verschiedenen Atmosphäreschichten teilweise absorbiert, die meisten werden jedoch diffus in Richtung Erde reflektiert. Das Himmelsgewölbe stellt also, im Gegensatz zur Sonne, eine Diffuslichtquelle dar. Das so zur Verfügung stehende Licht ist nicht nur diffus, sondern auch allseitig gerichtet. Die erzeugten Beleuchtungsniveaus sind weniger hoch als die durch die Sonne erzeugten (im Mittel von 5'000 bis 20'000 Lux gegenüber 100'000 Lux der Sonne).

■ Die verschiedenen Himmelstypen

Zahlreiche Forschergruppen aller Nationalitäten versuchen seit jeher generelle Regeln für die Leuchtdichteverteilung im Himmelsgewölbe zu entwickeln.

Aus Vereinfachungsgründen unterscheidet man daher in der Regel nur drei Himmelstypen; alle drei sind theoretische Modelle, die als Basis für Beleuchtungsstudien herangezogen werden.



Bild 3.8:
Mit Diffuslicht erhellter Bereich.



Eigenschaften des Himmelslichtes

Das Diffuslicht hat die folgenden Eigenschaften:

Vorteile:

- Es steht immer zur Verfügung, egal wie stark die Bewölkung ist.
- Es erzeugt keinen oder nur wenig Schatten (ungerichtetes Licht).
- Es erzeugt keine oder nur wenig Blendung.
- Es erzeugt keine Überhitzungen.

Nachteile:

- Es ist schwierig nutzbar, vor allem je weiter man sich von den Fensteröffnungen entfernt.
- Im Winter ist es oft nur in ungenügendem Mass vorhanden.

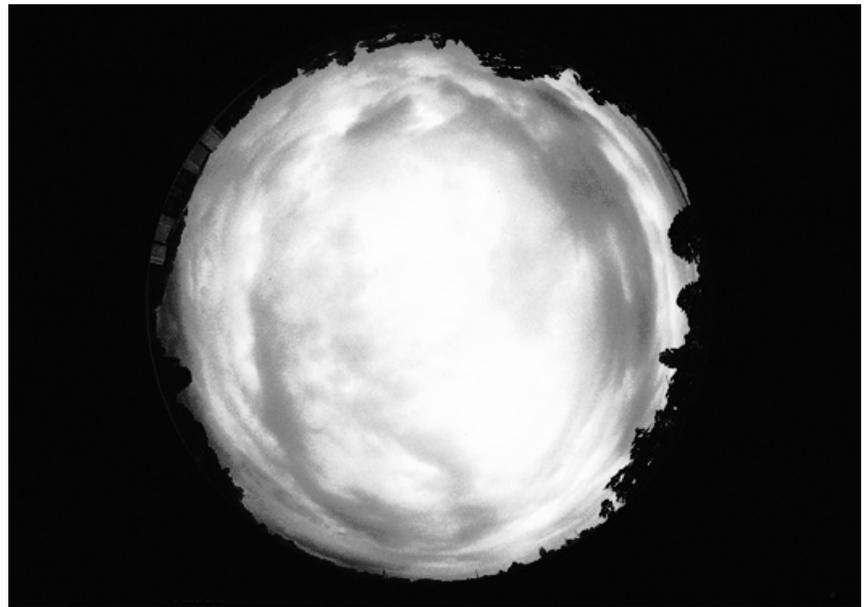


Bild 3.9:
Bedeckter Himmel durch eine «Fisch-
augen»-Optik fotografiert.



Einheitlich bedeckter Himmel

Jeder Punkt des Himmelszeltes hat die gleiche Leuchtdichte. Im Alltag trifft dieser Fall zu wenn dichter Nebel herrscht.

Gleichmässig bedeckter Himmel nach CIE

Dieses Modell legt fest, dass die Leuchtdichte des Zenits dreimal höher als diejenige des Horizonts ist. Im Alltag trifft dies zu, wenn der Himmel von hochliegenden Wolken bedeckt ist (Stratus). Die Verwendung dieses Modells führt zu einer Überbewertung der Leistung von Oblichtern auf Kosten der Fassadenöffnungen. Es sollte also mit Vorsicht angewandt werden.

Heiterer Himmel nach CIE

Auch hierbei handelt es sich um ein theoretisches Modell, welches, bei klarem Wetter, die Verteilung der Leuchtdichten in Abhängigkeit des Sonnenstandes berechnet. Als grobes Gesetz gilt, dass die Zonen starker Leuchtdichten einerseits in unmittelbarer Nähe der Sonne und im Umkreis des Horizonts vorkommen. Die schwächsten Leuchtdichten findet man in Zonen, die in einem 90° -Winkel zur Sonne stehen (Siehe Bild 3.10).

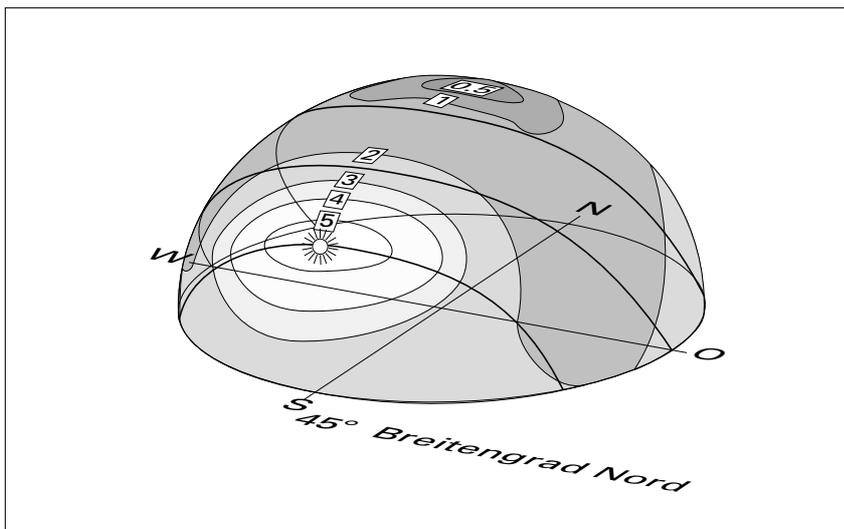


Bild 3.10:
Verteilung der Leuchtdichten am Himmelszelt bei heiterem Himmel nach CIE (21. Dezember, Mittag).



Tageslichtfaktor

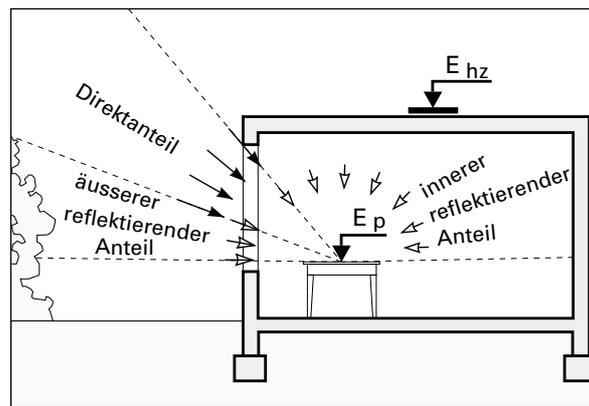
Es ist sehr schwierig, die lichttechnischen Eigenschaften eines Raumes bei direkter Sonneneinstrahlung zu bewerten (stetige Änderung des Sonnenstandes und somit der direkten Einstrahlung). Deswegen zieht man es vor, diese Eigenschaften bei bedecktem Himmel zu bestimmen. Dies geschieht, indem man das Verhältnis des verfügbaren Aussenlichtes zur inneren Beleuchtungsstärke (im Raum) bildet. Dieses Verhältnis heisst Tageslichtfaktor (D) und wird in Prozenten ausgedrückt (siehe Bild 3.11). Bild 3.12) zeigt den Zusammenhang zwischen Tageslichtfaktor und empfundenem Helligkeitseindruck im Raum.

Bild 3.11:

$$\text{Tageslichtfaktor } D = \frac{E_p}{E_{hz}} [\%]$$

E_p = Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsoberfläche

E_{hz} = Äussere horizontale Beleuchtungsstärke.



Man stellt fest, dass der Anteil an verfügbarem Tageslicht im Raum selbst relativ klein ist (einige Prozente). Es ist aber tatsächlich so, dass schon ein Tageslichtanteil von 4% einen merkbaren Helligkeitseindruck hinterlässt, weil eben die verfügbaren Aussenlichtquantitäten sehr gross sind.

	< 1%	>1% <2%	>2% < 4%	>4% <7%	>7% <12%	>12%
Tageslichtfaktor	sehr schwach	schwach	mässig	mittel	hoch	sehr hoch
Betroffene Zone	Weit vom Fenster weg (ca. 3–4 mal Fensterhöhe)			Nahe bei den Fenstern oder unter der Oberschwelle		
Helligkeitseindruck	Dunkel bis wenig beleuchtet		Wenig beleuchtet bis hell		Hell bis sehr hell	
Visueller Eindruck Raum	Diese Zone.....scheint von dieser.....getrennt zu sein					
Atmosphäre	Dieser Raum scheint geschlossen zu sein			Dieser Raum öffnet sich nach aussen		

Bild 3.12: Empfundener visueller Raumeindruck in Abhängigkeit des Tageslichtfaktors /4/.

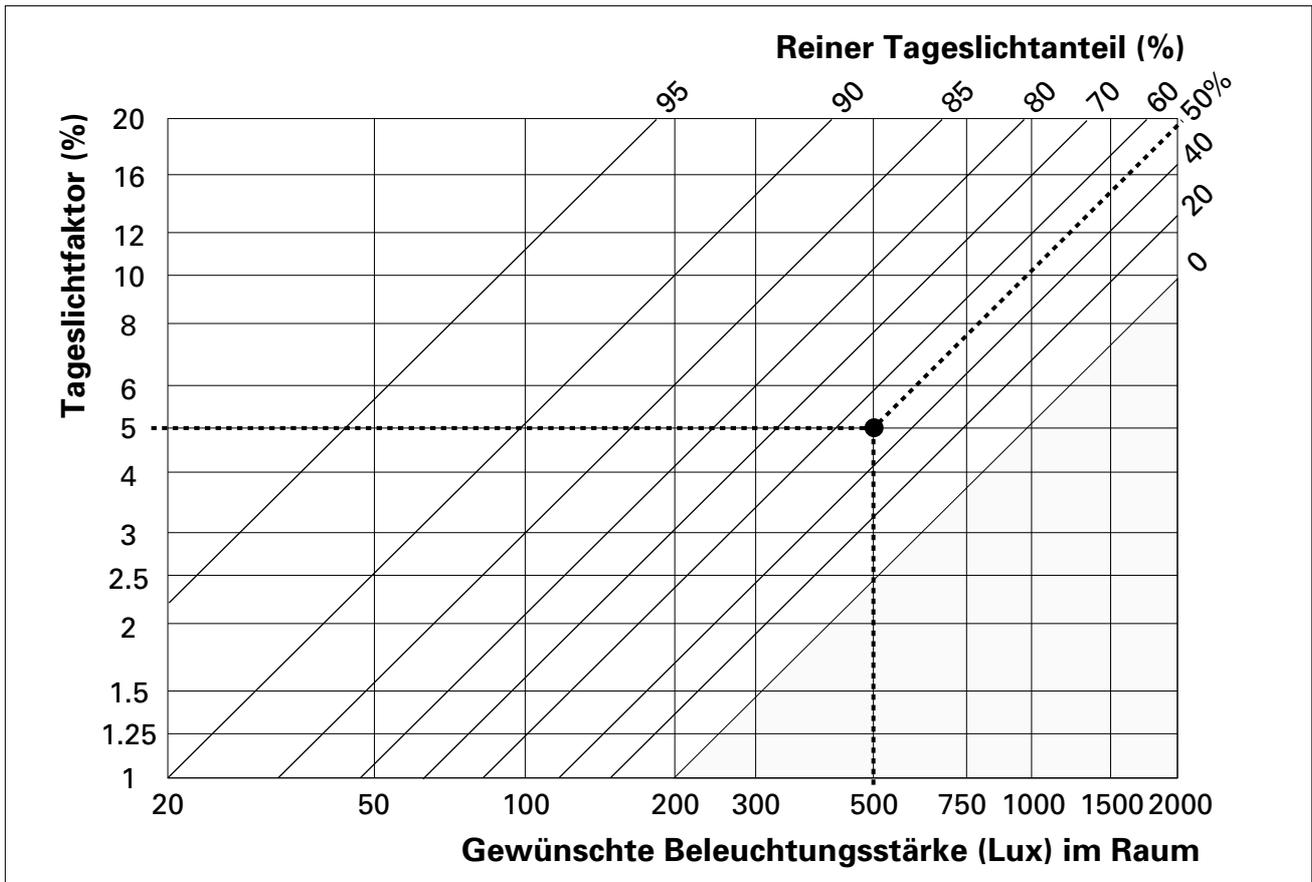


Bild 3.13:
Abdeckung des Bedarfs durch Tageslicht in Abhängigkeit der notwendigen Beleuchtungsstärke im Raum und des anfallenden Tageslichtfaktors. Gültig für eine jährliche Arbeitszeit von 7.00 bis 17.00 Uhr im Winter und von 8.00 bis 18.00 Uhr im Sommer, bei bedecktem Himmel /5/.



Bild 3.14 zeigt, dass eine Wolkendecke von über 7.5 Zehntel während mehr als 45% des Jahres das Mittelland bedeckt. Während derselben Zeitspanne (weniger als 2.5 zehntel Wolkendecke) gibt es nur 15 bis 20% heitere Tage. Für diese Art von Klima sollten nun die Öffnungen so dimensioniert werden, dass die Einstrahlung von diffusem Licht bevorzugt wird. Man weiss ja, dass während den Wintermonaten nur sehr spärlich direktes Sonnenlicht anfällt und dass demzufolge meist nur diffuses Licht zur Verfügung steht.

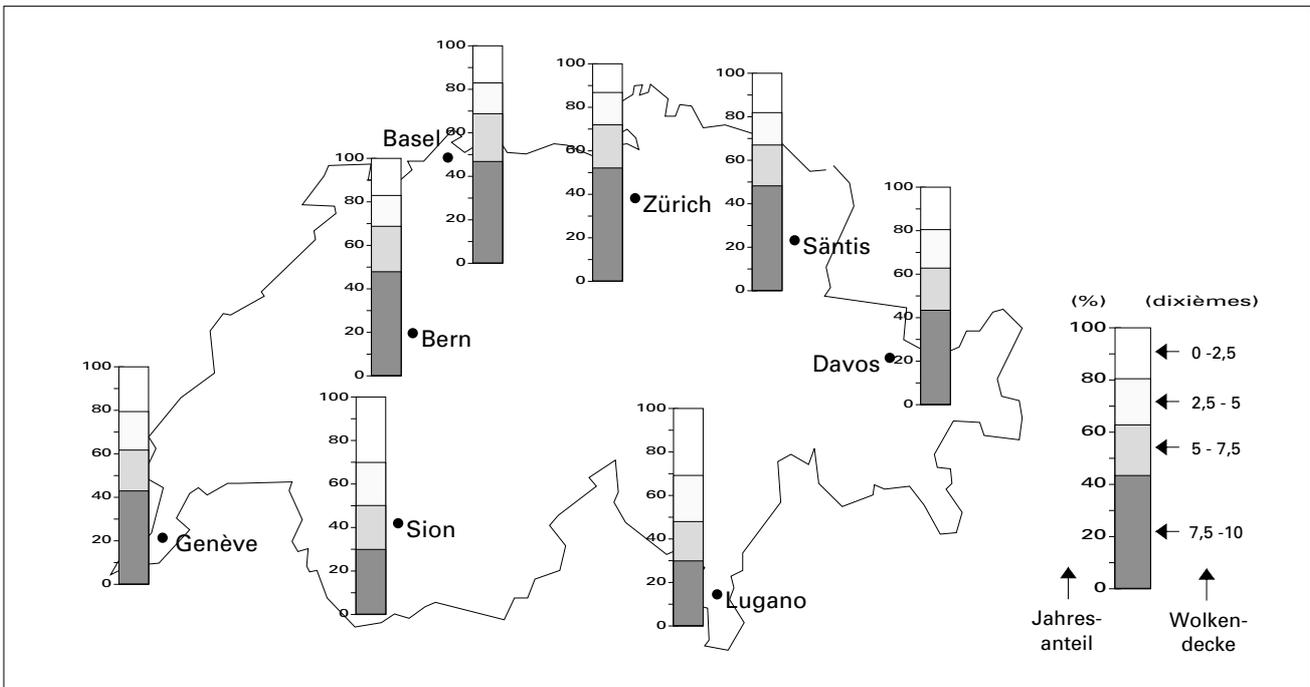


Bild 3.14: Verschiedene Himmelsarten nach Bewölkungsgrad /8/.

Einen wesentlichen Unterschied zum soeben Gesagten, finden wir in den Städten Sion und Lugano, wo heiterer Himmel (weniger als 2.5 zehntel Wolkendecke) während 30% aller Tage in einem Jahr vorkommen. In diesen Gebieten ist der Himmel übrigens genau so oft bedeckt (7.5 zehntel Wolkendecke) wie heiter. Die Tageslichtnutzung in diesen Gegenden sollte demnach eher auf direkte Einstrahlung ausgerichtet sein, um vor allem im Winter davon zu profitieren. Es ist aber darauf zu achten, dass eine sommerliche Überhitzung der Räume durch Anbringen von effizienten Sonnenschutzsystemen vermieden wird.



3.5 Einige Öffnungssysteme

Nachstehend werden zwei, sich im Verhalten bei direktem und diffusem Licht widersprechende, Öffnungssysteme verglichen:

- Seitliche oder Fassadenöffnungen.
- Oberlichter.

■ Direktes Licht (Sonneneinstrahlung)

Aus den Bildern 3.15 und 3.16 ist klar ersichtlich, dass diese beiden Öffnungssysteme sich gegensätzlich verhalten, was die Jahreszeitenbedingten Sonneneinstrahlungen anbelangt.

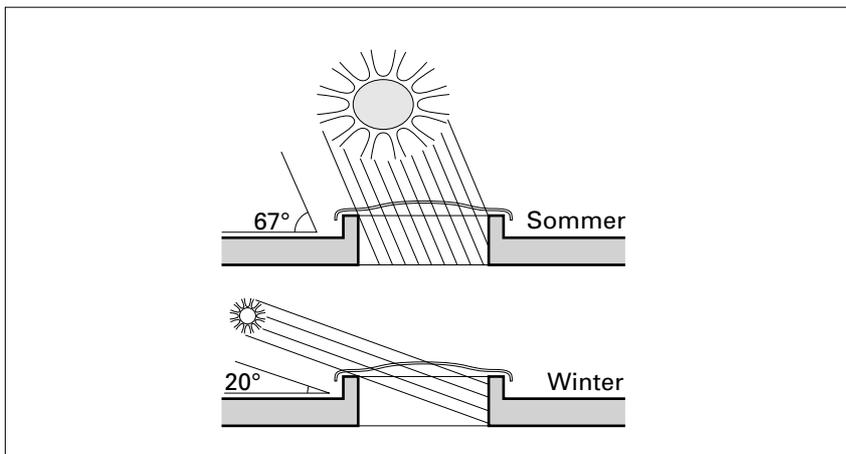


Bild 3.15:
Jahreszeitbedingtes Verhalten von Oberlichtern bei direkter Sonneneinstrahlung.

Oberlichter

Im Winter dringen die Sonnenstrahlen nur mit Mühe ein und finden hingegen im Sommer kaum einen Widerstand um dies zu tun. Die Konsequenz dieser Tatsache drückt sich durch einen permanenten thermischen Stöorzustand aus (Kaltluftstürze unter den Öffnungen im Winter und grosse Überhitzungen im Sommer).

Süd-Fassadenöffnungen

Solche Öffnungen schöpfen die winterliche Einstrahlung optimal aus und sind zu gleicher Zeit «natürlich» gegen sommerliche Überbelastung geschützt. Diese Eigenschaften tendieren eindeutig in die Richtung einer optimalen jährlichen Nutzung von direkter Sonneneinstrahlung.

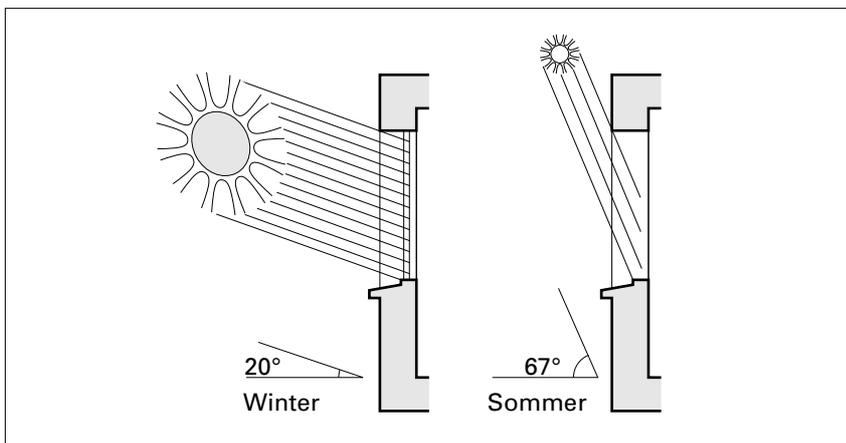


Bild 3.16:
Jahreszeitbedingtes Verhalten von Fassadenöffnungen bei direkter Sonneneinstrahlung.



■ Diffuses Licht (Himmelszelt)

Wenn der Himmel bedeckt ist, hängt die Tageslichtnutzung vor allem mit dem Anteil sichtbaren Himmels durch die Öffnung ab. Bild 3.17 zeigt die Leistungen von den meist verbreiteten Öffnungssystemen bei bedecktem Himmel.

Oberlichter

Horizontale Öffnungen erfassen das gesamte Himmelszelt und sind dementsprechend wirksam bei bedecktem Himmel. Da das Licht von oben senkrecht in den Raum eindringt, werden die Blendungen auf ein Minimum reduziert (Die meisten Aktivitäten werden ja bei einer horizontalen Blickrichtung getätigt).

Fassadenöffnungen

Vertikale Öffnungen erfassen im besten Fall nur die Hälfte des Himmelszels. Dementsprechend sind die lichttechnischen Eigenschaften solcher Öffnungen ungefähr zweimal kleiner, als diejenigen von Oberlichtern. Da das Licht seitlich in die Räume eindringt, können Situationen von Gegenlicht oder Blendungen in den naheliegenden Zonen entstehen.

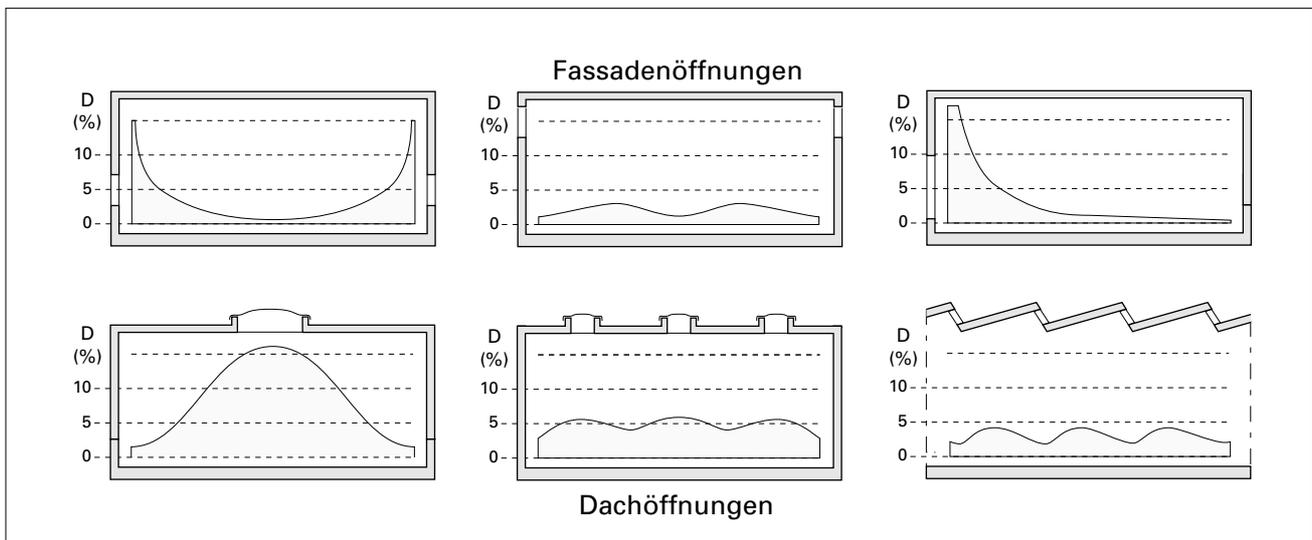


Bild 3.17:
Leistungsvergleich von verschiedenen
Öffnungssystemen.



3.6 Sonnenschutzsysteme

Die gegensätzlichen Eigenschaften von Tageslicht bei bedecktem und bei bewölktem Himmel verlangt nach einem Korrektursystem, das wir Sonnenschutz nennen. Im Folgenden werden die Störfaktoren des Tageslichtes kurz untersucht, die von solchen Sonnenschutzsystemen korrigiert werden können.

Blendung

Blendungen sind vor allem dann zu befürchten, wenn die Sonne tief steht, d. h. im Winter oder bei Tagesbeginn und Tagesende. Das Blendungsrisiko entsteht durch übertrieben grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen, im Blickfeld auftretenden Leuchtdichten. Die eigentliche Störgrenze einer Blendung hängt aber sehr von der Tätigkeit und der Art des Raumes ab, in der sie auftritt.

Überhitzung

Überhitzung ist vor allem im Sommer zu befürchten, wenn die Sonneneinstrahlung durch die Fenster eindringt (Treibhauseffekt: Die Infrarotstrahlung wird von der Verglasung gefangen und der Raum erhitzt sich).

Was kann nun getan werden, um diese Störfaktoren an Hand von Sonnenschutzsystemen zu verringern und mit welcher Art von Systemen wird dies am besten getan?

Innen- oder Aussenschutz

Die Anordnung des Sonnenschutzes im Bereich des Fensters ist für den reinen Blendenschutz irrelevant. So wohl ein Innen- wie auch ein Aussenschutz behebt Blendungen, wenn er zwischen Auge und Lichtquelle aufgebaut wird. Um aber eine Überhitzung effizient zu vermeiden, ist es meist unerlässlich, diesen Schutz auf der Aussenseite des Fensters anzubringen und nicht innen. Damit kann der Energiefluss gestoppt werden, bevor er in den Raum eindringt.

■ Verschiedene Arten von Sonnenschutz

Undurchlässige Abschirmung

Besteht die Abschirmung aus lichtundurchlässigem Material, so kann das einfallende Tageslicht entweder nach aussen zurückgeworfen, oder aber nach innen, z.B. an die Decke, reflektiert werden und somit den hinteren Teil des Raumes erhellen (siehe Bild 3.18).

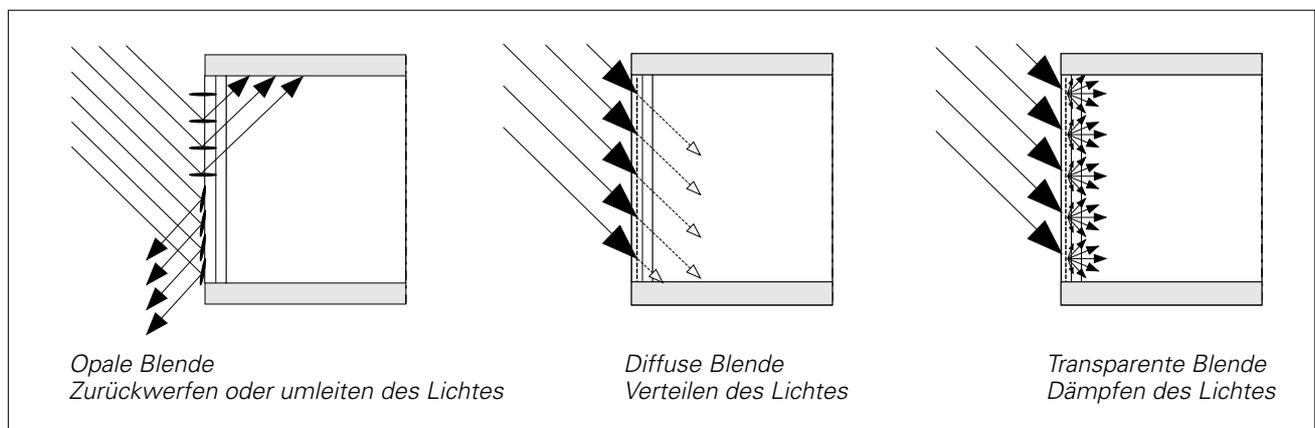


Bild 3.18:
Wirkungsweise von verschiedenen
Sonnenschutzsystemen.



Durchscheinende Abschirmung

Diese Art von Abschirmung verhält sich wie eine diffuse Lichtquelle mit konstanter Leuchtdichtenverteilung (z.B. doppelte oder beschichtete Stoffstoren). Das Licht wird in diesem Fall nicht einfach nach Aussen reflektiert, sondern im Raum selbst genutzt (Siehe Bild 3.18).

Durchsichtige Abschirmung

Es handelt sich hierbei um eine lichtdämmende, durchsichtige Abschirmung aus getöntem Glas oder Plastik, aus gewobenem Stoff oder aus gelochtem Blech. Psychologisch gesehen wirkt sich die Transparenz positiv auf den Menschen aus (siehe Bild 3.18). Die Dämpfung einer solchen Abschirmung muss aber genügend gross sein, damit direktes Tageslicht im Blickfeld nicht mehr störend wirkt, d.h. dass der Transmissionsfaktor unter 10% liegen muss.

Fester Sonnenschutz

Süd-Fassade (horizontaler Schutz)

Im Falle einer südorientierten Fassade, kann der Sonnenschutz mit horizontal verlaufenden Elementen vor der Verglasung realisiert werden. Die Wirkung eines solchen Sonnenschutzes hängt von der Dimension dieser Elemente ab.

Berechnung der Dimensionen

- Als erstes soll eine Limite des Datums gesetzt werden, ab welcher keine Sonneneinstrahlung mehr toleriert wird (z. B. ab 21. April).
- Anschliessend berechnet man die Sonnenhöhe, die diesem Datum entspricht (54° für Genf).
- Dieser Winkel wird nun auf einen Querschnitt des betrachteten Raums übertragen, in dem der unterste Teil der Verglasung mit dem äussersten Teil des Sonnenschutzes ausgerichtet wird (siehe Bild 3.19).
- Wenn die Fassade nach Süden ausgerichtet ist (mit einer Genauigkeit von $\pm 15\%$), hat man somit die Gewissheit, dass die Sonneneinstrahlung ab 21. April nicht mehr möglich ist.

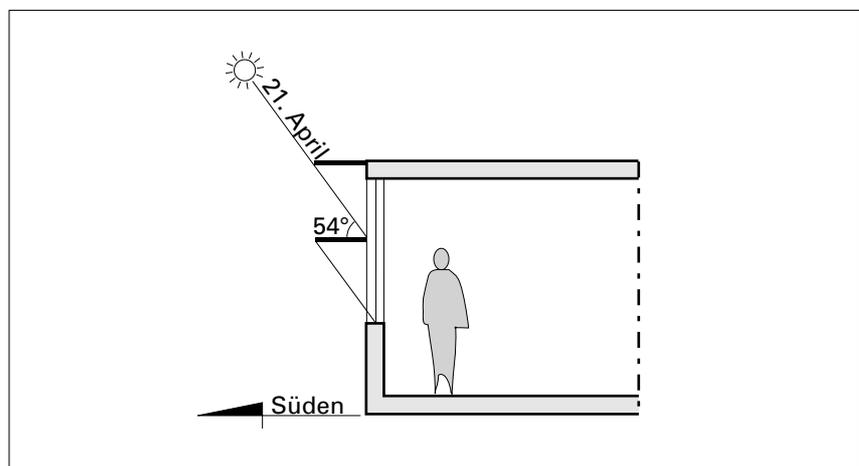


Bild 3.19:
Fester Sonnenschutz an Süd-Fassade.



Ost/West-Fassade (Vertikaler Schutz)

Bei Fassaden, die nach Osten oder nach Westen ausgerichtet sind, ist es nicht denkbar, einen horizontalen Sonnenschutz anzubringen, weil die Sonne tief steht, wenn sie die Fassade bestrahlt. Es ist viel einfacher, diese Strahlung an Hand von senkrechten Elementen zu stoppen (siehe Bild 3.21).

Bei nach Osten ausgerichteten Fassaden, dient der Sonnenschutz ausschliesslich der Verhinderung von Blendungen, wobei er an West-Fassaden als Wärmeschutz installiert wird (Sonneneinstrahlung am Abend).

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass mit jedem installierten Sonnenschutz der diffuse Anteil an Tageslicht im Raum verringert wird. An Ost- und West-Fassaden ist es also von Vorteil, einen beweglichen Sonnenschutz vorzusehen, damit eben diese diffusen Tageslichtanteile nicht verloren gehen, die am Morgen im Westen und am Abend im Osten auftreten.



*Bild 3.20:
Festes Sonnenschutzelement an einer
Südfassade (Aufnahme im Winter: Die
Sonneneinstrahlung ist nicht behindert).*



■ Beweglicher Sonnenschutz

Unabhängig von der Ausrichtung der Fassade es ist unmöglich, sich mit einem festen Sonnenschutzsystem vollständig gegen Sonneneinstrahlung zu schützen. In den meisten Fällen ist es daher notwendig, den festen Sonnenschutz mit einem beweglichen Schutz zu kombinieren.

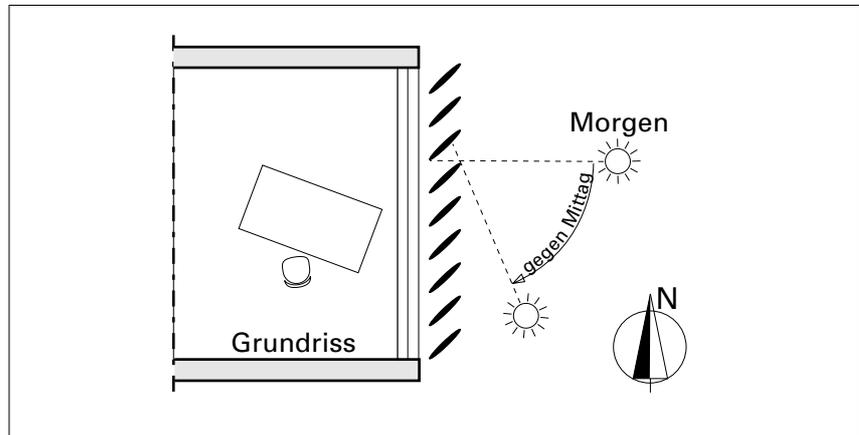


Bild 3.21:
Fester Sonnenschutz auf der Ostfassade.

Eigenschaften von beweglichen Sonnenschutzsystemen

Eine bewegliche, aussenmontierte Schutzvorrichtung hat die folgenden Eigenschaften:

- Gute Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Sonnenverhältnisse (Abschirmungsgrad den Aussenbedingungen entsprechend).
- Vermeidung von Überhitzung im Raum (die Sonnenstrahlen gelangen nicht durch das Glas).
- Vermeiden von Blendung.
- Umleitung der Sonnenstrahlen möglich (Lamellenstoren).

Zu treffende Vorsichtsmaßnahmen:

- Werden nichtautomatisierte Systeme angewendet, so muss die Handhabung derselben so einfach wie möglich sein, so dass alle Benutzer die gewünschte, tagesabhängige Lichtstimmung einstellen können.
Zudem sind die Benutzer über den optimalen Einbezug des Tageslichtes in geeigneter Form zu orientieren.
- Stehen automatische Systeme zur Verfügung, so ist es wichtig, dem Benutzer eine «Manuell-Stellung» zu ermöglichen, um so eine der Aktivität entsprechende Flexibilität zu garantieren.



*Bild 3.22:
Sonnenschutz mit mobilen Vertikal-
elementen an einer Westfassade.*



3.7 Kombination mit Kunstlicht

■ Farbtemperatur

Das Tageslicht hat eine hohe Farbtemperatur ($> 6'000^{\circ}\text{K}$), was dieses Licht «kalt» erscheinen lässt. Unser Auge ist besonders empfindlich auf diese Charakteristik, wenn der Himmel bedeckt und das Beleuchtungsniveau tief ist.

Im Vergleich dazu erscheint das Kunstlicht (vor allem das Glühlampenlicht) als Gelb- oder Orange-Strahler (niedrigere Farbtemperatur erzeugt «warmes» Licht). Die Vermischung der beiden Lichtarten hat eher eine Verstärkung der erwähnten Eigenschaften zur Folge, was nicht in jedem Fall erwünscht ist.

■ Zonenbildung

Tageslicht unterteilt einen Raum gern in eine sehr helle und eine wesentlich dunklere Zone. Nach Möglichkeit ist darauf zu achten, mit der künstlichen Beleuchtung diese Zonenbildung nachzuvollziehen. Dazu wäre es sinnvoll, das Ein- und Ausschalten der Leuchten dem Tageslicht entsprechend steuern zu können. Während des Tages wäre es damit möglich, die dunkleren Bereiche mittels Kunstlicht aufzuhellen, ohne gleichzeitig die fensternahen Leuchten einzuschalten. Diese Massnahme unterstützt die rationelle Verwendung elektrischer Energie.



4 Künstliche Beleuchtung

4.1	Eigenschaften der verschiedenen Lichtquellen	47
■	Die Glühlampe	47
■	Die Entladungslampe	48
■	Die Induktionslampe	51
■	Lichtausbeute der verschiedenen Lichtquellen	52
■	Farbwiedergabe und Farbtemperatur	53
■	Lebensdauer der Lichtquellen	54
4.2	Eigenschaften der verschiedenen Beleuchtungskörper	58
■	Wirkungsgrad eines Beleuchtungskörpers	59
■	Kriterien des visuellen Komforts	60
4.3	Lichtsteuersysteme	62
4.4	Schritte im Beleuchtungsprojekt	64
■	Beleuchtungsprojekt für Innenräume	64
■	Wahl des Beleuchtungssystems (Direkt, Indirekt, Direkt-Indirekt)	64
■	Wahl der Beleuchtungskörper	65
■	Berechnungen und Anordnung der Beleuchtungskörper	65



4 Künstliche Beleuchtung

4.1 Eigenschaften der verschiedenen Lichtquellen

Man kann die verschiedenen Kunstlichtquellen in drei Hauptgruppen unterteilen:

- Glühlampen
- Entladungslampen
- Induktionslampen.

■ Die Glühlampe

Die Glühlampe produziert Licht, indem ein Draht (Wendel) durch elektrischen Stromfluss glühend gemacht wird (siehe Bild 4.1)

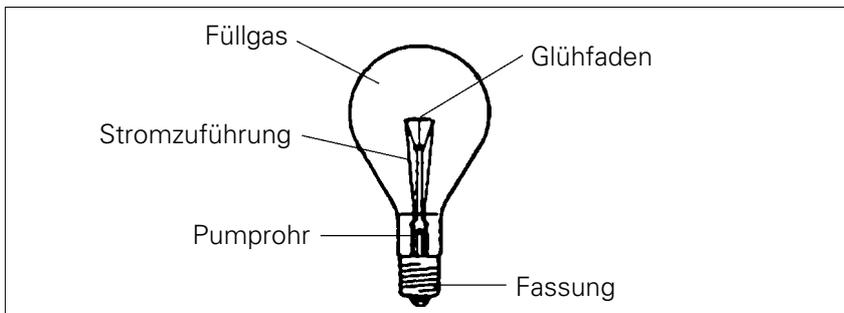


Bild 4.1:
Schematischer Aufbau einer Glühlampe.

Eine Glühlampe ist in den folgenden Kolben-Ausführungen erhältlich:

- Klar, wenn das Glas transparent und nicht gefärbt ist.
- Matt, wenn das Glas durch Aufrauung diffus streut.
- Opal, wenn das Glas durch seine Dicke und Materialeigenschaft diffus streut.
- Opalisiert, wenn der Kolben auf der Innenseite durch eine dünne, diffusstreuende Schicht belegt ist.

Unter den verschiedenen Arten von Glühlampen findet man:

- Glaskolbenlampen (Gasatmosphärenlampen), deren Wendel in einem mit Inertgas gefüllten Kolben aufgespannt sind.
- Glaskolbenlampen, deren Gasfüllung Halogenide enthalten (Halogen-glühlampen).
- Speziallampen, wie Autolampen, Lampen für Flugfeldleuchten oder Lampen für Theaterscheinwerfer (auch hier mit oder ohne Halogenide).

Die mittlere Lebensdauer einer Glühlampe bewegt sich zwischen 1'000 und 2'000 Stunden bzw. 2'000 und 3'500 Std. bei Halogen-glühlampen. Ihre Lichtausbeute beträgt 5 bis 15 lm/W, bzw. 10 bis 20 lm/W bei Halogen-glühlampen.



Nützliche Anmerkung

Die Halogenglühlampen gehören zur Familie der Glühlampen (beheizter Wendel) im Gegensatz zu Halogen-Metaldampflampen, die zu den Entladungslampen gehören. Die ersteren brennen sofort und können mit einem Lichtdimmer geregelt werden. Die zweiten benötigen 2 bis 5 Minuten bis zur vollen Lichtstromabgabe und können nicht geregelt werden. Die Entladungslampen entwickeln für eine entsprechende Lichtleistung wesentlich weniger Wärme; ihre Lebensdauer ist zwei- bis dreimal länger als die der Halogenglühlampen. Nach dem Ausschalten der Metaldampflampen ist ein Wiedereinschalten erst nach einer Abkühlungszeit von einigen Minuten möglich. Je nach Lampentyp kann aber mit einem Sofortzündgerät eine schnelle Wiedereinschaltung bewirkt werden. Halogenglühlampen gibt es sowohl für die Netzspannung von 230 V (mit verschiedenen Sockeln wie E27, B15d und R7s) als auch für Kleinspannung (6, 12, 24 Volt) mit Stiftsockel (bedingt einen Transformator).

Die Entladungslampe

Die Lichtproduktion dieser Lampen basiert auf einer elektrischen Entladung in Gas, in Metaldampf oder in einer Mischung von mehreren Gasen und Dämpfen (siehe Bild 4.2).

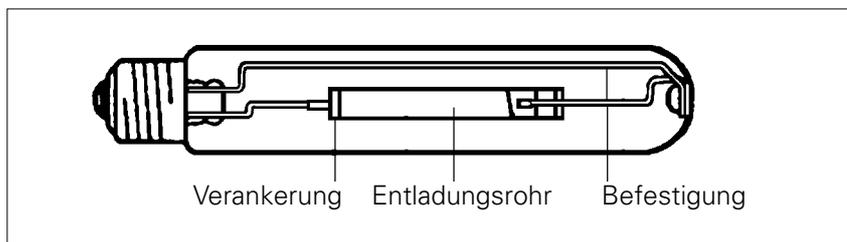


Bild 4.2:
Teile einer Gasentladungslampe.

Unter den verschiedenen Entladungslampen gibt es die folgenden Arten:

- Fluoreszenzlampen
- Kompakt-Fluoreszenzlampen
- Hochdruck-Quecksilberdampflampen
- Niederdruck-Natriumdampflampen
- Hochdruck-Natriumdampflampen
- Halogen-Metaldampflampen
- Mischlichtlampen
- Lichtbogenlampen (nur noch von geschichtlichem Interesse).

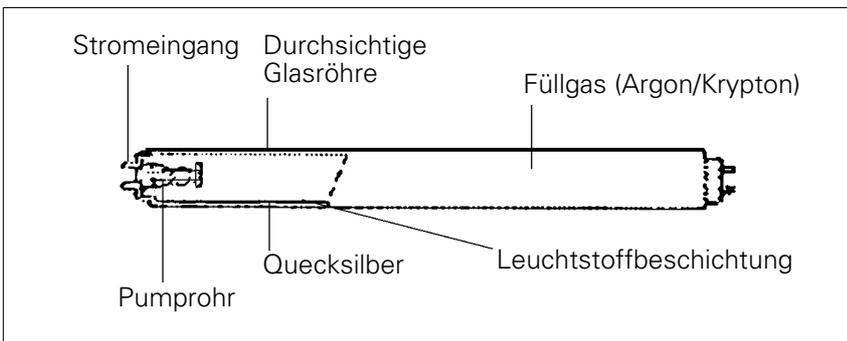
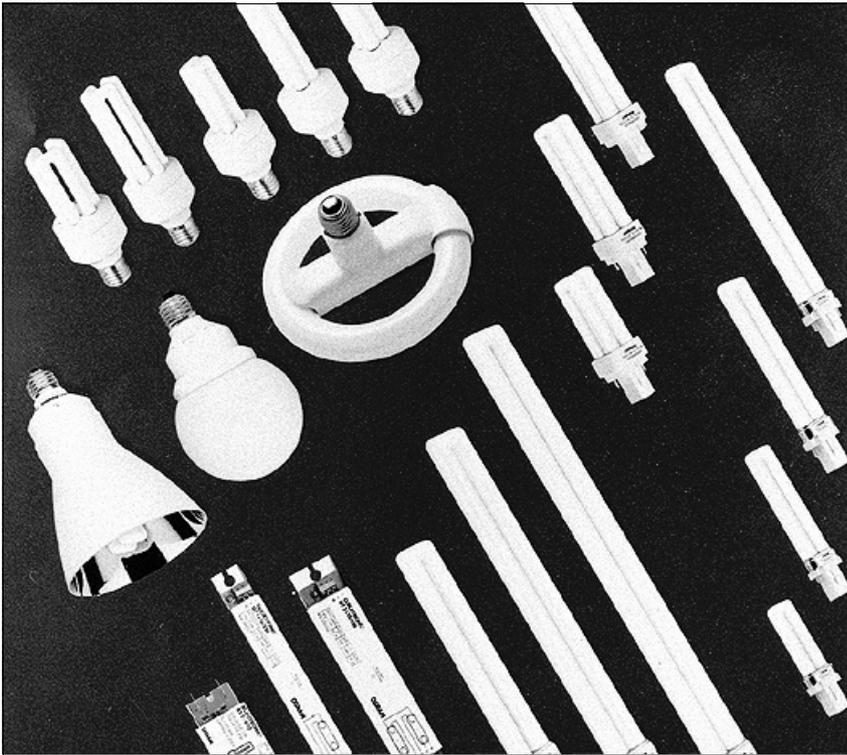


Bild 4.3:
Teile einer Fluoreszenzlampe.

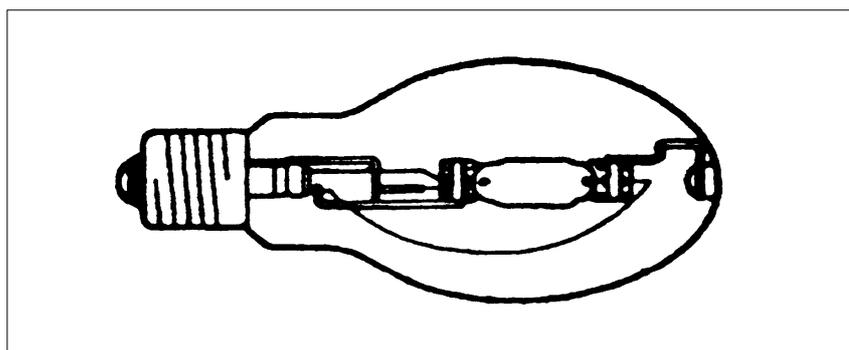


Bild 4.4:
Schnitt einer Quecksilberdampf Lampe.

Die Entladungslampen werden laufend weiterentwickelt; vor allem bei den Kompakt-Fluoreszenzlampen ist in den letzten Jahren eine wesentliche Verbesserung in bezug auf Grösse und Lichtstromabgabe erreicht worden. Daneben wurden neue, vollelektronische Vorschaltgeräte entwickelt, die einen sicheren Sofortstart und einen flimmerfreien Betrieb der Fluoreszenzlampen ermöglichen.

Die mittlere Lebensdauer einer Entladungslampe beträgt etwa 6'000 bis 10'000 Stunden; ihre Lichtausbeute schwankt zwischen 60 und 180 lm/W.



Die Induktionslampe

Zur Zeit wird nur eine Induktionslampe angeboten (QL-Lampe von Philips). Die Lichtproduktion mittels Induktion basiert auf zwei bekannten Effekten:

- elektromagnetische Induktion;
- elektrische Entladung in einem Gas (wie bei einer Fluoreszenzlampe).

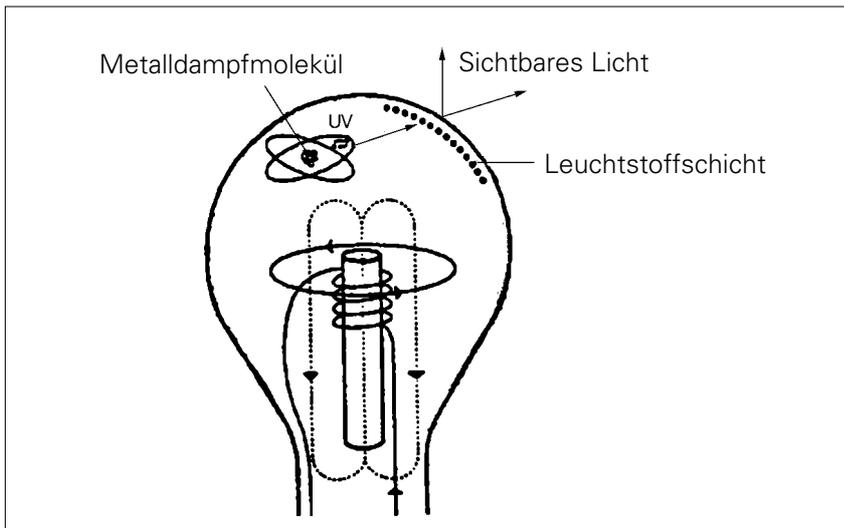


Bild 4.5:
Schematischer Aufbau einer Induktionslampe.

Elektromagnetische Induktion entsteht, wenn ein Wechselstrom durch eine Spule fließt. In einer Entladungslampe wird das Füllgas durch elektrischen Strom ionisiert, was in Fluoreszenzlampen z. B. zu einer Produktion von Ultraviolett-Strahlung führt. Diese Strahlung wird dann durch eine, auf der Innenwand der Röhre angebrachte Fluoreszenzpuderschicht, in sichtbares Licht umgewandelt. Eine Kombination dieser beiden Techniken kommt in der Induktionslampe zur Anwendung (siehe Bild 4.5).

Eine Induktionslampe besteht aus einem elektronischen Hochfrequenzgenerator, einem Leistungskoppler und einem Niederdruck-Entladungskolben, der weder mit Elektrode noch mit Wendeldraht versehen ist. Das Resultat ist eine Lebensdauer von 60'000 Stunden. Der Farbwiedergabeindex liegt bei einem Wert von über 80, wobei zum heutigen Zeitpunkt zwei Varianten von Lampen produziert werden, eine mit 3'000 und die andere mit 4'000 K.



■ Lichtausbeute der verschiedenen Lichtquellen

Die Lichtausbeute ist eine Kennzahl, die aussagt wie gut eine Lichtquelle elektrische Energie in Lichtstrom umsetzen kann, d. h. mit wie wenig Wärmeverlust dies geschieht. Bild 4.6 zeigt diese Lichtausbeute für die beschriebenen Lichtquellen in Abhängigkeit von deren elektrischen Leistung. Es ist wichtig, dass in dieser Leistung auch die Vorschaltgeräte der Entladungslampen bzw. der Transformatoren der Halogenglühlampen miteinbezogen werden, da sie sehr erheblich sein können.

Die verfügbaren Lampen können in drei Lichtausbeute-Kategorien eingeteilt werden:

- Lichtquellen mit hoher Lichtausbeute (Natriumdampflampen, Lampen mit metallischen Halogeniden).
- Lichtquellen mit mittlerer Lichtausbeute (Fluoreszenzlampen, Kompaktlampen, Induktionslampen, Quecksilberdampflampen).
- Lichtquellen mit niedriger Lichtausbeute (Glühlampen, Halogenglühlampen).

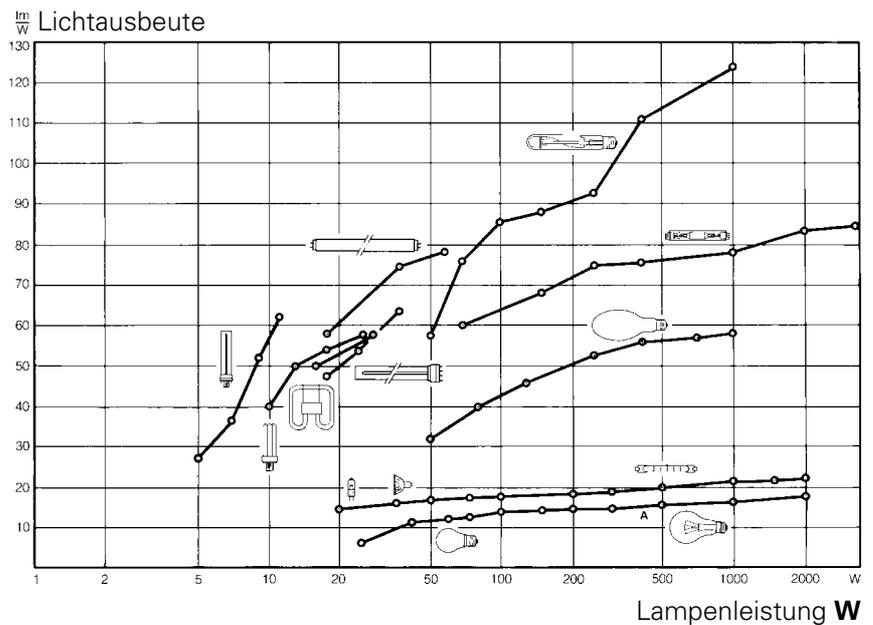


Bild 4.6: Lichtausbeute von verschiedenen Lichtquellen.



Farbwiedergabe und Farbtemperatur

Die Farbtemperatur definiert die sichtbare Farbe des ausgestrahlten Lichtes einer Lichtquelle. Der Farbwiedergabeindex gibt einen Anhaltspunkt über die Fähigkeit dieser Lichtquelle, Farben naturgetreu wiederzugeben.

Diese beiden fundamentalen und voneinander unabhängigen Eigenschaften einer Lichtquelle müssen bei deren Auswahl berücksichtigt werden. Sie müssen mit der zu erfüllenden Sehaufgabe übereinstimmen. So sind z. B. geläufige Natrium-Hochdrucklampen, die für Strassenbeleuchtung angewendet werden (gelbes Licht), in der Regel nicht geeignet für eine Innenraumbeleuchtung ($25 < Ra < 65$).

Unzählige Arbeiten und psychologische Studien haben gezeigt, dass Niedertemperatur-Lichtquellen nur für niedere Beleuchtungsstärken empfehlenswert sind, wobei für hohe Beleuchtungsstärken mit Vorteil «kalte» Quellen mit hohen Farbtemperaturen verwendet werden. Dieses Erkenntnis illustriert das Diagramm von Kruithof, welches ein wesentliches Kriterium zur Verwirklichung einer angenehmen Atmosphäre darstellt (siehe Bild 4.7).

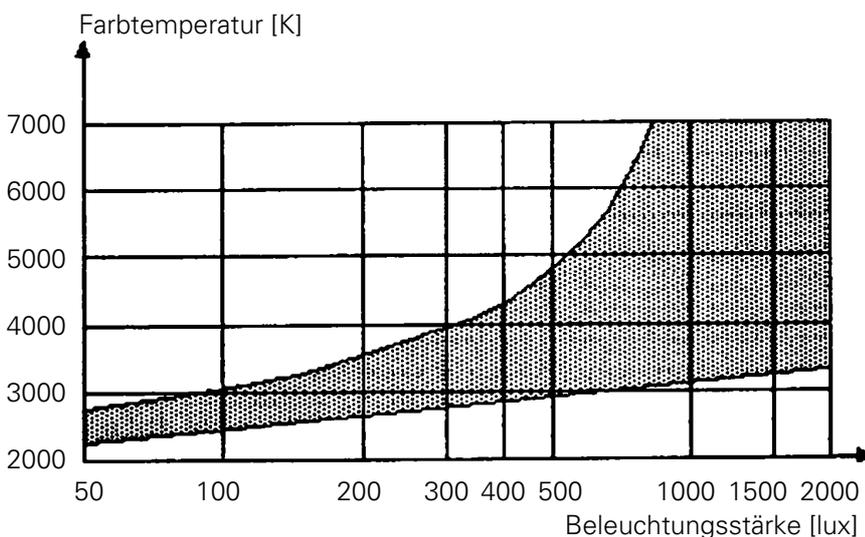


Bild 4.7:
Regel von Kruithof für die Bestimmung der visuellen Komfortzone in Abhängigkeit von Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke.



■ Lebensdauer der Lichtquellen

Spannungsschwankungen des Netzes bei Glühlampen oder Ein- und Ausschalthäufigkeit von Fluoreszenzlampen können die Lebensdauer von Lampen beträchtlich beeinflussen. Bild 4.8 beschreibt das Verhalten von Fluoreszenzlampen in Abhängigkeit der Schaltzyklen. Man sieht also, dass eine vermeintlich vernünftige Verwendung einer Fluoreszenzlampe mit dem Ziel Energie zu sparen (also die Lampe wenn möglich auszuschalten), unter Umständen die Lebensdauer merklich verkürzt und damit die Lampenkosten erhöht.

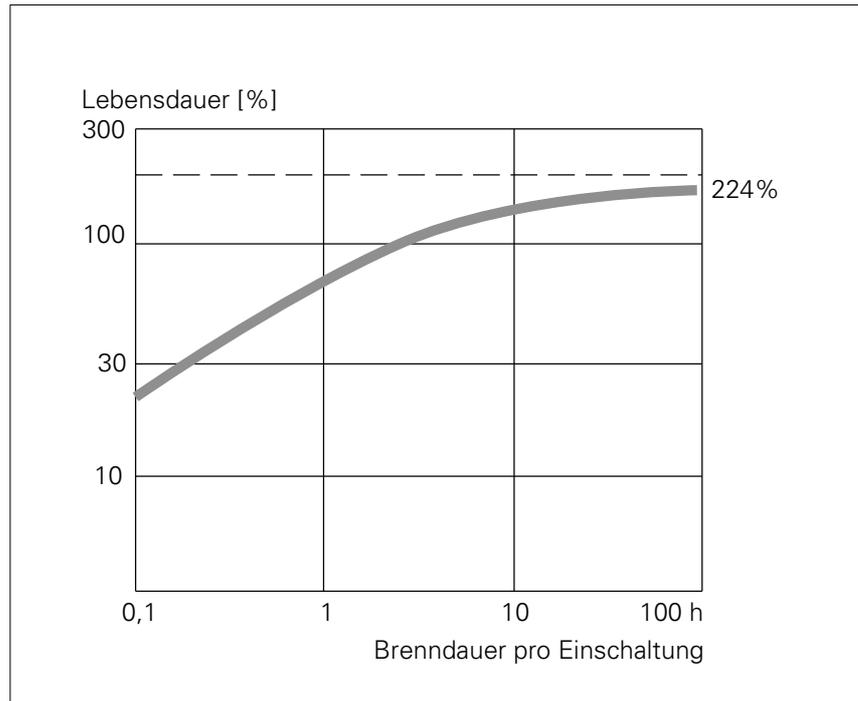


Bild 4.8:
Verhalten der mittleren Lebensdauer einer Fluoreszenzlampe in Abhängigkeit der Schaltzyklen.

Wahl einer Lichtquelle

Nachstehende Tabelle fasst einerseits die Eigenschaften, die bei der Wahl einer Lichtquelle zu berücksichtigen sind, zusammen und vergleichen andererseits diese Eigenschaften untereinander (siehe Bild 4.9). Vor- und Nachteile werden dann in Bild 4.10 aufgezeigt.



Zu berücksichtigende Eigenschaften einer Lichtquelle

- Art von Beleuchtungskörper in der die Lampe eingebaut wird
- Abmessungen, Fassung
- Lichtstrom [lm]
- Leistung [W]
- Lichtausbeute [lm/W]
- Wärmeabgabe (Quantität, Richtung)
- Spannung (230 V, <50 V)
- Lebensdauer
- Farbtemperatur [K]
- Farbwiedergabeindex Ra
- Betriebsposition
- Regulierung des Lichtstroms
- Schalthäufigkeit
- Einkaufs- und Betriebskosten

Kategorie	Typ	Leistung W	Licht- strom [lm]	Fassung	Lebens- dauer [Std.]	Farbtem- peratur [K]	Farbwie- dergabe- index Ra	Lichtaus- beute [lm/W]	Betriebs- position
Glühlampen	Matt	60	730	E 27	1'000	2'700	100	12	P 360
	Matt	100	1'380	E 27	1'000	2'700	100	14	P 360
Halogen Glüh	ANSI EZX r	20	820	GX 5.3	2'000	2'925	100	41	P 360
	ANSI ESX 12	20	460	GX 5.3	2'000	2'925	100	38	P 360
	ANSI BAB 36	20	330	GX 5.3	2'000	2'925	100	38	P 360
Halog. Metall.	HPI - T	250	17'000	E 40	8'000	4'400	69	68	P 20
	HPI - T	400	31'500	E 40	10'000	4'050	69	78	P 20
	MHN - TD	70	5'500	R 7s	6'000	4'200	80	78	P 45
	MHN - TD	150	11'250	R 7s	6'000	4'200	86	75	P 45
	MHN - TD	250	20'000	Fc2	6'000	4'200	90	80	P 45
Fluoreszenz	TLD 90 Delu.	36	2'350	G 13	8'000	3'000	95	65	P 360
	TLD 90 Delu.	58	3'750	G 13	8'000	3'000	95	65	P 360
Fluokompakt	PLCE 11	11	600	E 27	8'000	2'700	85	55	P 360
	PLCE 20	20	1'200	E 27	8'000	2'700	85	60	P 360
	PLC 18 W	18	1'200	G 24q-2	8'000	2'700	85	67	P 360
	PLC 26 W	26	1'800	G 24q-3	8'000	2'700	85	69	P 360
Mischlicht	ML	100	1'100	E 27	8'000	3'350	60	11	SH 30
	ML	160	3'100	E 27	8'000	3'500	62	19	SH 30
	ML	250	5'500	E 27	8'000	3'550	61	22	SH 45

S = Stehend, Fassung unten – H = Hängend, Fassung oben – P = Horizontal – Zahl = Erlaubte Abweichung in Grad

Bild 4.9:
Vergleichstabelle für gewisse Licht-
quellen.



Glühlampen

Vorteile

- Warmes Licht mit dominierender Rotkomponente
- Sehr gute Farbwiedergabe
- Tiefer Preis

Nachteile

- Sehr schlechte Lichtausbeute (ca. 12 lm/W)
- Grosse Wärmeabgabe
- Mittelmässige Lebensdauer (1000 Stunden)

Halogenglühlampen

Vorteile

- Höhere Lichtausbeute als klassische Glühlampen (30 lm/W)
- Kleine Abmessungen
- Sehr gute Farbwiedergabe
- Bessere Lichtbündelung als bei klassischen Glühlampen
- Kein Schwarzwerden der Lampe

Nachteile

- Sehr hohe Temperatur des Kolbens und der Fassung
- Transformator oft notwendig für Betrieb (Energieverluste)
- Hohe Leuchtdichte
- Unpraktische Handhabung ohne frontale Glasabdeckung
- Mittlere Lebensdauer 2000 Std.

Fluoreszenzlampen

Vorteile

- Lebensdauer achtmal länger als klassische Glühlampen
- Niedere Oberflächentemperatur der Lampe
- Mehrere Farbtöne verfügbar (3000–6500 K)

Nachteile

- Die Lebensdauer hängt stark vom Typ des Vorschaltgeräts und der Schalthäufigkeit ab. Schlechte Lichtbündelung. Farbton des Lichtes muss der beleuchteten Tätigkeit angepasst werden (ein unpassender Farbton führt zu visuellen Komfortverlusten).

Bild 4.10a:
Vor- und Nachteile von gewissen Lichtquellen.



Kompaktfluoreszenzlampe

Vorteile

- Hohe Lichtausbeute (4–5mal höher als bei einer klassischen Glühlampe)
- Kleine Abmessungen

Nachteile

- wie Fluoreszenzlampe

Halogen-Metaldampf Lampe

Vorteile

- Hohe Lichtausbeute (75 lm/W)
- Guter Farbwiedergabeindex
- Guter Ersatz von Halogen Glühlampen in gewissen Fällen
- Lange Lebensdauer (6000–8000 Std.)

Nachteile

- Zündzeit 2–5 Minuten
- Wartezeit vor Wiederspaltung notwendig
- Farbtöne nur begrenzt wählbar, je nach Leistung
- Verringerung des Lichtstroms mit Alterung
- Hoher Kaufpreis

Induktionslampe

Vorteile

- Gute Lichtausbeute (65 lm/W)
- Guter Farbwiedergabeindex
- Auswahl der Lichtfarbe (3000 oder 4000 K)
- Sehr lange Lebensdauer (60 000 Stunden)

Nachteile

- Voluminöse Zündeinheit
- Sehr hoher Preis

*Bild 4.10b:
Vor- und Nachteile von gewissen Licht-
quellen.*



4.2 Eigenschaften der verschiedenen Beleuchtungskörper

Als erstes interessieren den Beleuchtungsspezialisten die lichttechnischen Eigenschaften eines Beleuchtungskörpers. Diese sind vor allem durch folgende Grössen definiert:

- Die Lichtquelle
- Die optischen Komponenten der Leuchte (Reflektor, Gitter, Diffusor, Raster etc.)

Die Kombination dieser beiden Elemente bestimmt die Lichtverteilung eines Beleuchtungskörpers, wie auch sein Wirkungsgrad. Die Lichtverteilung kann breitstrahlend, tiefstrahlend, oder asymmetrisch verlaufen. Diese Lichtverteilung wird für jeden Beleuchtungskörper mittels einer Lichtstärkeverteilungskurve gemäss Bild 4.11 aufgezeichnet.

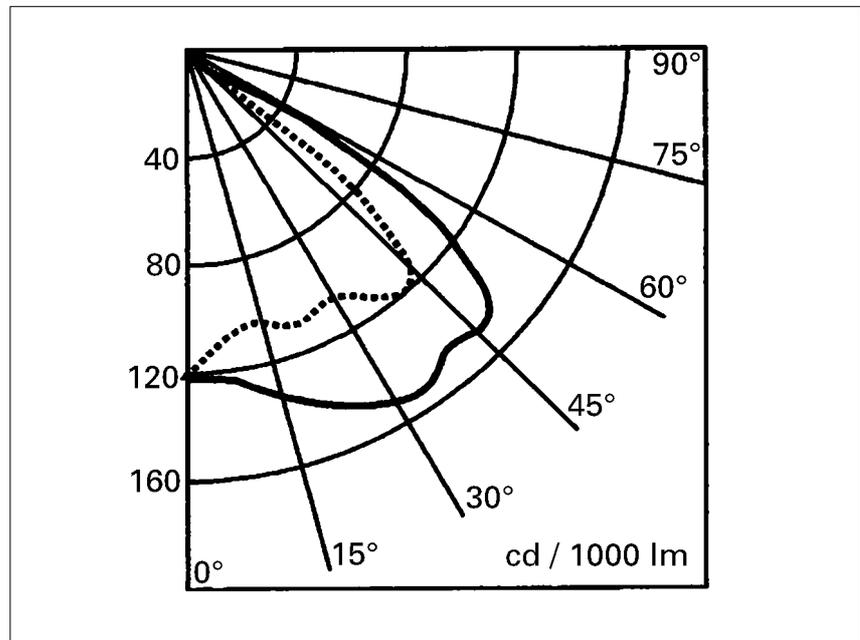


Bild 4.11:
Lichtstärkeverteilungskurve eines Beleuchtungskörpers (Lichtstrom pro 1000 Lumen gemäss Konvention).

Jeder Beleuchtungskörper wird durch seine elektrische Schutzklasse (0, I, II und F), sowie auch durch den Schutzfaktor IP gekennzeichnet. Dieser Faktor definiert die Eigenschaften des Beleuchtungskörpers gegenüber flüssigen und festen Stoffen, die auf ihn einwirken.



Wirkungsgrad eines Beleuchtungskörpers

Der Lichtstrom, welcher von den Lichtquellen eines Beleuchtungskörpers ausgestrahlt wird, trifft im allgemeinen nicht direkt auf die Arbeitsoberfläche auf. Dieser Lichtstrom wird nur schon in der Optik der Leuchte mehrmals reflektiert und je nachdem auch noch auf dem Weg zwischen Leuchte und Arbeitsoberfläche. Bild 4.12 veranschaulicht das Verhältnis zwischen dem gesamten Lichtstrom, der von der Lichtquelle ausgesandt wird und dem daraus resultierenden Lichtstrom der Leuchte und schliesslich dem Lichtstrom, der auf der Arbeitsoberfläche auftrifft.

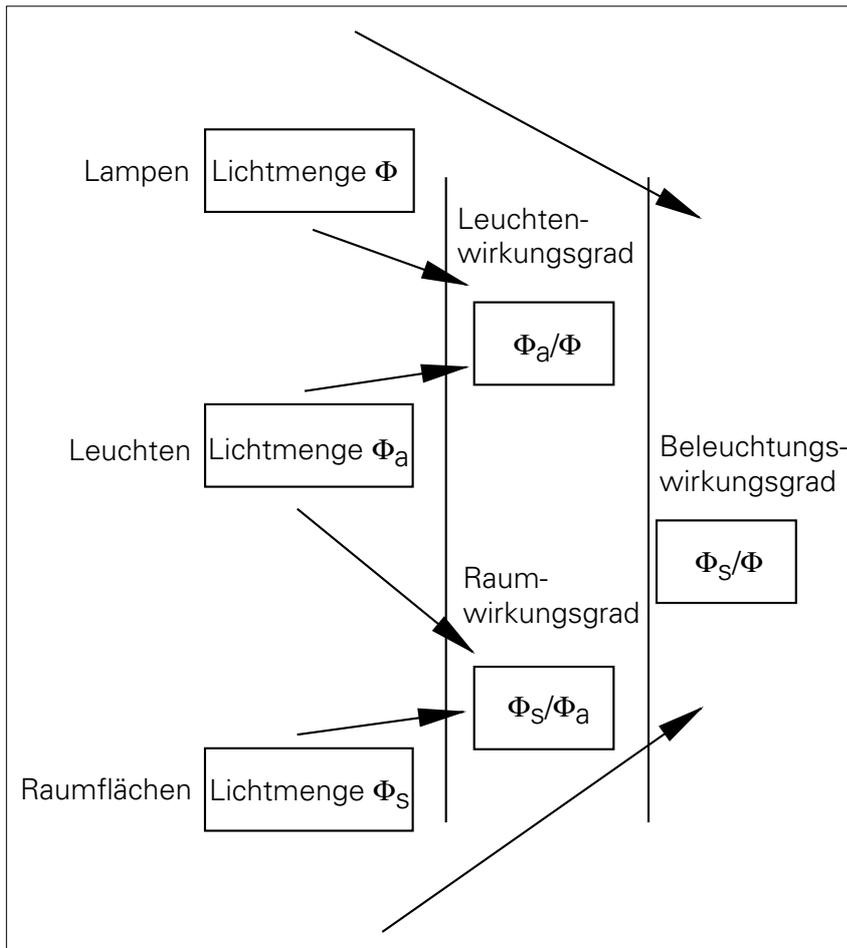


Bild 4.12:
Wesentliche Wirkungsgrade einer Beleuchtungsanlage.

Der Wirkungsgrad eines Beleuchtungskörpers schwankt zwischen 0.4 und 0.99. Die verschiedenen Reflexionssysteme und Diffusoren ermöglichen eine spezifische Lichtverteilung im Raum (langezogenes Lichtbündel, asymmetrische Verteilung, niedere Leuchtdichte). Beleuchtungskörper mit niederer Leuchtdichte wenden Vorrichtungen wie Parabolraster und Sekundärreflektoren an, die eine eng gebündelte Lichtverteilung mit begrenzter Blendung ermöglichen. Form, Abmessungen und genaue Lage der Lichtquelle im Verhältnis zum Hauptreflektor haben nicht nur einen Einfluss auf die optimale Lichtverteilung in der gewünschten Richtung, sondern auch auf den Wirkungsgrad der Leuchte.



Kriterien des visuellen Komforts

Ein Beleuchtungskörper muss unbedingt die Kriterien des visuellen Komforts zufriedenstellen, d. h., er muss vor allem fähig sein, durch Blendungen hervorgerufenen Unkomfort zu vermeiden.

Bild 4.13 zeigt ganz klar auf, wie man das Nichtvorhandensein von Blendungen in einem Beleuchtungskörper an Hand eines Bodmann-Söllner-Diagramms überprüfen kann. Dieses Diagramm definiert die maximal zulässigen Leuchtdichten je nach Art von Tätigkeit, nach Raumgeometrie und verlangter Beleuchtungsstärke. So kann man z.B. sofort erkennen, dass sich Beleuchtungskörper mit prismatischen Acrylglassdiffusoren für Schulungsräume nicht eignen.

Die Leuchtenhersteller erarbeiten für jeden Beleuchtungskörper die Leuchtdichtenverteilung gemäss der Längs- (gestrichelt) und der Breitenachse (ununterbrochene Linie) der Leuchte. Definiert man nun die Qualitätsklasse des Raumes (von A bis E nach den CIE-Empfehlungen) und die gewünschte mittlere Beleuchtungsstärke, so kann man auf dem Diagramm 4.13 den maximal zulässigen Wert der Leuchtdichte ablesen. Wenn der Leuchtdichtenverlauf des Beleuchtungskörpers links von der Grenzlinie des Diagramms verläuft, so ist die Leuchte geeignet, wenn nicht, sollte ein anderer Typ gewählt werden.

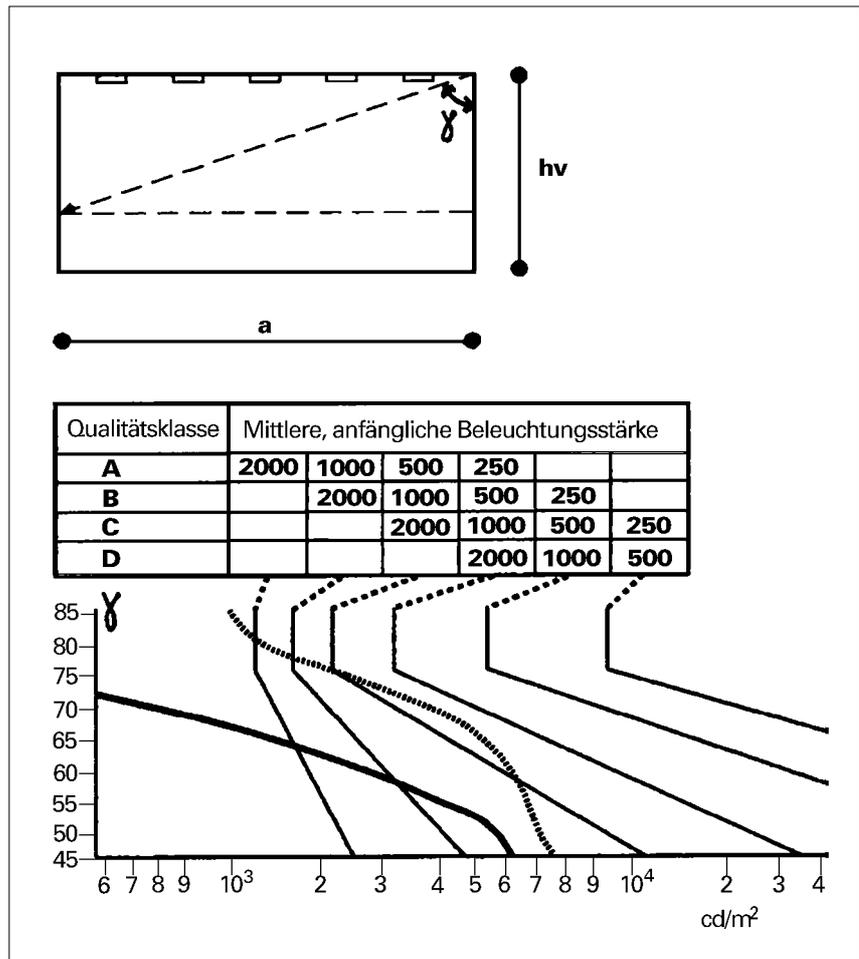


Bild 4.13: Bodmann-Söllner-Diagramm vereinfacht.



Für Beleuchtungskörper mit gezielt ausgerichtetem Lichtbündel zeigt uns nachstehendes Bild Form und Größe des Lichtkegels.

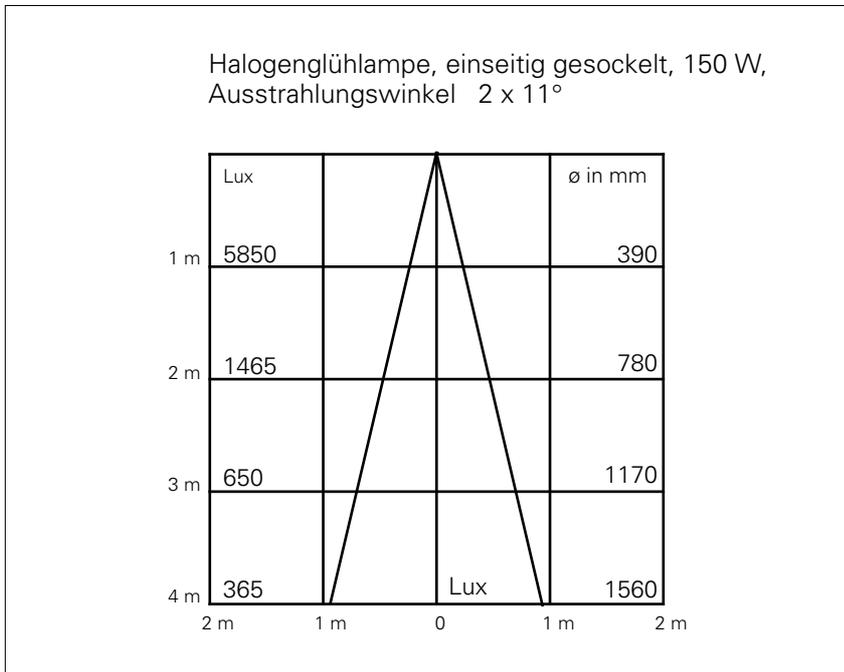


Bild 4.14: Ausstrahlungscharakteristik einer Reflektorlampe.

Der halbe Öffnungswinkel (z.B. 11°) ist der Winkel in der rotations-symmetrischen Lichtverteilung, bei dem die Lichtstärke die Hälfte des Maximalwertes beträgt. Mit diesem Diagramm kann auf einer Ebene, die rechtwinklig zum Reflektor steht, die Beleuchtungsstärke (linke Seite) und der durch den Ausstrahlungswinkel begrenzte Kreisdurchmesser in mm (rechte Seite) bestimmt werden.



4.3 Lichtsteuersysteme

Eine konventionelle Beleuchtungsinstallation besteht aus einer Verbindung von elektrischen Speisepunkten mittels separat geführten Kabeln. Die neusten Entwicklungen im Gebiet der Steuerungstechnik wie auch in der Informatik haben hier neue Möglichkeiten eröffnet. Systeme wie IFS 800 von Philips, Luxmate von Zumtobel oder EOS 2 von Neuco machen sich diese Möglichkeiten zunutze.

Die Architektur dieser Systeme besteht aus:

- Möglichkeit zur Beleuchtungsgruppierung, die durch den Benutzer örtlich frei definiert werden kann (unterschiedliche Zonen).
- Zentrale Beleuchtungssteuerung (Management).
- Datenübermittlung mittels Bus-System.

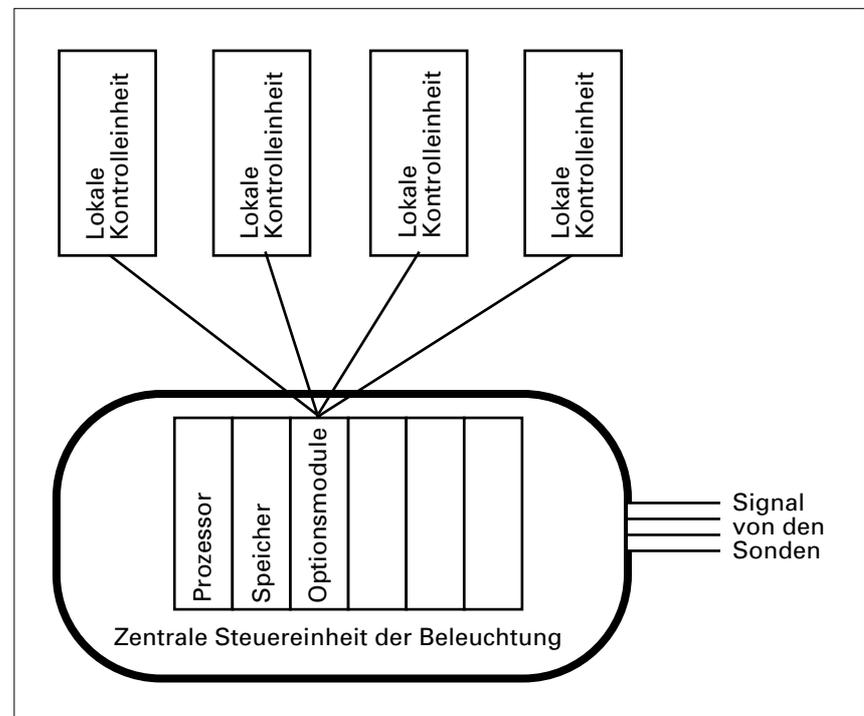


Bild 4.15:
Blockschema eines Leitsystems für
Beleuchtungsanlagen.

Die zentrale Steuereinheit empfängt von verschiedenen Fühlern analoge und digitale Signale (Information). Diese Fühler können zum Beispiel Photozellen sein, die an einem gewissen Ort die Menge des Tageslichtes messen; es könnten aber auch Bewegungsmelder sein, die bestimmte Bereiche überwachen (Korridore, Toiletten, Büros, etc.).

Diese Systeme erlauben eine Abspeicherung möglicher Beleuchtungszustände im voraus; so könnten zum Beispiel verschiedene Beleuchtungsgruppen zu gewissen Tageszeiten automatisch ein- und ausgeschaltet werden.



Eigenschaften von Leitsystemen für Beleuchtungsanlagen

Vorteile:

- Sehr grosse Flexibilität in bezug auf die Steuerung der Leuchten. Werden Räume umgestellt (z.B. Verschieben oder Einziehen einer Wand), können die neuen Leuchtengruppierungen mittels Umprogrammierung in das System eingegeben werden; es sind somit keine Installationsarbeiten notwendig.
- Es können viele nützliche Informationen eingegeben werden, die einen energetisch optimierten Betrieb sowie einen sinnvollen Unterhalt der Anlage erlauben. Werden diese Informationen richtig eingesetzt, wird mittelfristig der Energieverbrauch reduziert wie auch der Sehkomfort verbessert.

Nachteile:

- Die Systeme benötigen relativ hohe Grundinvestitionen.
- Die Resultat-Auswertung von heutigen Fühlern und anderen Sensoren zur Steuerung tageslichtabhängiger Anlagen hat gezeigt, dass die Benutzung solcher Systeme noch nicht gleichzeitig wirkungsvoll, zuverlässig und einfach zu bedienen ist.



4.4 Schritte im Beleuchtungsprojekt

■ Beleuchtungsprojekt für Innenräume

Der vorgesehene Verwendungszweck sowie die Begrenzungsflächen eines Raumes (Grösse und Form der Gebäudeöffnungen, Vorzugsrichtung des Tageslichtes, Materialeigenschaften) definieren die Grunddaten des Projektes. Ist man im Besitz dieser Daten, kann der weitere Ablauf wie folgt aussehen:

Bestimmung der erforderlichen Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist abhängig von der Art der Tätigkeit, die in einem Raum ausgeführt wird. Empfohlene Werte für die verschiedenen Arbeiten werden regelmässig publiziert. Diese Beleuchtungsstärkewerte sind auf eine horizontale Arbeitsfläche, 85 cm über dem Fussboden, bezogen.

Wahl der Art von Lichtquellen

Mehrere Kriterien bestimmen diese Wahl, wobei ihre Anzahl und Wichtigkeit je nach zu lösendem Problem ändern. Es gilt folgende Parameter zu beachten:

- Lichtausbeute
- Lebensdauer
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabeindex
- Betriebsart und -dauer.

Dazu sollte auch eine Wirtschaftlichkeitsrechnung aufgestellt werden, die Erstellungs- und Unterhalts- sowie auch Betriebskosten berücksichtigen muss.

■ Wahl des Beleuchtungssystems (Direkt, Indirekt, Direkt-Indirekt)

Mit einer Direkt-Beleuchtung werden im allgemeinen die horizontalen Flächen gut ausgeleuchtet, wobei aber die Decke relativ dunkel bleibt. Zudem besteht die Gefahr ungenügender Vertikalbeleuchtungsstärke (dunkle Wände). Werden die Leuchten optimal angeordnet, so kann eine gute, gleichmässige Beleuchtung geschaffen werden. Die räumliche Wahrnehmung kann dann aber monoton wirken und ohne Lichtakzente als langweilig erscheinen.

Im Falle einer Indirekt-Beleuchtung, wird das Licht an die Decke gestrahlt. Die grossflächige Lichtverteilung durch die Decke wirkt beruhigend. Fehlende Schattenbildung kann in diesem Fall als störend empfunden werden. Der notwendige Lichtstrom ist grösser als im vorhergehenden Fall und kann somit zu einem Mehrverbrauch an Energie führen.

Bei einer gemischten Direkt-Indirekt-Beleuchtung wird Licht nach unten wie auch nach oben abgestrahlt.



■ Wahl der Beleuchtungskörper

Die Lichtverteilungskurven des Beleuchtungskörpers müssen mit dem definierten Verteilungsmodus des Lichts übereinstimmen. Weitere Kriterien, die zur richtigen Wahl führen, sind Qualität, Ästhetik, Wartungsfreundlichkeit, atmosphärische Bedingungen (feucht, korrosiv, explosiv) und natürlich die Anschaffungskosten.

■ Berechnungen und Anordnung der Beleuchtungskörper

Computerprogramme helfen die Anordnung der Beleuchtungskörper optimal auszulegen. Dabei gilt es aber vor allem auch, auf die Tageslichtnutzung zu achten. Das wichtigste Werkzeug ist jedoch die Erfahrung bzw. ein geschultes Auge.



5 Energetische Aspekte

5.1 Analyse der heutigen Situation	69
5.2 Energie und Tageslicht	71
■ Das Fenster	71
■ Sonnennutzung und interne Gewinne	73
■ Globale Energiebilanz	75
■ Sonnenschutz	76
5.3 Wärmeabfuhr	78
■ Natürliche Belüftung	78
■ Mechanische Belüftung	79
5.4 Kombination von Tages- und Kunstlicht	84
■ Konkurrenz oder Ergänzung?	84
■ Benutzerverhalten	84
■ Steuerung und Regulierung	86



5 Energetische Aspekte

5.1 Analyse der heutigen Situation

Die Entwicklung des Energieverbrauchs in Verwaltungsgebäuden während den letzten 15 Jahren zeigt ganz klar, dass der Wärmeenergiebedarf um einen Faktor 3 reduziert worden ist, und dass während der gleichen Zeit der Elektro-Energiekonsum um einen Faktor 2–3 anstieg. Diese Entwicklung erklärt sich durch die verschiedenen Anstrengungen, die gemacht wurden, um die Nachfrage nach fossiler Energie durch bessere Gebäudehüllen, durch systematische Wärmerückgewinnung auf Belüftungsanlagen und durch bessere Wirkungsgrade der Anlagen zu senken. Die Erhöhung der internen Lasten hat natürlich ihren Beitrag zur Heizenergieerzeugung beigetragen.

Der genaue Grund des rasanten Anstiegs des Elektrizitätskonsums ist weniger gut bekannt. Mit grosser Wahrscheinlichkeit kann aber gesagt werden, dass er einer vermehrten Verwendung von Klima- und Belüftungsanlagen (grössere interne Lasten) sowie einer verbreiteten Anwendung der Informatik im Bürobereich zuzuschreiben ist.

Das Kunstlicht dürfte wohl kaum alleine für den Mehrverbrauch in Verwaltungsgebäuden verantwortlich gemacht werden. Bild 5.1 zeigt die Aufteilung des Elektro-Energiekonsums in einem wenig mechanisch belüfteten Gebäude. Der gesamte Stromverbrauch beträgt 34% des Gesamtenergieverbrauchs. Die Beleuchtung benötigt 45% des Stromverbrauchs (also 15% der Gesamtenergie). Eine Studie in einem Verwaltungsgebäude mit verschiedenen Aktivitäten pro Stockwerk (Verkauf, Bank, Handel, Zahnarzt) hat gezeigt, dass der Anteil der Beleuchtung am Elektrizitätsverbrauch zwischen 25 und 50% variiert, je nach Nutzung.

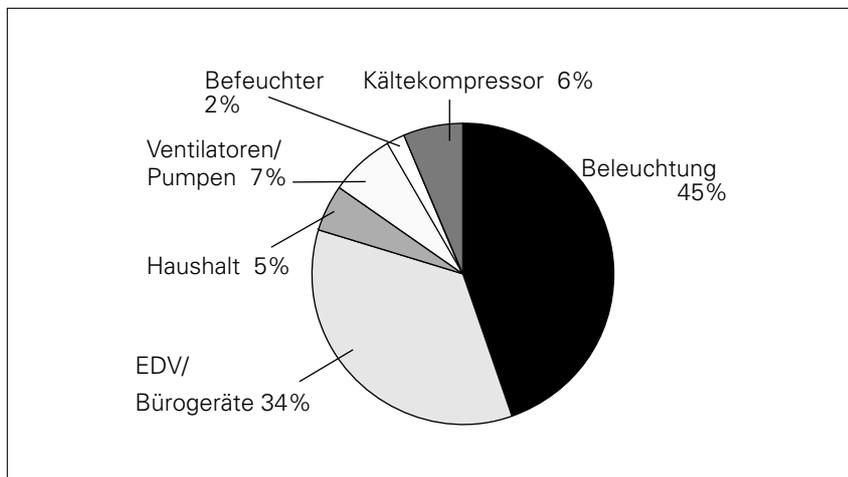


Bild 5.1:
Aufteilung des Stromverbrauchs in einem wenig belüfteten Verwaltungsgebäude mit 1350 m² EBF, 3 Geschossen.
E – Wärme = 460 MJ/m²a
E – elektrisch = 240 MJ/m²a

Der Elektrizitätskonsum in Einkaufszentren ist sehr gross (siehe Bild 5.2) und hat in den letzten Jahren konstant zugenommen. In solchen Gebäuden entspricht der Stromverbrauch der Beleuchtung einem grossen Anteil des Gesamtverbrauchs (bis zu 60%). Diese Tatsache erklärt sich durch die Absenz von Tageslicht und durch die dekorative Funktion der Beleuchtung. Die schmuckhafte und gefühlsvolle Präsentation der Ware ist genau so wichtig wie eine genügende Beleuchtungsstärke. Die Wärmeausstrahlung von Kunstlicht, oft noch mit Glühlampen erzeugt (Halogen), erfordert eine mechanische Belüftung und oftmals sogar eine Kühlung der Verkaufsflächen.

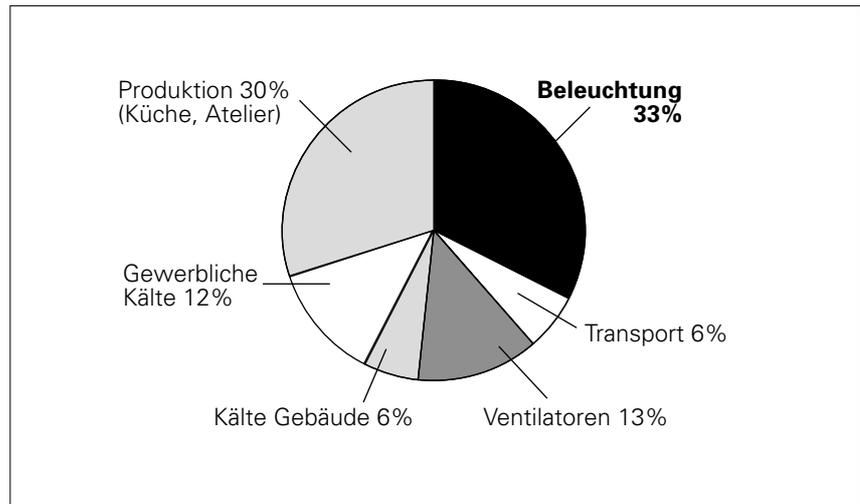


Bild 5.2:
 Aufteilung des Stromverbrauchs in
 einem Einkaufszentrum mit 10 000 m²
 EBF, 8 Geschossen.
 E – Wärme = 460 MJ/m²a
 E – Elektrisch = 730 MJ/m²a

In Verwaltungsgebäuden hat der Stromverbrauch von Beleuchtungsanlagen eher Tendenz kleiner zu werden, wobei er bei den Bürogeräten eher zunimmt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Raumkonditionierungsanlagen in erster Linie dazu da sind, um die interne Wärme der Elektroverbraucher und der einfallenden Sonnenstrahlung abzuführen.

In Einkaufszentren ist es sehr schwierig den Energieverbrauch der Beleuchtung zu senken, da sie eng mit der Verkaufstechnik verbunden ist. Raumkonditionierungsanlagen sind bei dieser Gebäudeart in erster Linie dazu da, um die interne Wärme der Beleuchtung und der Personen abzuführen. Wärmezufuhr durch Sonneneinstrahlung gibt es kaum. In Lebensmittelverkaufsflächen ist der grösste Verbraucher von elektrischer Energie die gewerbliche Kälteproduktion, welche die verschiedenen Kühlmöbel versorgt.



5.2 Energie und Tageslicht

Es ist allgemein bekannt, dass in einem Gebäude das Tageslicht ein Qualitätsfaktor darstellt. Zudem führt der Ersatz von Kunstlicht durch Tageslicht meist zu Energieeinsparungen.

Die intensive Tageslichtnutzung beinhaltet aber immer gewisse Risiken, sofern man den klimatischen Einflüssen und der «Glas-Ästhetik» nicht entsprechende Beachtung schenkt. So können bei nicht sachgemäßer Planung die in der Beleuchtungsanlage gemachten Einsparungen durch Mehrbedarf für Heizung, Lüftung oder Kühlung wieder aufgehoben werden.

■ Das Fenster

Das Fenster ist ein komplexes Element der Gebäudehülle. Seine Aufgaben sind:

- Schutz des Innenraumes vor Wärmeverlusten.
- Den Sonnenstrahlen den Durchgang zu gewähren.
- Die Arbeitsfläche zu beleuchten.
- Einen Blickkontakt zur Aussenwelt zu ermöglichen.
- Den Innenraum zu lüften.

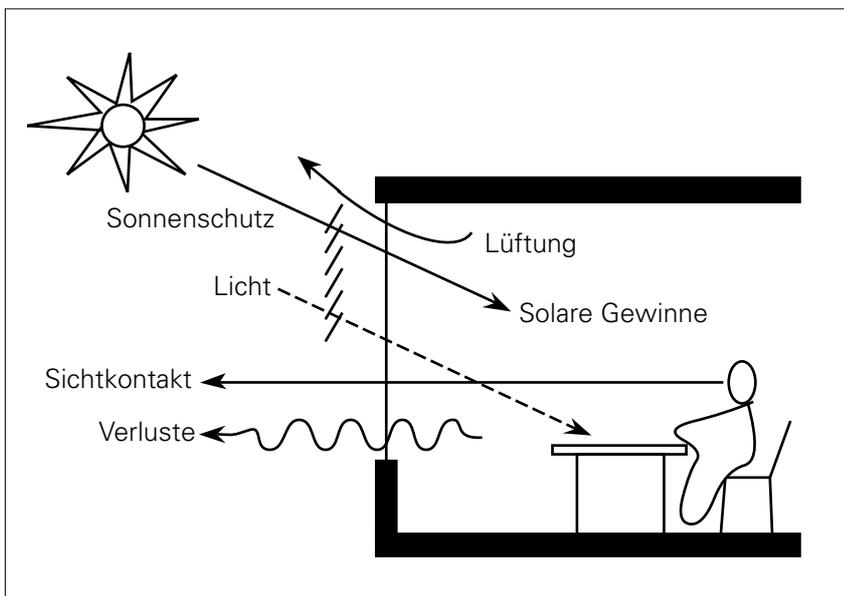


Bild 5.3:
Funktion des Fensters.

Feste oder mobile Elemente erlauben es, die Sonnenstrahlung und den Lichteinfall zu dosieren. Das Fenster ist gleichzeitig Barriere und Filter. Nur wenn man diese Eigenschaften berücksichtigt, wird es möglich sein, den Gebäudehaushalt ausgeglichen zu gestalten.



Seit dem Beginn des Jahrhunderts wurde wegen modebedingten Optionen die optimale Auslegung der Fenster vernachlässigt, was zu Verwaltungsgebäuden führte, die man als energetische Fehlplanung bezeichnen muss:

- Komplette Glasfassaden mit Sonnenschutzgläsern ohne Berücksichtigung der Gebäudelage bedingen fast immer eine Klimatisierung.
- Gebäude mit grossflächiger Verglasung im Süden und viel zu kleinen Öffnungen im Norden.

Die Primärfunktionen eines Fensters sind die Beleuchtung, die Belüftung und der Sichtkontakt nach aussen. Die übermässigen Glasfassaden der fünfziger- und sechziger Jahre gingen mit einer häufigen Verwendung von Sonnenschutzgläsern sowie einer generellen Klimatisierung der Gebäude einher. Die Ölkrise der siebziger Jahre sowie das Auftauchen der ersten passiven Sonnenenergiesysteme haben das Fenster in einen simplen «Sonnenfänger» umgewandelt, der nur gegen Süden ausgerichtet sein durfte. Basierend auf der kunstvollen Verwendung des Glases gehen die heutigen Bestrebungen dahin, den funktionellen Aspekt eines Fensters vergessen zu machen.

Die vollverglasten Fassaden mit Sonnenschutzglas tauchen wieder vermehrt auf; es werden dekorative Beschattungseinrichtungen angebaut (oft ohne eigentliche Funktion).

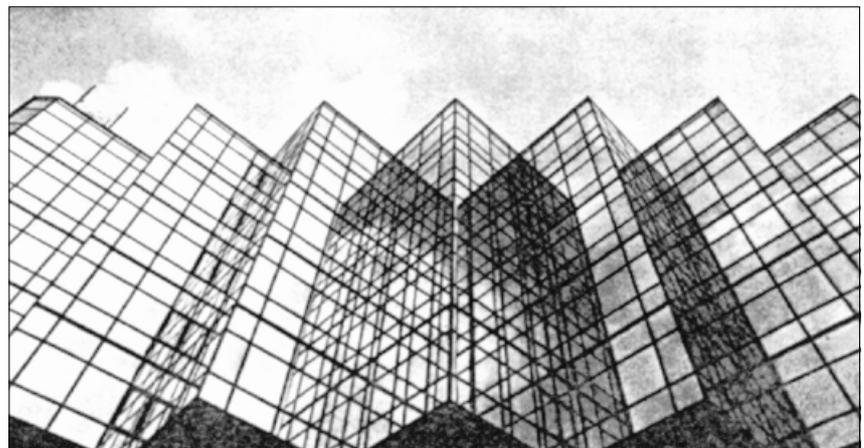


Bild 5.4:
Vollverglaste Fassade mit Sonnenschutz-
glas

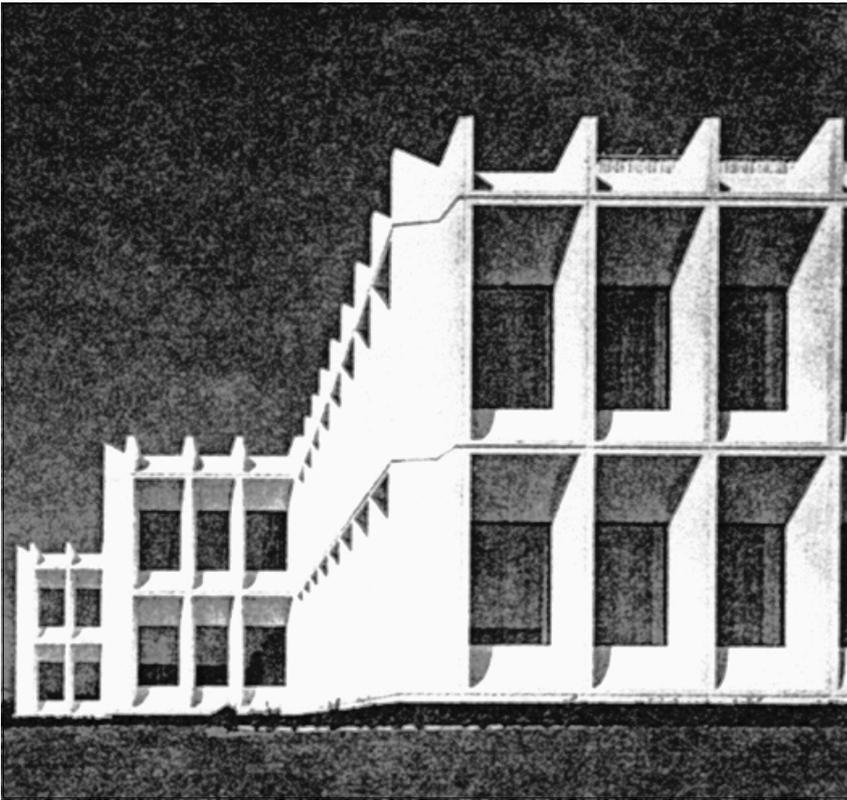


Bild 5.5:
Gebäude mit fest eingebautem Sonnen-
schutz in allen Richtungen.

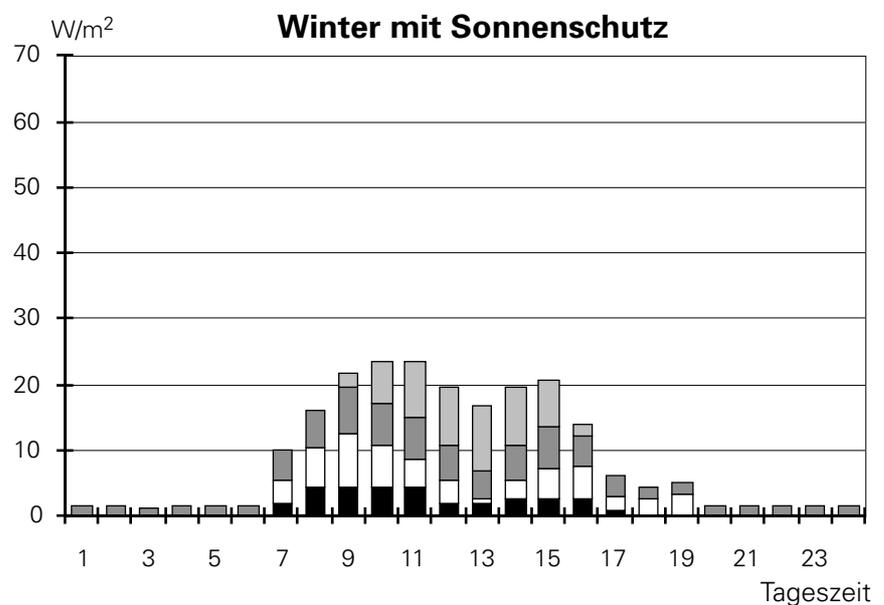
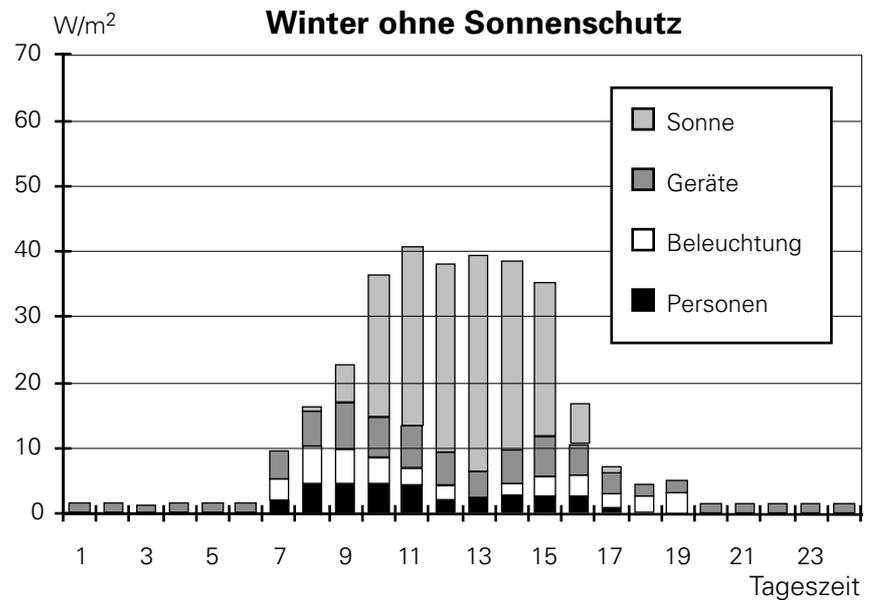
■ Sonnennutzung und interne Gewinne

In Verwaltungsgebäuden sind die Sonnenenergieanteile auf der Südost- und Westseite in derselben Größenordnung wie der interne Energieanfall. Sie treten meist gleichzeitig zwischen 10 und 17 Uhr auf und sollten, weil sie sich summieren, auch gleichzeitig abgeführt oder verwertet werden. Um dieses Problem zu entschärfen und die Sonnenenergie wie auch die interne Energie sinnvoll nutzen zu können, gilt es Massnahmen zu treffen; sei es indem die Nutzung der Sonnenenergie gegen den Abend verschoben wird, da die internen Energiequellen nur schwer zu steuern sind (abhängig von der Gebäudenutzung), oder sei es durch Beschränkung der Sonneinstrahlung.

In den Bereichen mit normaler Bürotätigkeit ist es in bezug auf die Energie nicht gerechtfertigt, die Fenster mehr zu verglasen, als dies für eine gute Tageslichtbeleuchtung und eine ausreichende Belüftung notwendig ist. Die «Überdimensionierung» der Fenster kann sich in Nebenzonen rechtfertigen, wo die Ansprüche auf Wärme- und Sichtkomfort nicht sehr gross sind (Verkehrswege, Warteräume, Eingangsbereiche, Atrien, etc.).



Untersuchungen zeigen, hochinstallierte Verwaltungen und Rechenzentren ausgenommen, dass die Energie der Beleuchtung und der Sonne die wichtigsten Anteile für die Wärmeabfuhr in einem Raum darstellen.



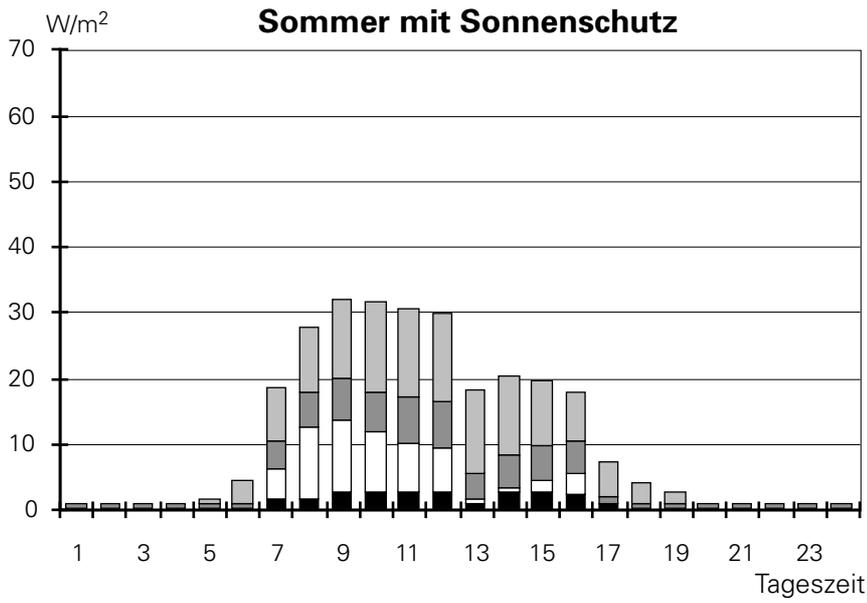
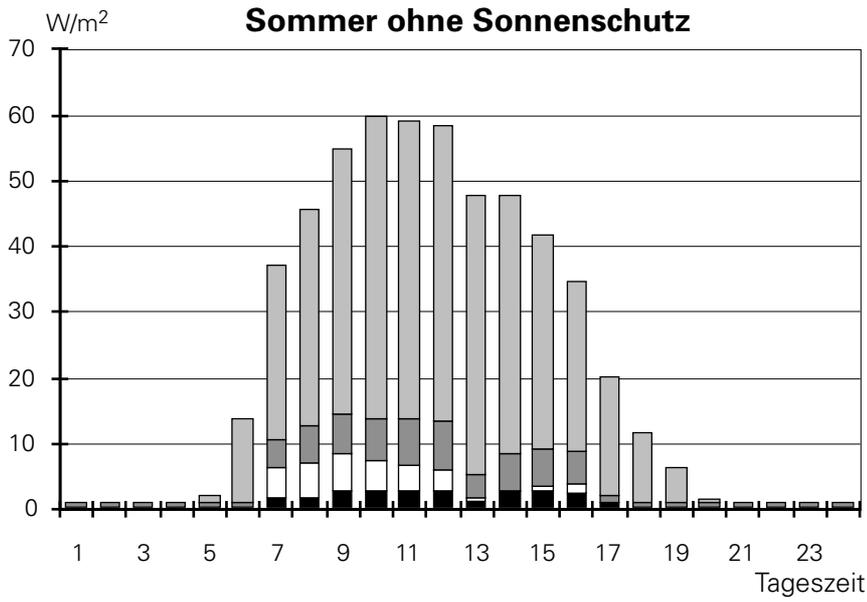


Bild 5.6:
Entstehung der Wärmelasten in einem
auf der Ost- und Südseite verglasten
Büro /16/.

Bodenfläche = 35m²
Fensterfläche = 11.5m²

Doppelverglasung, Lamellenstoren aus-
sen.



■ Globale Energiebilanz

Wenn man alle Komponenten der Energiebilanz eines Fensters berücksichtigt (notwendige Heizenergie, Energie für die Beleuchtung und die Kühlung des Raumes), so werden die üblichen Dimensionen und Ausrichtungen der Fenster verändert (siehe Ref. /17/).

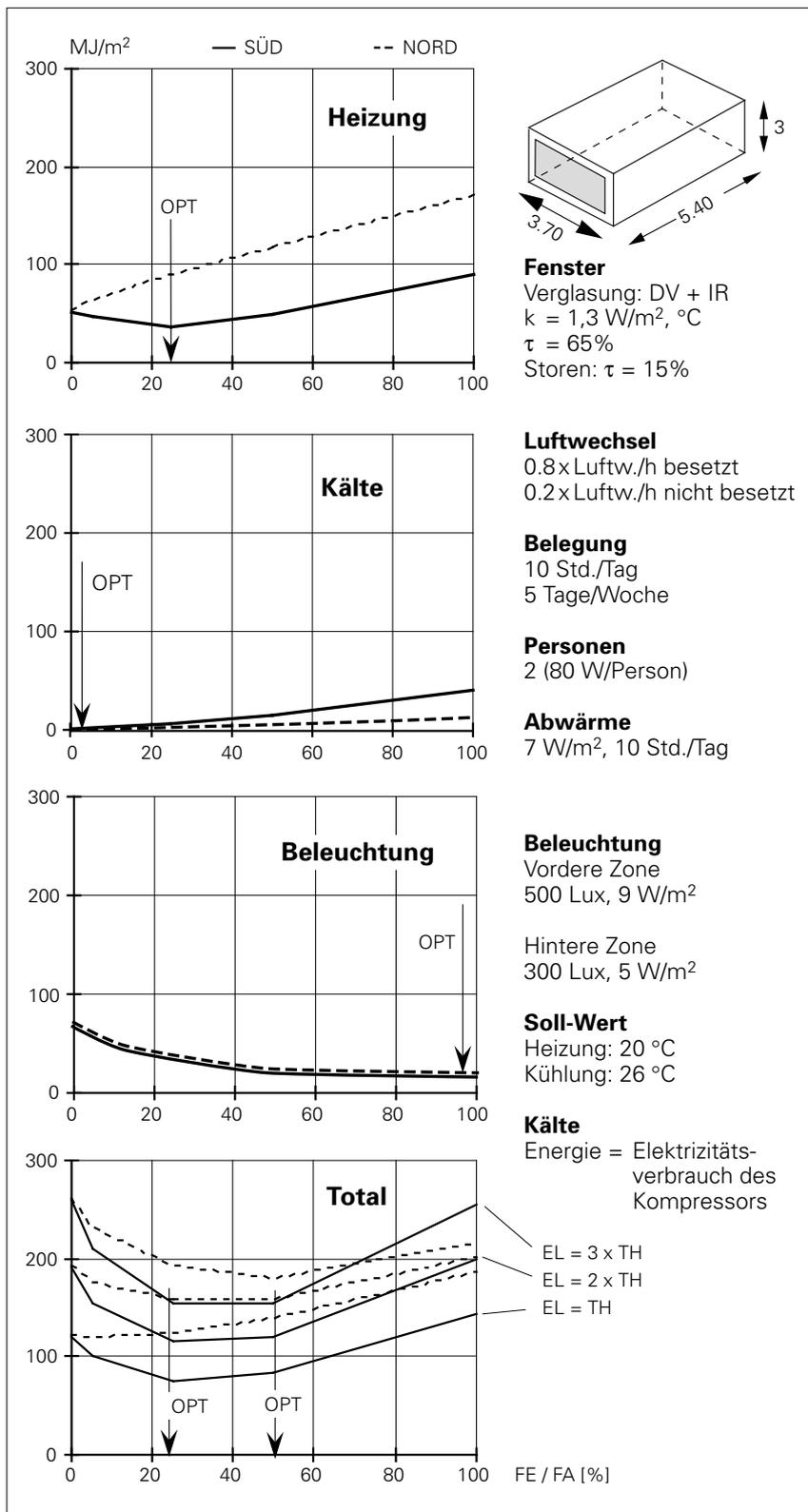


Bild 5.7: Spezifischer Zusatzenergiekonsum für Heizung, Kühlung und Beleuchtung in Abhängigkeit der relativen Fensterfläche und der Fassadenausrichtung.

- FE = Fensterfläche
- FA = Fassadenfläche
- OPT = optimale Fläche für die untersuchten Aspekte (angegeben nur für Südfassade)
- EL = Elektrizitätsenergie
- TH = Wärmeenergie



In Bild 5.7 sind in der Zusammenstellung (Grafik «Total») drei Kurvenpaare aufgeführt. Dies deshalb, weil die Wärmeenergie in der Regel teurer ist als die elektrische Energie. Das oberste Kurvenpaar ($EL = 3 \times TH$) bedeutet somit, dass die oben aufgeführten Werte für Kälte und Beleuchtung mit drei multipliziert und erst dann mit den Heizungswerten addiert wurden.

Wenn man nun den Energieverbrauch für die Wärmeerzeugung, für die Beleuchtung, die Kühlung, oder gar für alle drei optimieren will, so ist die entsprechende ideale Fensterfläche in jedem Fall verschieden. Bild 5.7 zeigt ganz deutlich, dass im Falle einer Südausrichtung die optimale Fläche für jede Komponente ändert (Einzelwerte von 25,0 und 100 oder zwischen 25 und 50%).

Es ist daher sehr wichtig, dass ein Fenster in einem globalen Konzept dimensioniert wird, in dem alle auftretenden Parameter berücksichtigt werden.

■ Sonnenschutz

Ein Sonnenschutz muss einerseits thermisch wirksam sein und andererseits das einfallende Licht dosieren können, sowie auch psychologische Blendungen verhindern. Fest eingebaute Sonnenschutzsysteme, zur Verhinderung sommerlicher Wärmeeinfällen, können das Tageslicht nicht dosieren. In einem solchen Fall ist ein zusätzlicher innerer Schutz (leichter Vorhang) notwendig.

Damit ein Sonnenschutz auch wirklich verwendet wird, muss er eben diese Dosierung des einfallenden Tageslichtes gewährleisten, ohne dabei die natürliche Belüftung zu stören.

Vom energetischen Standpunkt aus gesehen, ist die Verwendung von Sonnenschutzglas nicht empfehlenswert :

- Die globale thermische Transmission (g) ist der Transmission des Lichtes (τ) sehr ähnlich (oft sehr wenig Selektiveffekt, siehe Bild 5.8).
- Der Schutzeffekt im Vergleich zu einem Aussenschutz (Lamellen, Storen) ist gering.
- Der Sichtkontakt mit der Aussenwelt ist schlecht (verfälschte Farbwiedergabe, tageslichtabhängige Regulierung der Innenbeleuchtung kaum sinnvoll).

Verglasung	Energetische Transmission (g) [%]	Licht-Transmission (τ) [%]
Isolierglas		
Normal durchsichtig	77	81
Infrastop Silber	48	48
Infrastop Neutral	39	51
Parelio Klar	50	43
Calorex A1	42	38
Stopray Blau	36	50
Antisun Grün	48	66

Bild 5.8:
Energetische und lichttechnische Eigenschaften von einigen Sonnenschutzgläsern /18/.



Dämpfung der solaren Gewinne								
Typ	Normalglas	Sonnen-schutzglas	Stoffstoren innen	vorstehender Sonnenschutz	Stoffstoren aussen	Lamellen aussen	vorstehende Stoffstoren aussen	vorstehende Lamellen aussen
Süd	1	0.3–8	0.58	0.56	0.17	0.14	0.14	0.08
West/Ost	1	0.3–8	0.59	0.62	0.36	0.26	0.26	0.21

Bild 5.9:

Thermische Effizienz von Sonnenschutzgläsern: Die Referenzeinheit für den thermischen Schutzfaktor ist eine isolierende Doppelverglasung (Schutzfaktor = 1). Je kleiner dieser Faktor ist, desto grösser ist der Schutz. Der hier definierte Schutz ist thermischer und nicht lichttechnischer Natur.

Im Bereich der Beleuchtung ist ein Schutz, ob innen oder aussen angebracht, genau gleich wirksam. Im Bereich der Thermik jedoch, ist ein Aussen-schutz ungefähr dreimal so wirksam wie ein Innenschutz /19/.

Diese Art von Verglasung wird im allgemeinen in vollklimatisierten und meist fast nur künstlich beleuchteten Gebäuden angewandt. Wenn man die gesamte Energiebilanz eines solchen Fensters betrachtet, sind seine Effekte negativ :

- Heizung: Eine grosse Fläche der Verglasung bedeutet grosse Verluste während der Nacht.
- Beleuchtung: Die schwache und nicht modifizierbare Lichttransmission macht eine beinahe permanent eingeschaltete Beleuchtung unentbehrlich.
- Kälte: Eine grossflächige Verglasung mit schwachem thermischen Schutz muss durch eine umso grössere Klimaanlage kompensiert werden.



5.3 Wärmeabfuhr

■ Natürliche Belüftung

Wird in einem Verwaltungsgebäude der natürlichen Belüftung zur Lüfterneuerung und zur Kühlung der Räume der Vorrang gegeben, so bedeutet dies, dass das gesamte Gebäudekonzept dadurch beeinflusst wird. Eine solche Lösung kann sich aber je nach Lage des Gebäudes als nicht realisierbar erweisen. Dann nämlich, wenn es sich um eine lärmige Lage in einem Stadt- oder Industriegebiet handelt.

Es gibt jedoch ein paar Anhaltspunkte, welche die Tageslichtnutzung und die natürliche Belüftung, dank gewissen geometrischen Kriterien vereinen:

- Unterteilung der zu öffnenden Fensterflächen, um die winterliche Lüfterneuerung zu ermöglichen.
- Der Sonnenschutz soll die natürliche Belüftung nicht verhindern.
- Helle Fassadenoberfläche, um ansteigende Warmluftströmungen zu vermeiden.
- Verwendung der Kamineffekte bei hohen Bauten.
- Die Druckvariationen der Winde sollen genutzt werden (Gebäudeorientierung nach den dominierenden Winden).

In Bild 5.10 dient ein Atrium als «Motor» für die natürliche Belüftung. Der Unterdruck, der durch dieses Atrium geschaffen wird, ist grösser, als wenn jeder Raum separat belüftet würde. Es können somit lärmreduzierende Schikanen in die äusseren und inneren Zuluftfassungen eingebaut werden. Eine natürliche Belüftung ist natürlich gleichbedeutend mit einer grossen Elektro-Energieeinsparung (keine Motoren für die Lüftung).

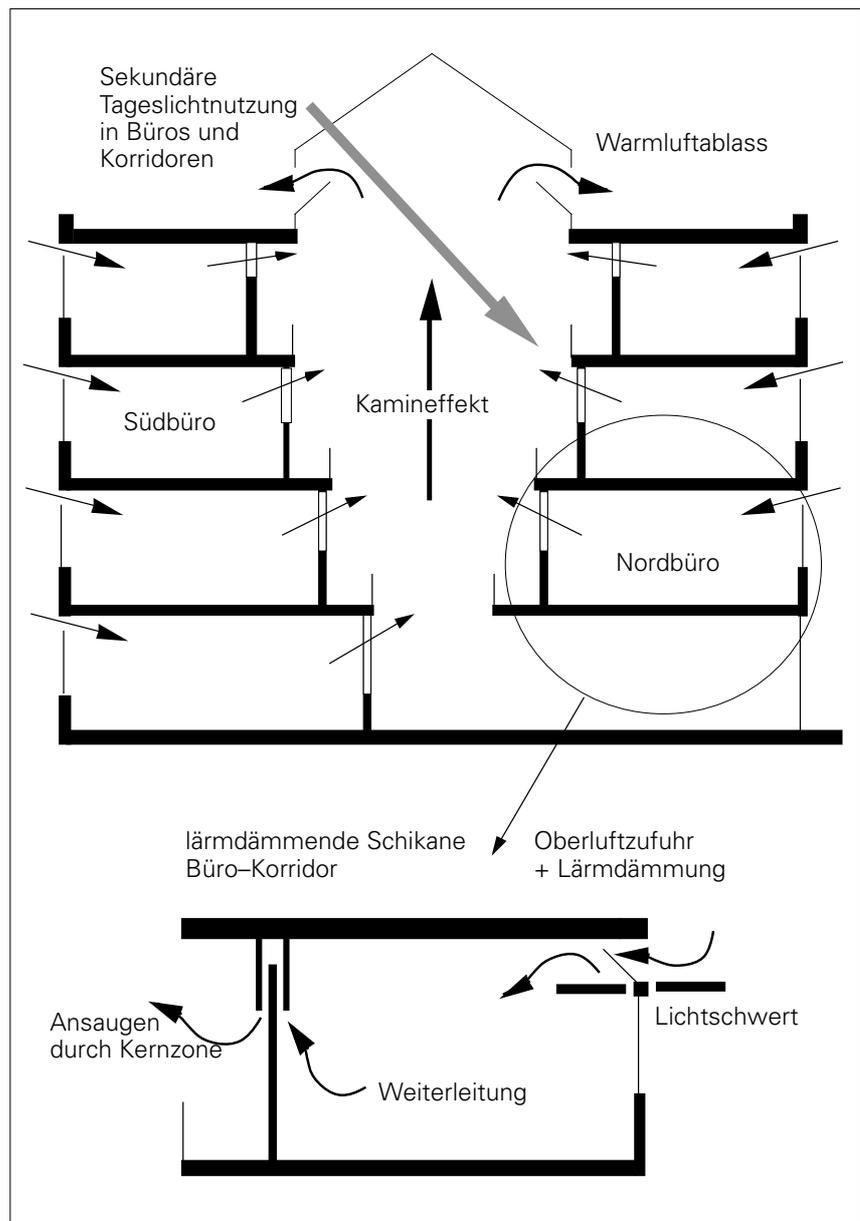


Bild 5.10:
Kombination einer zweiseitigen Beleuchtung und einer natürlichen Belüftung durch Kamineffekt /20/.

Mechanische Belüftung

Die mechanische Belüftung dient einerseits dem Luftwechsel in den Büros und andererseits der Wärmeabfuhr (solare und interne Wärme). Die künstliche Beleuchtung ist, wie wir gesehen haben, eine wichtige Wärmequelle in einem Raum.

Diese Behauptung muss relativiert werden.

Eine gut dimensionierte Klimaanlage muss die anfallenden Wärmelasten von Beleuchtung und Sonne abführen können. Die letzteren, auch wenn wirkungsvolle Sonnenschutzsysteme vorausgesetzt werden können, sind meistens energieintensiver als die Beleuchtung. Die Dimensionierung der Wärmeabfuhr wird die eine oder die andere dieser Wärmequellen berücksichtigen.



Mit neuen Ventilationssystemen (Verdrängungslüftung/Quelllüftung) strebt man eine «Zonierung» der Räume an: eine untere Zone (Zone I) mit dem Komfort, die Temperatur kontrollieren zu können, und eine obere Zone (Zone II), wo die Temperatur höher ansteigen kann. Das Prinzip beruht auf der Ausnutzung der natürlichen Schichtung der Warmluft und über Frischluft-Zuführung mit sehr niedriger Geschwindigkeit (laminar) in der unteren Zone. Die verschiedenen, am Boden aufgestellten Wärmequellen erzeugen einen steigenden Luftstrom, der die Wärme in die obere Zone transportiert, wo sie abgeführt wird.

Diese neue Ventilationsart erfordert wesentlich weniger Frischluft als bei herkömmlichen Induktionslüftungen. Der Wärmeeinfall der Beleuchtung verteilt sich zum grössten Teil in der oberen Zone und hat so nur noch wenig Einfluss auf die Wärmebilanz.

Berechnung der Wärmeabfuhr von Beleuchtungskörpern

Man geht davon aus, dass eine Leuchte mit einer Fluoreszenzlampe von 52 W (+ elektronisches Vorschaltgerät: 5 W) einen Wirkungsgrad von 75% besitzt. Die Lichtquelle hat eine Lichtausbeute von 20%. Sie strahlt mehr als 40% Infrarot ab. Die thermische Bilanz dieser Leuchte in den zwei Zonen präsentiert sich wie folgt:

Zone I:

Strahlungsanteil = Lampenleistung x (Lichtausbeute + Infrarotanteil) x Leuchtenwirkungsgrad, das macht:

$$52 \text{ W} \times (0.20 + 0.40) \times 0.75 = 23.4 \text{ W}$$

Zone II:

Konvektionsteil = Lampenleistung x (1 – Lichtausbeute – Infrarotanteil) + Lampenleistung x (Lichtausbeute + Infrarotanteil) x (1 – Leuchtenwirkungsgrad) + Leistung Vorschaltgerät, das macht:

$$52 \text{ W} \times (1 - 0.20 - 0.40) + 52 \text{ W} \times (0.20 + 0.40) \times (1 - 0.75) + 5 \text{ W} = 33.6 \text{ W}$$

$$\text{Total Zonen I + II} = 57 \text{ W}$$

Wie man sieht, müssen bei einer Quelllüftung nur 41% der von der Beleuchtungsanlage abgestrahlten Wärme abgeführt werden, im Gegensatz zu 100% bei einer Induktionslüftung.

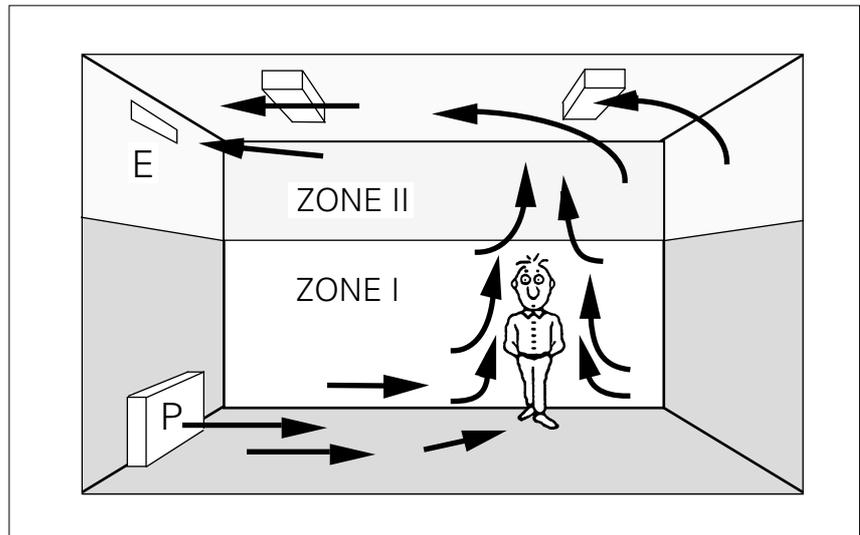
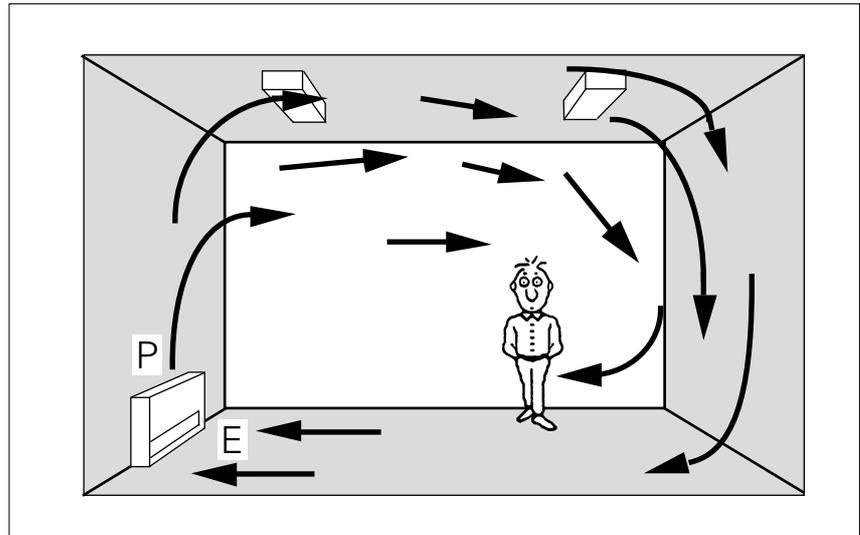


Bild 5.11:
System der Induktions- und Quelllüftung
/21/.
P = Frischluft
E = Abluft

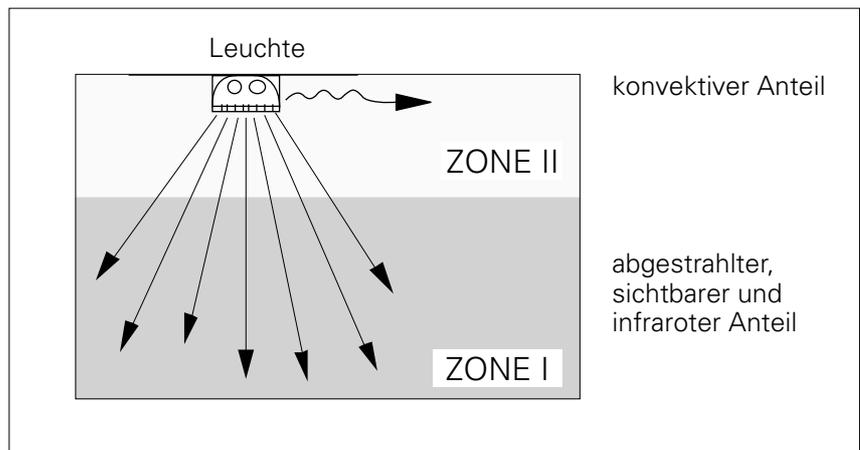


Bild 5.12:
Zonenzugehörige Abwärme der Be-
leuchtung.



Eine andere Möglichkeit, um die für die Beleuchtung notwendige Luftumwälzung zu reduzieren, besteht darin, die Abluft des Raumes durch die Leuchten zu führen (Klimaleuchten). Dabei gelangt der Konvektionsanteil der Leuchte gar nie in den Raum. Durch die eintretende Abkühlung der Leuchte wird sich bei Fluoreszenzlampen auch die Lichtausbeute verbessern. Diese Ventilationsart wird in der Praxis aus verschiedenen Gründen selten angewendet:

- Die Investitionen für die Leuchten wie auch für deren Anschluss an das Ventilationssystem sind sehr hoch.
- Durch die gleichzeitige Verwendung der Leuchte als Luftfilter beschleunigt sich die Verstaubung derselben, was wiederum die Lichtausbeute reduziert.
- Die Geräusche der Luft beim Durchströmen der Klimaleuchten können störend sein.

In Einkaufszentren dient die Ventilation hauptsächlich dem Abführen der Beleuchtungsabwärme. Es besteht hier also ein direkter Bezug zwischen der Beleuchtungsanlage und der Auslegung der Ventilation. Indem die Abwärme der Beleuchtung minimalisiert wird, wird elektrische Energie auf beiden Seiten gespart.



5.4 Kombination von Tages- und Kunstlicht

■ Konkurrenz oder Ergänzung?

Die intensive Tageslichtnutzung kann eine wichtige Energieeinsparung bewirken. Um dieses Ziel zu erreichen genügt es nicht, dass die Tageslichtenergie gross ist, sondern die künstliche Beleuchtung muss auch der momentanen Tageslichtsituation angepasst werden können.

■ Benutzerverhalten

Die Evaluationsmethoden einer Beleuchtungsanlage basieren meist auf Normen oder Empfehlungen in bezug auf die Beleuchtungsstärke, auf Regeln, die einen optimalen Komfort garantieren oder auf Gewohnheiten («so haben wir es immer gemacht»). Was man dabei nur wenig beachtet, ist das wirkliche Benutzerverhalten gegenüber einer Beleuchtungsanlage.

Eine in Deutschland erhobene Umfrage /22/ hat folgendes gezeigt (siehe Bild 5.13):

- Während 60% der normalen Bürozeit sind die Leuchten eingeschaltet.
- Die Mehrzahl der Benutzer schaltet bei der Ankunft am Arbeitsplatz das Licht ein (meist ist es der Reinigungsdienst, der am Abend dann das Licht wieder löscht).
- Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Menge des Tageslichtes und der Einschaltdauer des Kunstlichtes nachgewiesen werden.
- Trotz der Tatsache, dass die Leuchten in zwei Gruppen geschaltet werden konnten (Fensterzone und rückwärtige Zone) waren die beiden Einschaltquoten fast gleich.



Eine Studie, die an einer Universität in der Schweiz durchgeführt wurde, ergab dasselbe Benutzerverhalten.

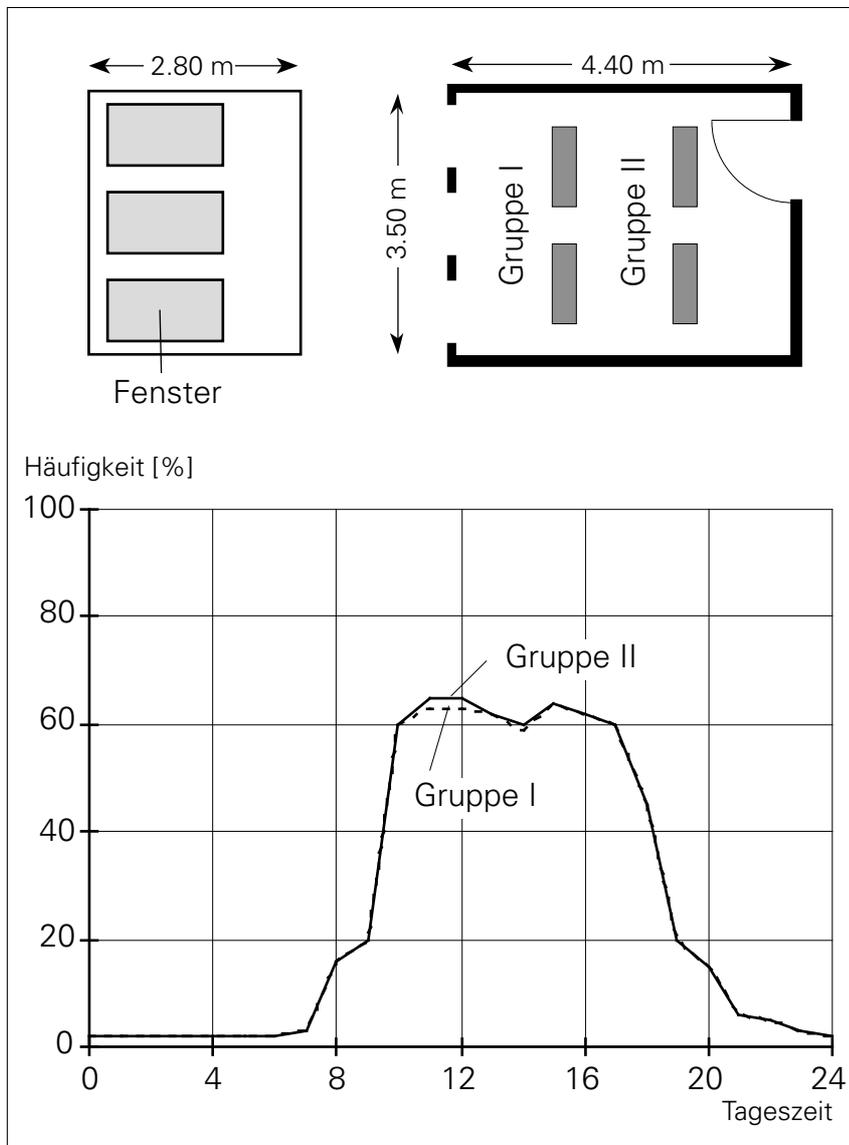


Bild 5.13: Benutzungsdauer von zwei Leuchtengruppen in einem Büro (Jahresmessung /22/).

Mehrere Gründe können dieses Verhalten erklären:

- Das Desinteresse gegenüber energetischen Problemen.
- Man vergisst, eine Leuchte auszuschalten, deren Betrieb man nicht mehr bemerkt (der Gebrauch von Leuchten mit geringer Eigenleuchtdichte erzeugt im Gesichtsfeld keine Lichtpunkte mehr; man muss nach oben schauen, um die Leuchte brennen zu sehen).
- Der grosse Beleuchtungsstärkeunterschied zwischen dem Tageslicht (2'000 bis 4'000 Lux) und dem Kunstlicht (300 bis 500 Lux). Wenn das Tageslicht im Laufe des Morgens die künstliche Beleuchtung ablöst, entgeht deren Funktion häufig unserer Aufmerksamkeit, weil ihr Anteil im Verhältnis zum Tageslicht gering ist.

Alle diese Feststellungen sprechen für automatisierte, tageslichtabhängige Regelsysteme.



■ Steuerung und Regulierung

Vom einfachen Handschalter bis zum auf Bewegung im Raum automatisch einschaltenden und dann tageslichtabhängig regulierenden System gibt es eine Vielzahl verschiedener Steuerungs- und Reguliertechniken:

Schalter, Treppenhausautomaten, Bewegungsmelder, aussenlichtabhängige Ein- und Ausschaltsysteme, innenlichtabhängige Reguliertechniken, aussenlichtabhängige Reguliertechniken (oftmals noch mit möglichen Benutzereingriffen).

Auch ohne ausgeklügelte Reguliertechnik sollte darauf geachtet werden, dass in befensterten Räumen mit mehreren Einzelleuchten oder Lichtbändern mehrere Schaltgruppen gebildet werden. Die energiebewussten Benutzer haben dann Gelegenheit, mit der gezielten Wahl von Beleuchtungsgruppen Energie zu sparen.

Die Steuerung mittels Zeitschalter ist für alle Räume interessant, die nur kurz und durch verschiedenste Personen benutzt werden: Verkehrswege (Treppenhäuser, Korridore, Eingänge zu Hallen), Toiletten, Magazine. Diese Zeitschalter werden heute oft durch Bewegungsmelder abgelöst.

Wahl des Steuersystems

Das Bild 5.15 zeigt, für drei Tageslichtquotienten, die mögliche Wahl eines Steuersystems.

In Räumen mit hohem Tageslichtanteil genügt eine aussenlichtabhängige Steuerung (Ein/Aus), da selbst bei bedecktem Himmel die Beleuchtung mit Tageslicht ausreicht. Die künstliche Beleuchtung wird also nur am Morgen und gegen Abend eingeschaltet.

Dagegen muss die künstliche Beleuchtung in Räumen mit kleinem Tageslichtanteil oft eine Ergänzung übernehmen. Nur eine Regulierung kann daher ab diesem Ergänzungs-Einsatzpunkt eine Energieeinsparung bringen.

Das grundlegende Problem ist, dass zur Zeit reelle Erfahrungen über die Rentabilität solcher Systeme fehlen. Es muss also eine bessere Auswertung der realisierten Anlagen erfolgen.

Energieeinsparungen

Einige Grundregeln zur Energieeinsparung mittels intensiver Tageslichtnutzung seien hier dargelegt:

- **Es muss genügend Tageslicht vorhanden sein.**
- **Die Fensterfläche muss optimiert sein.**
Ein Fenster ist ein Schwachpunkt in der Gebäudehülle; daher sind bei einem kleinen Fenster die Wärmeverluste im Winter weniger gross. Gleichzeitig ist im Sommer das Mass der Raumerwärmung weniger gross und somit wird bei der Wärmeabfuhr Energie gespart.
- **Das Tageslicht muss gleichmässig sein.**
Alle Bereiche eines Raumes sollen von einer guten Tageslichtbeleuchtung profitieren können. Diese Gleichmässigkeit vermeidet benachteiligte Zonen, die entweder verstärkt mit Kunstlicht versorgt werden müssen oder dann einfach zu dunkel sind.
- **Die Blendung durch die Fensterfläche muss vermieden werden.**



In bezug auf Energieeinsparung ist es wichtiger, das Tageslichtniveau schlecht beleuchteter Zonen (rückwärtige Bereiche) zu verbessern, als sich um bereits gut beleuchtete Zonen zu kümmern (Fassade). Energieeinsparungen werden eher mit einer hohen Gleichmässigkeit des Tageslichtes als mit einer generellen Erhöhung der Beleuchtungsstärke erreicht.

Bei einer energetischen Sanierung oder Verbesserung einer künstlichen Beleuchtung kommt es fast in allen Fällen zur Auswechslung derselben; die schnelle Alterung der Leuchten sowie der beschleunigte Technologie-wandel in Konstruktion und Ausrüstung verbietet partielle Renovationen an Anlagen, die älter als sechs Jahre sind.

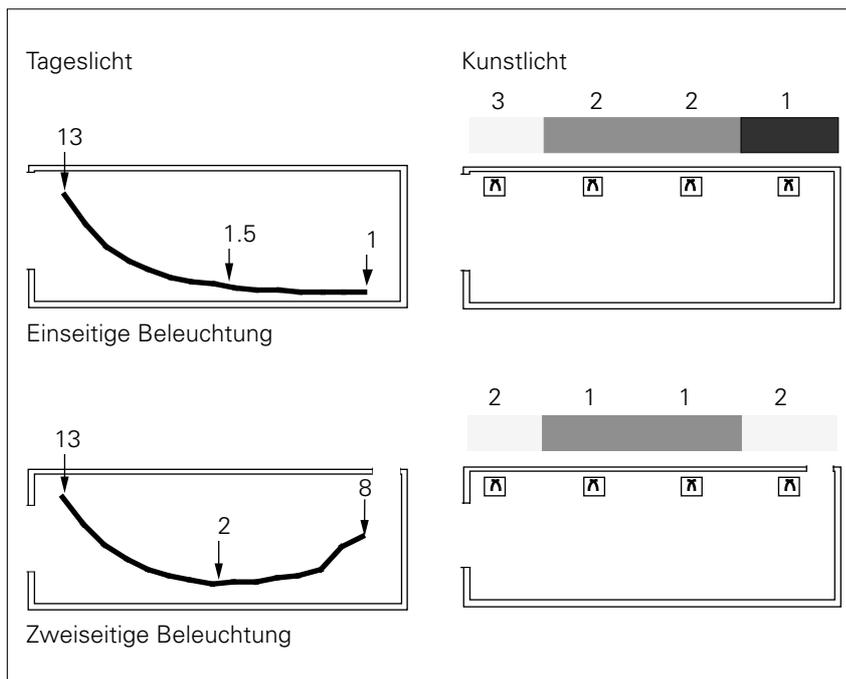


Bild 5.14: Gruppeneinteilung von Leuchten in Funktion des Tageslichtes. Die Zahlen auf der linken Seite bezeichnen den Tageslichtquotienten, diejenigen auf der rechten Seite die Einschaltdauer der Leuchten /24/.

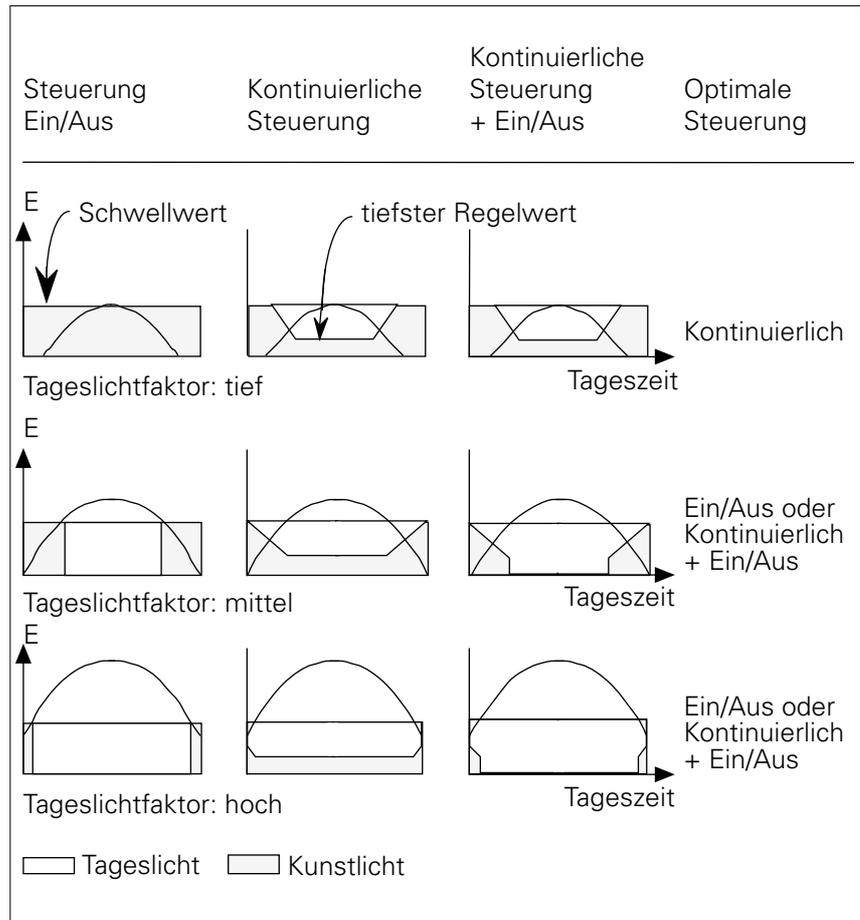


Bild 5.15:
Optimierte Steuerung/Regelung in Funktion des Tageslichtes /25/.



6 Vorgehen bei einem Beleuchtungsprojekt

6.1 Allgemeines	91
6.2 Grundlegende Projektdaten	92
■ Für wen wird das Projekt erstellt («Art der Beleuchtung»)?	92
■ Tageslichtbeleuchtung	92
■ Kunstlichtbeleuchtung	92
■ Bauherr und Energie	93
■ Reduktion der Betriebskosten?	93
■ Verbesserung des «technischen Ansehens»	94
■ Lebensdauer des Projektes	94
■ Lage und Aufstellung des Gebäudes	94
6.3 Gebäudenutzung	96
■ Beleuchtungsniveau	96
■ Verdunklung	96
■ Lichtempfindlichkeit von Objekten	97
■ Gleichmässigkeit der Beleuchtung	97
■ Welche Benutzer?	98
■ Benutzungsdauer?	98
■ Welche Nutzungsperioden?	99
■ Welches Mobiliar und welche Ausrüstung?	100
■ Welche Flexibilität?	100
6.4 Kosten	101
■ Tageslicht	101
■ Kunstlicht	101
■ Beleuchtung und Wärme	101
■ Betriebskosten	101
■ Fragen der Wiederverwertung	103
Zusammenfassung der Entscheidungskriterien eines Beleuchtungsprojektes	104



6 Vorgehen bei einem Beleuchtungsprojekt

6.1 Allgemeines

Es kann nicht der Sinn dieses Kapitels sein, dem Leser «Wunderrezepte» anzubieten, die ihm eine unfehlbare Erstellung eines Beleuchtungsprojektes ermöglichen. Es ist vielmehr die Meinung, in bezug auf die Beleuchtung eine Reihe von Entscheidungskriterien aufzuzeigen. Die Mehrzahl dieser Kriterien betreffen das Architekturprojekt meist recht stark; deshalb müssen sie dem Planer bewusst sein.

Es empfiehlt sich die Kundenwünsche genau zu hinterfragen, um den Handlungsspielraum des Planers voll ausschöpfen zu können. Um schneller Entscheidungen treffen zu können, müssen die Kundenwünsche in bezug auf die im folgenden aufgeführten Punkte präzisiert werden.



6.2 Grundlegende Projektdaten

■ Für wen wird das Projekt erstellt? («Art der Beleuchtung»)

Ein Gebäude gibt häufig den Charakter des Bewohners wieder. So widerspiegelt sich auch in der Beleuchtung oft die Lebensart des Benutzers.

■ Tageslichtbeleuchtung

Die Mitbenutzung des Tageslichtes beeinflusst die Gebäudekonstruktion sehr direkt (Ausrichtung, Aufteilung).

Häufig müssen dabei Systeme eingebaut werden (Lichtlenkung, Sonnenschutz), die auf die äussere Erscheinung eines Gebäudes wesentlichen Einfluss haben. Der Charakter eines Gebäudes, das in seine Umgebung passt, respektive sich in eine benachbarte Bausubstanz einfügt, ist ein Bewertungskriterium, das in letzter Zeit höher gewertet wird (vermehrte Sensibilität durch bewussten Umweltschutz).

■ Kunstlichtbeleuchtung

Licht am Tag

Die dem Gebäude entsprechenden Beleuchtungsarten, die Lichtfarbe des zur Verfügung stehenden Lichtes, die Art der Steuerung wie noch viele weitere Punkte charakterisieren einen gewissen Ort und verleihen ihm einen von der Benutzung abhängigen Lichteindruck. Die Kunstlichtbeleuchtung könnte, je nach Art und Auslegung, als «Träger des Raumeindrucks» bezeichnet werden.



Bild 6.1:
Gebäude mit Tageslichtbeleuchtung.



Licht in der Nacht

Das Licht ist das wichtigste Element zur Bewertung eines Objektes, eines Raumes oder eines Zustandes. Man sollte alle Möglichkeiten wahrnehmen, um die verschiedenen Räume in eine lichttechnische Beziehung zueinander zu bringen. Gleichzeitig sollte auch das Gebäude selbst der Öffentlichkeit bewusst gemacht und eine optimale «Lichtnachbarschaft» mit der Umgebung angestrebt werden.

Die Beleuchtung eines Gebäudes in der Nacht muss nicht unbedingt in eine Flut- und Spotlichtorgie ausarten. Meist ist es besser, einige architektonisch bedeutsame Elemente punktuell zu beleuchten, als die gesamte Fassade in Flutlicht zu tauchen.



Bild 6.2:
Aussenbeleuchtung des Bundeshauses
während der Nacht. (Photo Ph. Joye)

■ Bauherr und Energie

In welchem Grad ist der Bauherr zu einer Begrenzung des Energieverbrauches in seinem Gebäude anzuregen?

Ein Thema, das auf jedenfall angesprochen werden sollte.

■ Reduktion der Betriebskosten

Wie verschiedene Beleuchtungserneuerungen gezeigt haben, können in gewissen Fällen die notwendigen Investitionen bereits innerhalb von 5 Jahren amortisiert werden. Ist dies der Fall, sollte die Erneuerung möglichst rasch durchgeführt werden, da die gesparte Energie volkswirtschaftlich ein hohes Gewicht hat.



■ Verbesserung des «technischen Ansehens»

Die politischen Bestrebungen die elektrische Energie gezielt und sparsam einzusetzen, bringt den darum bemühten Industrie- und Verbraucherzweigen nebst den effektiven Einsparungen vor allem auch «technisches Ansehen».

Heutige Bemühungen im Umweltschutz richten sich zu einem grossen Teil auf die strenge und restriktive Verwendung elektrischer Energie.

■ Lebensdauer des Projektes

Die Lebensdauer eines Gebäudes beeinflusst direkt die sinnvolle Disposition eines einzubauenden Beleuchtungssystems. Soll über ein Beleuchtungskonzept entschieden werden, ist es empfehlenswert sich im voraus über einige wichtige Punkte Klarheit zu verschaffen:

- Die errechnete Rückzahlfrist sollte nicht länger als die vorgesehene Lebensdauer der Installationen sein.
- Die rationelle Benutzung der Anlage sollte keine unvernünftig langen Anlernzeiten und Regulierungsarbeiten notwendig machen.
- Die Lebensdauer der eingesetzten Materialien und Systeme sollten wenn möglich der Lebensdauer des Gebäudes entsprechen.

■ Lage und Aufstellung des Gebäudes

Für das Mass der möglichen Tageslichtnutzung ist die Lage des Gebäudes ausschlaggebend. Daher ist es wichtig, sich über folgende Punkte Klarheit zu verschaffen:

Klima

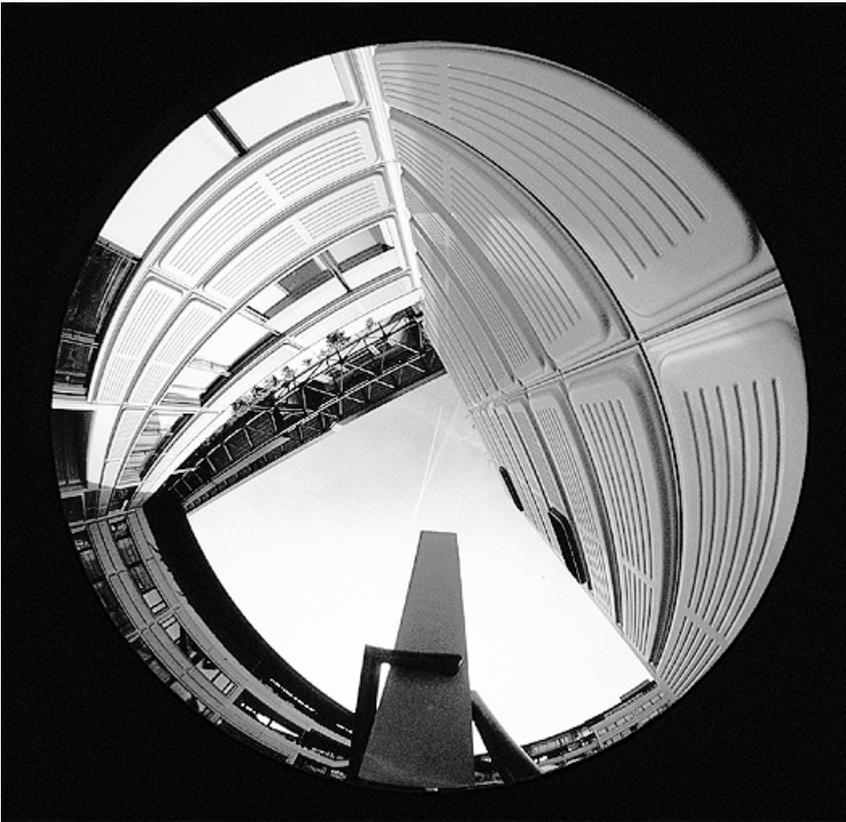
- Dauer der Sonneneinstrahlung resp. der Bewölkung (meist in Stunden pro Jahr).
- Abschattung durch die Umgebung.
- Einfluss auf die Besonnung.
- Einfluss auf die Aussicht.
- Mögliche Reflektionsflächen (Wasser, Gebäude, etc.).

Störungen durch die Umwelt:

- Lärm (begrenzte Fensterfläche, Einschränkung der Öffnungsdauer).
- Luftverschmutzung (Unterhalt der Systeme).

Rechtliche Einschränkungen/Vorschriften

- Gründliche Informationen über Zonen, Bauvorschriften, Rechte von Dritten, etc. für das betroffene Grundstück einholen.



*Bild 6.3:
Sichtbegrenzung durch die Umgebung
(Aufnahme mit Fischaug).*



6.3 Gebäudenutzung

Die Kenntnis der Nutzungsart eines Gebäudes ist die Grundlage zur Festlegung eines benutzergerechten Beleuchtungsbedarfs.

■ Beleuchtungsniveau

Jeder Tätigkeit kann eine sinnvolle Beleuchtungsstärke zugeordnet werden. Vereinfachend unterscheidet man vier grobe Beleuchtungsstärke-Bereiche, die je nach effektiver Anforderung zu präzisieren sind:

- **Grobarbeit** (Orientierung, Verkehrswege, Lager):
> kleiner als 100 Lux <
- **Normalarbeit** (Lesen, Schreiben, Bildschirmarbeit):
> von 300 bis 500 Lux <
- **Feinarbeit** (Zeichnen, Qualitätskontrollen)
> von 500 bis 1000 Lux <
- **Feinstarbeit** (Arbeit mit Kleinteilen, gute Farberkennung)
> mehr als 1000 Lux <

Genauere und objektbezogene Angaben können beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein angefordert werden /26/.

Beispiel: Büroraum

Hier kann man drei Haupttätigkeiten unterscheiden, die ein unterschiedliches Beleuchtungsniveau verlangen:

- Lesen, Schreiben, Bildschirmarbeit (300 bis 500 Lux auf der Arbeitsebene).
- Sitzung, Diskussion (300 Lux).
- Aufräumarbeiten (100 Lux).

Es ist nicht sinnvoll, die Beleuchtung für den «schlechtesten» Fall auszulegen (Beleuchtungsstärke von 500 Lux auf die gesamte Raumfläche). Man kann zum Beispiel am Arbeitsplatz eine mittlere Beleuchtungsstärke von 300 Lux vorsehen, und dazu mit punktförmiger Ausleuchtung Lichtakzente setzen. Die Regale in den Randzonen werden durch den Indirektanteil der Begrenzungsflächen meist genügend aufgehellt.

■ Verdunklung

Zu den oben erwähnten vier Beleuchtungsstärke-Bereichen könnte man einen fünften hinzufügen, der das Mass der durch audiovisuelle Einrichtungen (Dia-Projektion, Tageslicht-Projektion) bedingte Verdunklungen umschreibt. Für diesen Fall werden Beleuchtungsstärken unter 20 Lux gefordert.



Die Art der Raumnutzung beeinflusst die Auswahl der Verdunklung wesentlich (Möglichkeit der totalen Verdunklung); gleichzeitig muss der Typ und die Plazierung der Lichtsteuerung für das Kunstlicht dem Benutzerwunsch, wie auch den technischen Gegebenheiten angepasst werden.

■ Lichtempfindlichkeit von Objekten

Werden Objekte der Lichtstrahlung ausgesetzt, so werden ihre Farben, respektive die Pigmente des Anstriches, mehr oder weniger ausgebleicht (photochemischer Vorgang).

Die verursachten Schäden verhalten sich proportional zur Intensität und Dauer der Bestrahlung. Diese negativen Einwirkungen sind nicht nur der ultravioletten, sondern dem ganzen Spektrum des sichtbaren Lichtes zuzuschreiben.

Dieser Effekt muss berücksichtigt werden, sobald man Objekte «ausstellt», sei es in Schaufenstern oder in Museen.

■ Gleichmässigkeit der Beleuchtung

Die Verschiedenheit der Beleuchtungsniveaus innerhalb eines Raumes wird oft als belebendes Element empfunden. Niveauunterschiede in der Beleuchtung erlauben es, den architektonischen Charakter eines Raumes zu unterstreichen, verschiedene «Lichthyarchien» zu erzeugen und einen Raum attraktiver zu gestalten.

Die Hauptinteressen des Energiesparens weisen in dieselbe Richtung.



*Bild 6.4:
Objektbeleuchtung in einem Kunstmuseum mit Gegenständen aus dem siebzehnten Jahrhundert. (Kopenhagen, Dänemark)*



■ Welche Benutzer?

Die Ansprüche der Benutzer beeinflussen die Funktion und die Ausrüstung eines Raumes entscheidend.

Alter der Benutzer

Diese Grösse beeinflusst direkt das notwendige Beleuchtungsniveau. So ist zum Beispiel erwiesen, dass ältere Leute höhere Ansprüche an die Beleuchtung haben. Aber auch Kinder benötigen ein genügend hohes Beleuchtungsniveau sowie einen sehr guten Farbwiedergabeindex.

Dauerbenutzer

Ein Dauerbenutzer ist fähig sich in bezug auf das Optimieren seiner Umgebung gewisse Gewohnheiten anzueignen. So ist er zum Beispiel imstande, sich mit der Funktion eines Beleuchtungssystems auseinanderzusetzen, und so einen optimierten Betrieb desselben zu ermöglichen. In Lokalen mit «festen» Benutzern könnte man somit handbediente Steuersysteme vorsehen, selbst wenn man dafür eine spezifische Schulung für die optimale Benutzung des Systems durchführen müsste.

Gelegenheitsbenutzer

Im Gegensatz zum obenerwähnten Fall soll sich ein Gelegenheitsbenutzer keine Gedanken über Disposition und Funktion der Anlage machen müssen; man kann von ihm nicht erwarten, dass er seine Beleuchtung selber reguliert.

In Räumen die durch verschiedene Personen genutzt werden, wäre es daher sinnvoll, die Beleuchtungssteuerung zu automatisieren.

■ Benutzungsdauer?

Die Mehrzahl der arbeitsgebundenen Sehstörungen sind abhängig von der Zeit, während der diese Arbeit ausgeführt werden muss.

Gewisse Lichtstimmungen werden auf den ersten Blick als sehr angenehm empfunden; muss man jedoch während mehreren Tagen darin arbeiten, ist es möglich, dass dieselbe Lichtstimmung ermüdet oder reizt. Man müsste also darauf achten, dass in einem bestimmten Raum die Quantität und die Qualität des zur Verfügung stehenden Lichtes den jeweiligen Nutzern entsprechend installiert wird.



Bild 6.5:
Klassenzimmer, beleuchtet durch Tageslicht.



Beispiel: Selbstbedienungs-Kopierraum

Die Benutzung dieses Lokals kann gut und gern während eines ganzen Tages erfolgen (laufende Benutzerabfolge). Dagegen ist zu bemerken, dass sich die Benutzer (ausser in Ausnahmefällen) normalerweise nicht länger als eine Viertelstunde in diesem Raum aufhalten. Wenn diese Benutzer am Arbeitsplatz normalerweise von guten Tageslichtbedingungen profitieren können, kann man von ihnen sicher erwarten, dass sie zum Kopieren eines Dokumentes mit wenig bis keinem Tageslicht auskommen.

■ Welche Nutzungsperioden?

Der Nutzungsrhythmus eines Gebäudes ist für die Auslegung der Beleuchtungsanlage ausschlaggebend.

Stundenplan

Beispiel: Eine Schule

Die Dimensionierung einer Beleuchtungsanlage kann unter Berücksichtigung des Stundenplanes geschehen, das heisst, man kann zum Beispiel davon ausgehen, dass morgens vor acht Uhr und abends nach 5 Uhr keine Schüler mehr den Unterricht besuchen. Diese Eingrenzung erlaubt es uns, den Schülern einen gewissen «Standard-Anteil» an Tageslicht zugute kommen zu lassen.

Das heisst nun jedoch nicht, dass das Gebäude ausserhalb dieser Randzeiten nicht besetzt wäre (Lehrerkonferenzen, Administrationssitzungen, Elternversammlungen, Abendkurse, Reinigungsarbeiten, etc.).

Dennoch ist es möglich, diese Randzeiten als «nebensächlich» zu betrachten. Wenn man eine Rangfolge der Beleuchtungsniveaus aufstellen würde, könnte man hier von «Sekundärbenutzungen» sprechen. Die vorgesehenen Lichtinstallationen müssen dieser Benutzung Rechnung tragen. Es ist nicht sinnvoll eine technische Superlösung vorzusehen, die pro Tag lediglich ein bis zwei Stunden benutzt werden kann. Man würde dabei riskieren, unverhältnismässig lange Rückzahlzeiten zu erhalten.

Jahreszeiten

Die Zeit der Schulferien ist mit einer Nichtbelegung der Lokale gleichzusetzen. Während dieser Zeit gilt es zu bedenken, dass, ohne Gebäudeschäden entstehen zu lassen (Übertemperaturen), keine Komfortansprüche mehr abgedeckt werden müssen.



■ Welches Mobiliar und welche Ausrüstung?

Die gebäudespezifische Ausrüstung eines Gebäudes hat Einfluss auf die Auslegung der Beleuchtung.

Mobiliar

Die Art des Mobiliars wie auch dessen Platzierung können wesentlichen Einfluss auf die Disposition der Leuchten haben. So bestimmt zum Beispiel die Regalanordnung in einer Bibliothek die Menge des Tageslichtes, das in die Tiefe des Raumes gelangt. Sind die Gestelle rechtwinklig zu den Fenstern montiert, ist dies eher gewährleistet als wenn die Aufstellung parallel zu den Fenstern gewählt wurde; die Gestelle wirken so als «Lichtbarriere».

Maschinen

Gewisse Ausrüstungen oder Maschinen ertragen keine direkte Sonnenbestrahlung, sei es aus thermischen Gründen (z.B. Kühleinheiten in grossen Verkaufsauslagen) oder aus Gründen des mangelnden Sehkomfortes (z.B. Werkzeugmaschinen: Reflexblendungen auf glänzenden Maschinenteilen können Unfälle verursachen).

Andererseits gilt es zu beachten, dass von Maschinen verursachte Leuchtenverschmutzungen wesentliche Rückwirkungen auf den Wirkungsgrad als auch auf die Alterung der Leuchten haben können.

■ Welche Flexibilität?

Es ist wichtig, die Ausbaumöglichkeiten wie auch den Grad der Benutzungsflexibilität eines Gebäudes frühzeitig zu hinterfragen respektive festzulegen.

Tageslicht

Anlässlich einer internen Umstellung ist es möglich, dass eine Trennwand vor ein bestehendes Fenster verschoben werden muss. Der Wandanschluss wird dann vorzugsweise im Bereich einer bestehenden Rahmenpartie vorgenommen, um das Fenster nicht in zwei Teile schneiden zu müssen. Daher ist es wichtig, dass die Fenstereinteilung so ausgelegt wird, dass ein späterer Wandeinzug auch realisiert werden kann. Um das Tageslicht optimal auszunutzen, sollte eine fensternahe Parallelaufstellung einer Zwischenwand unter allen Umständen vermieden werden.

Kunstlicht

Auch die Platzierung der Leuchten sollte auf mögliche Unterteilungen Rücksicht nehmen, so dass später ein einfaches Anpassen möglich ist. Dies betrifft auch die Ausrichtung der Leuchten (parallel zu den Fenstern) sowie ihre Schaltbarkeit (Zonenbildung).



6.4 Kosten

Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass ein gut beleuchtetes Gebäude nicht automatisch ein teures Gebäude sein muss.

■ Tageslicht

Die meisten Probleme bei der Tageslichtbenutzung können mit richtigem Vorgehen und normalen Konstruktionselementen gelöst werden.

■ Kunstlicht

Eine effiziente Kunstlichtbeleuchtung beruht vor allem auf der sachgemässen Auswahl des Beleuchtungsmaterials und auf die Art, wie dieses Material eingesetzt wird.

Je früher die Beleuchtungsfragen bei der Gebäudekonzeption einbezogen werden, je harmonischer wird sich die gewählte Beleuchtung in die Architektur einfügen. Daneben wird damit auch eine Kostenreduktion erreicht, weil die Gesamtdisposition von Bau und Licht bereits abgestimmt ist.

■ Beleuchtung und Wärme

Grundlegend ist es schwierig, eine genaue Unterscheidung zwischen Licht und Wärme zu machen. Die Aufwendungen für eine energieoptimierte Auslegung der Beleuchtungsanlage haben positive Auswirkungen auf den Wärmehaushalt des Gebäudes.

Zum Beispiel können die Kosten für einen Sonnenschutz durch die Energieeinsparungen beim Weglassen einer Klimaanlage aufgewogen werden.

■ Betriebskosten

Im Gegensatz zu vielen anderen Bereichen sollten technische Investitionen in einem Gebäude mit entsprechenden Betriebskostenreduktionen kompensiert werden können. Dies betrifft nebst den Unterhaltskosten der Beleuchtungsanlage auch den Energieverbrauch.

Kunstlichtbeleuchtung

– Leuchtenunterhalt:

Der Wirkungsgrad einer Leuchte sinkt im Verlauf der Zeit, vor allem mit dem Grad der Verstaubung (dies im besonderen bei Indirekt-Beleuchtungssystemen). Die regelmässige Reinigung der Leuchten gehört daher unbedingt zu den Unterhaltsarbeiten.



Bild 6.6:
Energieoptimierte
Kunstlichtbeleuchtung.

- Ersatz der Lampen:

Eine Lichtquelle wird bewertet durch den Kaufpreis, durch die Lichtausbeute (abgestrahlter Lichtstrom in Funktion der aufgenommenen elektrischen Energie), sowie durch die Lebensdauer.

Die Lebensdauer, die je nach Lampentechnologie sehr verschieden sein kann, entscheidet über die Häufigkeit der Lampenwechsel, die aufwendige Handarbeit nach sich ziehen. Es ist wichtig zu wissen, dass gewisse energiefreundliche Lampen (z.B. Kompakt-Fluoreszenzlampen) eine wesentlich längere Lebensdauer als konventionelle Lichtquellen aufweisen (z.B. Glühlampen). In diesem Fall wird neben einer wesentlichen Energiekosteneinsparung gleichzeitig eine Reduktion der Unterhaltskosten erreicht.

Tageslichtbeleuchtung

- Reinigung der Systeme:

Ein grosser Teil der Tageslichtsysteme basiert auf Reflexion und Umlenkung des Lichtes. Dies erfordert die Verwendung von präzisen und hochwertigen photometrischen Elementen. Der Wirkungsgrad dieser Systeme ist entscheidend vom Verschmutzungsgrad der Elemente abhängig. Daher müssen die betroffenen Teile leicht gereinigt werden können.

- Lebensdauer des Materials:

Eine gewisse Anzahl sogenannt «neuer» Materialien eröffnen reizvolle Möglichkeiten, um mit dem Licht zu spielen (transparente Isolationen, holographische Filme, etc.). Indessen ist die Lebensdauer dieser Materialien heute meistens nicht bekannt. Diesen Materialien sollte man, wenn immer möglich, solche vorziehen, deren Funktionssicherheit in Langzeitanwendungen erwiesen ist (Glas, Aluminiumblech, etc.).



– Handhabung der Systeme:

Gewisse Tageslichtleitsysteme verstehen sich als passive Systeme (feste Systeme). Im Gegensatz dazu gibt es auch mobile Systeme, die sich der jeweiligen Tageszeit anpassen (nachgeführte Systeme). Zwischen diesen zwei Systemgruppen findet man verschiedenste Zwischenlösungen, deren «Beweglichkeit» eingeschränkt ist. Dies ist der Fall bei Systemen mit einer Stellung «Sommer» und «Winter». Dies bedingt zwei Einstellungen pro Jahr, die in der Checkliste für die Gebäude-Unterhaltsarbeiten aufgeführt sein müssen. Normalerweise zieht man ein solch einfaches System einem störanfälligeren, automatisierten vor.

■ Fragen der Wiederverwertung

Eine optimierte Lichtplanung drückt sich auch darin aus, dass weniger technische Abfälle entstehen. Dies nicht nur während der Nutzungsdauer des Gebäudes, sondern auch bei dessen Abbruch.

Sofern eine Reduktion der Einschaltdauer einer Beleuchtungsanlage erwirkt werden kann, werden auch weniger Lampen verbraucht.

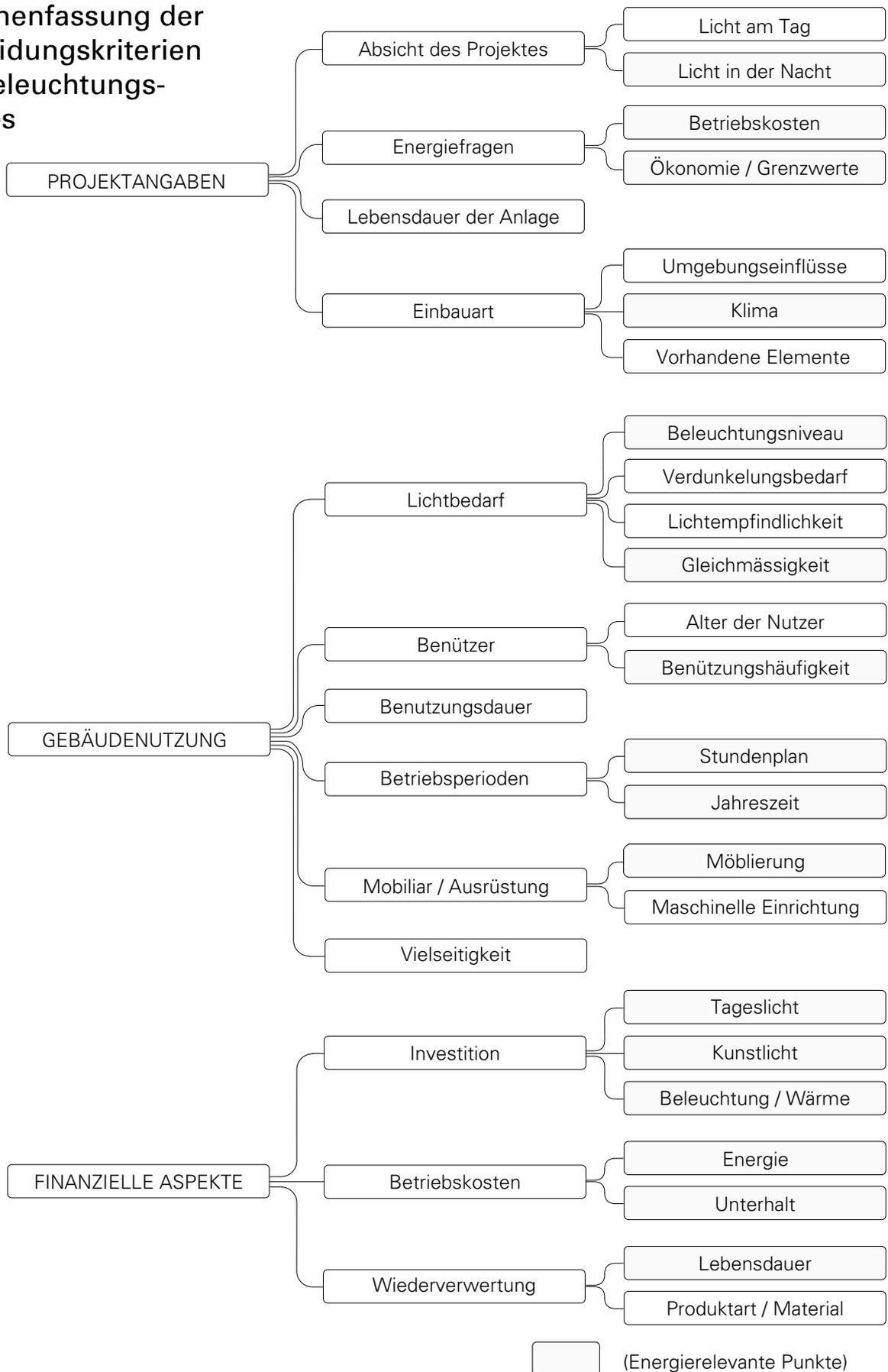
Für jede so «eingesparte» Lampe verringert man den Aufwand der Rückgewinnung der eingeschlossenen Gase (Metalljodide, Natrium, Quecksilberdampf). Seit kurzem existieren spezialisierte Firmen, die sich mit dem Einsammeln und der anschließenden Wiederverwertung für Glaskolbenlampen befassen.

Gleichzeitig kann festgehalten werden, dass für jede nicht realisierte Klimaanlage das Problem der Wiederverwertung der alten Kältemittel bereits gelöst ist.

Die bis hier besprochenen Hauptthemen, die früher häufig als «nebensächlich» abgetan wurden, müssen heute vom Planungsbeginn weg in die Gebäudekonzeption einbezogen werden.



Zusammenfassung der Entscheidungskriterien eines Beleuchtungsprojektes





7 Begriffserläuterung

■ Sehvermögen $A [mn^{-1}]$

Es ist das Mass der Fähigkeit, mit dem Auge kleine Gegenstände erkennen zu können. Das Sehvermögen ist andererseits nichts anderes, als der kleinste Blickwinkel, unter dem zwei Objekte noch unterschieden werden können (z.B. Punkt-Linie). Das Sehvermögen wird allgemein in Zehnteln gemessen; ein Sehvermögen von $10/10$ entspricht: $A = 1 mn^{-1}$.

■ Sehfeld $[deg]$

Darunter versteht man den Bereich, in dem ein Gegenstand eingesehen werden kann, ohne den Kopf oder die Augen zu bewegen. Man unterscheidet das ein- und zweiäugige Sehfeld (monokular, binokular).

■ Leuchtdichtekontrast $C[-], C = \frac{L-L_0}{L_0}$

Er entspricht dem Quotienten aus der Differenz der Leuchtdichte $L [cd/m^2]$ minus einer Referenzleuchtdichte $L_0 [cd/m^2]$ und der Referenzleuchtdichte L_0 .

■ Spektrale Hellempfindlichkeitskurve $V(\lambda)$

Kurve der Hellempfindlichkeit bezogen auf Spektralwellen verschiedener Bereiche aber gleicher Leistung. Das Maximum dieser Kurve ($\lambda_{max} = 555 nm$) entspricht der gelbgrünen Farbe.

■ Beleuchtungsstärke $E[lx], E = \frac{d\phi}{dA}$

Lichtstrom $d\phi [lm]$ pro Flächeneinheit $dA[m^2]$. Die Beleuchtungsstärke wird in Lux gemessen.

■ Lichtausbeute $\eta[-], \eta = \frac{\phi}{\phi_e}$

Quotient aus Lichtstrom $\phi [lm]$, bezogen auf einen elektromagnetischen Bereich, und dem Energiefluss $\phi_e [W]$ vom gleichen Bereich. Im Falle einer Beleuchtungsquelle ersetzt man den Energiefluss mit der aufgenommenen, elektrischen Leistung.

■ Ergorama

Sehbereich, unter dem man nur die Form eines Gegenstandes wahrnehmen kann. Das Ergorama deckt einen Bereich von $2 \times 30^\circ$ gegenüber der Sehachse ab.



■ Tageslichtquotient/ Tageslichtfaktor

$$D [\%], D = \frac{E_i}{E_a}$$

Quotient aus Beleuchtungsstärke E_i [lx], die durch das Tageslicht an einem Ort im Raum erzeugt wird und der gleichzeitigen, horizontalen Aussen-Beleuchtungsstärke E_a [lx]. Der Tageslichtquotient wird allgemein in Prozenten angegeben.

■ Reflexionsgrad

$$\rho [-], \rho = \frac{\phi_r}{\phi_i}$$

Quotient aus reflektiertem Lichtstrom ϕ_r und der auftreffendem Lichtstrom ϕ_i . Man unterscheidet zwischen Reflexionsgrad für gerichtete Reflexion (Teil des gerichtet reflektierten Lichtes) und Reflexionsgrad für diffuse Reflexion (Teil des diffus reflektierten Lichtes).

■ Transmissionsgrad

$$[-], \tau = \frac{\phi_t}{\phi_i}$$

Quotient aus durchgelassenem Lichtstrom ϕ_t und auftreffendem Lichtstrom ϕ_i . Man unterscheidet zwischen gerichtetem Transmissionsgrad (Teil des gerichtet durchgelassenen Lichtes) und diffusem Transmissionsgrad (Teil des diffus durchgelassenen Lichtes).

■ Nutzungsfaktor

$$N [-], N = \frac{\phi_r}{\phi_s}$$

Quotient aus Lichtstrom ϕ_r [lm], der auf eine Referenzfläche trifft (Arbeitsfläche) und der Summe der total emittierten Lichtströme.

Der Nutzungsfaktor errechnet sich aus dem Produkt von Leuchtenwirkungsgrad und dem Gebrauch der Beleuchtungsanlage

$$(N = \eta_l \cdot \eta_R)$$

■ Lichtstrom

$$\phi [\text{lm}], \phi = 683 \cdot \int V(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) \cdot d\lambda$$

Menge der gesamten Lichtabstrahlung eines Körpers. Der Lichtstrom eines bestimmten Bereichs im elektromagnetischen Spektrum ist über die Kurve der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges $V(\lambda)$ verbunden mit dem Energiefluss ϕ_e [W] desselben Bereiches. Der Lichtstrom wird in Lumen gemessen.

■ Fovea/Netzhautgrube

Bereich der Netzhaut mit maximaler Lichtempfindlichkeit. Die Netzhautgrube liegt im Sehzentrum.

■ Farbwiedergabeindex

$$\text{Ra} [-]$$

Dieser Index gibt das Vermögen einer Kunstlichtquelle an, die Farben von Materialien in bezug auf eine Referenzlichtquelle entsprechend wiederzugeben. Der Farbwiedergabeindex bewegt sich im Bereich von 0–100. Der Wert der Referenzlichtquelle beträgt 100.



■ Lichtstärke

$$I \text{ [cd]}, I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

Die Lichtstärke ist der Lichtstrom $d\phi$ [lm] einer Lichtquelle, der in einem bestimmten Raumwinkel $d\Omega$ [sr] abgestrahlt wird. Die Lichtstärke wird in Candela gemessen.

■ Verglasungsindex

$$i_v \text{ [%]}$$

Quotient zwischen der Nettofläche der Verglasung eines Raumes (ohne Rahmen) und der Bodenfläche.

■ Öffnungsindex

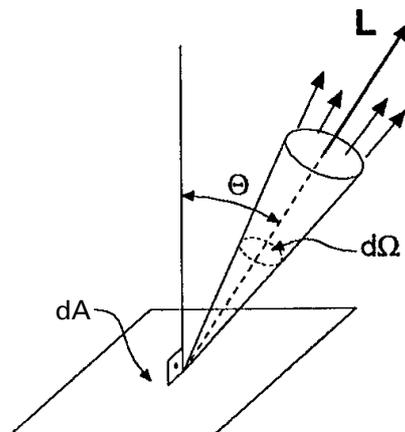
$$i_o \text{ [%]}$$

Quotient zwischen der gesamten Fläche einer Öffnung in einem Raum (mit dem Rahmen) und der Bodenfläche

■ Leuchtdichte

$$L \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right], L = \frac{d\phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta}$$

Quotient zwischen dem Lichtstrom $d\phi$ [lm], der von der Flächeneinheit dA [m²] in eine, durch einen Elementarkegel bestimmte Richtung ausgesandt oder reflektiert wird und dem Produkt des Raumwinkels $d\Omega$ [sr] mit der Fläche dA .



Die Leuchtdichte wird in einem Punkt der Fläche einer Lichtquelle oder eines Materials definiert und zwar für eine gegebene Richtung. Sie wird in Candela/m² ausgedrückt. Die Leuchtdichte ist ein Mass für den Helligkeitseindruck einer Fläche.

■ Bewölkung

Grösse, welche die Portion Himmel, die von Wolken bedeckt ist, beschreibt. Meistens in Oktet (Zahl zwischen 1 und 8) angegeben. Ein Oktet entspricht 1/8 Himmel.

■ Panorama

Teil des Blickfeldes, der die Bewegung der Objekte erfassen kann. Das Panorama deckt ein Feld von 2 x 60° um die Sehachse ab.



■ Wirkungsgrad eines Beleuchtungskörpers

$$\eta_l [-], \eta_l = \frac{\phi_l}{\phi_s}$$

Quotient des austretenden Lichtstroms ϕ_e [lm] eines Beleuchtungskörpers durch den von der Lichtquelle erzeugten Lichtstrom ϕ_s [lm].

■ Sichtbares Spektrum

Teil der elektromagnetischen Strahlung, die man mit Licht bezeichnet. Das sichtbare Spektrum umfasst Wellenlängen von 380 bis 700 nm.

■ Farbtemperatur

$$T_c [\text{K}]$$

Absolute Temperatur eines schwarzen Körpers, der eine Strahlung mit denselben chromatischen Eigenschaften emittiert wie der betrachtete Körper. Die Farbtemperatur wird in Kelvin angegeben. Die Sonne strahlt mit einer Farbtemperatur von 5700 K.

■ Raumwirkungsgrad

$$\eta_R [-], \eta_R = \frac{\phi_r}{\phi_L}$$

Quotient des Lichtstroms ϕ_r [lm], der auf eine Referenzfläche auftrifft (Arbeitsoberfläche) durch die Summe aller Lichtströme, die von allen Beleuchtungskörpern abgegeben werden.



8 Literaturverzeichnis

- /1/ **«IES Lighting Handbook, Application and Reference Volume»**
Illuminating Engineering Society of North America
New York, 1984
- /2/ D. Falk et al.
**«Seeing the Light: Optics in Nature, Photography, Color,
Vision and Holography»**
J. Wiley, New York, 1985
- /3/ **«Handbuch für Beleuchtung»**
LiTG-SLG-LTAG, ecomed-Fachverlag, Landsberg, 1992
- /4/ **«Le Soleil, Chaleur et Lumière dans le bâtiment»**
EPFL-ITB /LESO-PB, SIA D 056, 1990
- /5/ **«Sunlighting as Formgiver in Architecture»**
William M.C. Lam, VNR, New-York, 1986
- /6/ **«Concepts and Practice of Architectural Daylighting»**
Fuller More, VNR, New-York, 1985
- /7/ **Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Doc 040**
- /8/ **«Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht»**
SEV 8911.1989
- /9/ **«IES Lighting Handbook»**
Illuminating Engineering Society, New York, 1987
- /10/ H. Rossotti
«Colour: Why the World isn't grey»
Princeton University Press, Princeton, 1983
- /11/ **«La photométrie en éclairage»**
Association Française de l' Eclairage, Paris, 1992
- /12/ C. Weinmann
«SIA 380/4, Rapport Surfaces de vente»
Elektrowatt, 1991
- /13/ T. Baumgartner, P. Chuard, B. Wick
«Energiegerechte Schulbauten, Handbuch für Planer»
SIA D090, 1992
- /14/ Sorane SA
**«Conception énergétique de la deuxième étape de l'EPF
à Lausanne»**
Résumé, 1985
- /15/ H.P. Eicher, Pauli
«Elektroenergieverbrauch von Betriebseinrichtungen»
RAVEL Untersuchungsprojekt Nr. 32.51, 1992



- /16/ H.P. Eicher, M. Stalder
**«Interne Lasten und Ihre Auswirkungen für die passive
Sonnenenergienutzung»**
HBT-BEW, 1990
- /17/ C. Erikson, J.B. Gax, N. Morel
**«Influence de la fenêtre sur le bilan énergétique d'une
construction»**
IEA annex XII, EPFL, 1986
- /18/ Institut Suisse du Verre dans le bâtiment
«Docuverre Vitrages réfléchissants et absorbants»
1981
- /19/ E. Sälzer, U. Gothe
«Bauphysik-Taschenbuch»
1986
- /20/ D. Aiulfi
**«Etude de ventilation naturelle pour un concours
d'architecture»**
Sorane, Lausanne, 1991
- /21/ C.A. Roulet, N. Kohler, P. Chuard
«Aération des bâtiments»
Programme d'impulsion, EPFL, 1989
- /22/ M. Szerman
«Manuelle Tagslichtnutzung in Büroräumen»
CISBAT '91, EPFL, 1991
- /23/ J.L. Scartezzini, F. Bottazzi, M. Nygard-Ferguson
**«Application des méthodes stochastiques: dimensionnement
et régulation»**
EPFL, 1989
- /24/ D. Chuard
«L'éclairage dans les écoles»
Utilisation rationnelle de l'énergie dans les écoles, à paraître en
1993
- /25/ F. Moore
«Concepts and Practice of Architectural Daylighting»
1985
- /26/ **Norme Suisse ASE 8912-2.1977**
- /27/ **«Guide pour l'éclairage des musées, des collections particu-
lières, et des galeries d'art»**
AFE, Editions LUX, Paris, 1991
- /28/ **«Recommandations relatives à l'éclairage des locaux
scolaires»**
AFE, Editions LUX, Paris, 1991