



Licht

Zeitgemässe Beleuchtung von Bürobauten



■ **Projektleiter:**

Christian 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

■ **Redaktion:**

W. Lips, SUVA, Luzern

J. Lausset, Ch. Perrottet SA, Epalinges

B. Paule, CUEPE, Universität Genf

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

■ **Übersetzung und Überarbeitung:**

Ivan Keller, Amstein+Walthert AG, Zürich

Christian Vogt, Amstein+Walthert AG, Zürich

■ **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. 724.329.2 d)

Form. 724.329.2 d 4.94 2000 U15330



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 Konjunkturfragen, 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 ambitionöse 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 Stromwendung sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus Vertretern der interessierten Verbände, Schulen und Organisatio-



nen 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 Bürobeleuchtung ist eines der Themen, über welches in den letzten Jahren am meisten geschrieben wurde. Trotzdem – oder gerade deshalb – sind grosse Unsicherheiten vorhanden, was nun die «richtige» Beleuchtung ist.

Die vorliegende Dokumentation soll diese beseitigen und einen Überblick über die verschiedenen Energiesparfaktoren ermöglichen.

Da die Möglichkeiten sehr vielfältig sind und unterschiedliche Gebiete betreffen (Architektur, Gebäudetechnik etc.), werden verschiedene Planungsansätze aufgeführt, welche verdeutlichen sollen, wie die einzelnen Faktoren in der Gesamtplanung integriert werden können.

Die vorliegende Publikation soll den entsprechenden Entscheidungsträgern bei ihrer täglichen Arbeit helfen, die verschiedenen Energiespartechiken effizient anzuwenden und vorhandene Anlagen hinsichtlich Ergonomie und Energie zu beurteilen. Die am Ende aufgeführte Checkliste soll als Werkzeug für diese Umsetzung dienen.

Diese Dokumentation ist Teil einer Viererreihe, welche die Grundlagen, sowie die spezifischen Merkmale von Industrie-, Büro- und Verkaufsraumbeleuchtung bzw. -belichtung behandeln.

Alle vier Hefte wurden nach einer detaillierten Vernehmlassung und dem Anwendungstest in Pilotveranstaltungen nochmals überarbeitet. Die Autoren 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 aller, welche zum Gelingen der vorliegenden Publikation beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

März 1994

Bundesamt für Konjunkturfragen

Dr. B. Hotz-Hart

Vizedirektor für Technologie



Inhaltsübersicht

1	Einleitung	7
2	Visuelle Ergonomie am Büroarbeitsplatz	11
2.1	Eigenschaften von Bildschirmarbeitsplätzen	13
2.2	Empfehlungen für Bildschirmarbeitsplätze	19
2.3	Empfehlungen für allgemeine Büroarbeiten	24
3	Tageslichtnutzung	25
3.1	Allgemeine Bemerkungen	27
3.2	Die Baustoffe und das Licht	29
3.3	Studie von verschiedenen Öffnungssystemen	37
3.4	Entscheidungshilfen	54
3.5	Praktisches Beispiel	63
4	Kunstlicht-Techniken	67
4.1	Büro und Zonen	69
4.2	Ziele des Kunstlichts	70
4.3	Parameter und Kriterien eines Beleuchtungsprojekts	72
4.4	Arten von künstlicher Beleuchtung	73
4.5	Lichtsteuerungen	88
4.6	Schlussbilanz	90
4.7	Praktische Beispiele	91
5	Gesamtbetrachtung eines Beleuchtungsprojekts	101
5.1	Allgemeines Vorgehen	103
5.2	Investitionskosten	105
5.3	Betriebskosten	106
5.4	Energieverbrauch	108
6	Checkliste	113
6.1	Checkliste Tageslicht	113
6.2	Checkliste Kunstlicht	116
7	Literaturverzeichnis	119
	Publikationen des Impulsprogrammes RAVEL	121



1 Einleitung

■ Warum dieses Handbuch?

Der Bereich der Dienstleistungsgebäude umfasst eine Vielzahl von Aktivitäten, die wohl eher unter der Bezeichnung «Büroarbeiten» bekannt sind (Banken, Versicherungen, Verwaltungen, usw.). Ein grosser Anteil des gesamtschweizerischen Elektro-Energieverbrauchs, ist diesem Bereich zuzuschreiben (1989: 23.7%). Zudem wurde während den letzten zehn Jahren ein durchschnittlicher Jahresmehrverbrauch von 2.3% festgestellt.

Ein grosser Teil des Elektro-Energieverbrauchs wiederum wird für die Beleuchtung der betreffenden Gebäude benötigt. Der genaue Anteil ist dabei sehr stark von der Nutzung, also von den Aktivitäten abhängig, die



Bild 1.1:
Ergonomische Bürobeleuchtung durch
Allgemein- und Arbeitsplatzbeleuchtung
(Edipress Publication SA, Lausanne)



im entsprechenden Gebäude ausgeführt werden. So kann sich dieser Wert zwischen 20% (Rechenzentrum) und 80% (Bibliothek, Buchhandlung) bewegen.

Ökologische Überlegungen (Umweltschutz, begrenztes Vorkommen der meisten Energieträger, usw.) sowie auch die steigenden Strompreise sollten alle Planer zum Energiesparen anhalten.

Merkmale des Projekts (Bild 1.1)

Raum:	Grossraumbüro
Nutzung:	Verwaltung (Bildschirmarbeitsplatz)
Lichtverteilung:	Raum mit Fenstern, Tiefe 5–12 m (Klasse 2 nach SIA 380/4),
Reflexionsfaktoren:	ρ Decke = 0.7, ρ Wände = 0.5, ρ Boden = 0.3
Beleuchtungsart:	Zwei-Komponenten-Beleuchtung direkt/indirekt (Allgemeinbeleuchtung durch Wandleuchten, Zusatzbeleuchtung mit Ständerleuchten)
Beleuchtungsstärke:	300–500 lux beim Arbeitsplatz
Lichtquellen:	Fluoreszenzlampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (Wandleuchte 1 x TC 24 W, Ständerleuchte 2 x TC 55 W)
Beleuchtungskörper:	Trilux 3E
Steuerung:	Durch Hauptschalter für die Allgemeinbeleuchtung (1 x TC 24 W + 1 x TC 55 W), individuell schaltbar für die Zusatzbeleuchtung (1 x TC 55 W pro Arbeitsplatz)
Installierte Leistung:	9.5 W/m ² (Allgemein- und Arbeitsplatzbeleuchtung)
Energieeinsparung:	Bis zu 60% potentielle Einsparung im Vergleich zu einer traditionellen Indirekt-Beleuchtung mit Halogenleuchtstofflampen.

Neue Beleuchtungstechniken können gleichzeitig die gestellte Sehaufgabe zufriedenstellen und den Energieverbrauch im Vergleich zu einer traditionellen Lösung merklich verringern.

Das oben aufgeführte Beispiel soll veranschaulichen, welches heute die Ziele eines jeden Büro-Beleuchtungsplaners sein sollten.



■ Für wen ist dieses Handbuch bestimmt?

Dieses Handbuch soll dem Leser einen Überblick verschaffen über die verschiedenen Energiespar-Techniken im Beleuchtungsbereich des Sektors «Dienstleistungsgebäude». Diese Techniken sind sehr breitfächerig aufgeführt und betreffen verschiedene Gebiete wie zum Beispiel Architektur (Ästhetik), visuelle Ergonomie (Komfort), Gebäudetechnik (Energieverbrauch), Tageslichtnutzung und Kunstlicht (Lichtquellen und Leuchten mit hohen Wirkungsgraden). Ebenso werden Lösungsansätze aufgeführt, die aufzeigen sollen, wie diese Punkte in ein Projekt integriert werden können.

Das vorliegende Handbuch soll den entsprechenden Entscheidungsträgern (Architekten, beratenden Ingenieuren, Elektroinstallateuren) helfen, die erwähnten Techniken effektiv anzuwenden. Verschiedene konkrete Beispiele veranschaulichen die behandelten Theorien. Die am Ende des Handbuches zusammengefassten Checklisten sind als «Werkzeuge» zur Umsetzung der aufgezeigten Techniken gedacht.

Dieses Handbuch ist eine Ergänzung zum Weiterbildungskurs über Beleuchtung des RAVEL-Programms und soll das Basisheft «Beleuchtungsgrundlagen» erweitern.

■ Aufbau des Heftes

Im Schlussteil angefügt ist das Literaturverzeichnis (die entsprechenden Hinweise sind jeweils in zwei Schrägstriche gefasst, z.B. /4/).

Im weiteren 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 Visuelle Ergonomie am Büroarbeitsplatz

2.1	Eigenschaften von Bildschirmarbeitsplätzen	13
■	Aktuelles Umfeld	13
■	Besondere Merkmale der Arbeit am Bildschirm	15
2.2	Empfehlungen für Bildschirmarbeitsplätze	19
■	Beleuchtungsstärke	19
■	Leuchtdichteverteilung	19
■	Tageslicht	20
■	Kunstlicht	22
2.3	Empfehlungen für allgemeine Büroarbeiten	24



2 Visuelle Ergonomie am Büroarbeitsplatz

Betreffend den Sehaufgaben am Arbeitsplatz soll folgendes kurz wiederholt werden:

Beleuchtungsprobleme sind nicht nur in Anbetracht von visuellen Ansprüchen und physiologischen Gegebenheiten des Arbeitsplatzes zu behandeln. Ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Aspekt, könnte man als «Sicht-Hygiene» bezeichnen. Es handelt sich dabei um die harmonische Vereinigung des quantitativen und des qualitativen Aspekts des Lichtes, welche gemäss der Weltgesundheitsorganisation (WHO, gemäss Hentschel, 1972), einen positiven Einfluss auf die Gesundheit hat. Wobei mit Gesundheit nicht nur das Ausbleiben von Krankheiten gemeint ist, sondern auch das Wohlbefinden am Arbeitsplatz.

Diese immer noch aktuelle Feststellung bedeutet, dass ein wirklich ergonomisches Vorgehen nur dann gewährleistet ist, wenn alle betroffenen Faktoren in den Lösungsansatz miteinbezogen worden sind. Dieses Vorgehen wiederum bedeutet aber auch, dass manchmal grundsätzlich verschiedene Ansichten in Betracht gezogen werden müssen.

2.1 Eigenschaften von Bildschirmarbeitsplätzen

■ Aktuelles Umfeld

Es ist heute unvorstellbar, sich die Allgegenwart des Bildschirms aus unserer Arbeitswelt wegzudenken. Die Verbreitung dieses Arbeitswerkzeugs in den verschiedensten Gebieten (Verwaltungen, Banken, Telekommunikation, Transport, usw.) war schlicht gesehen unglaublich: In der Schweiz zählte man im Jahre 1975 ungefähr 30'000 Bildschirme, heute sind es mehr als 1 Million /1/.

Die Bildschirme sind im allgemeinen verschiedensten Aktivitäten zugeordnet:

- Textverarbeitung und Buchhaltung
- «Computer Integrated Manufacturing»; CIM
- «Computer Aided Design»; CAD.



Bild 2.1:
Bildschirmarbeitsplätze

Der Bildschirm ist eigentlich eine Vorrichtung, die es erlaubt beliebige Informationen zu visualisieren (siehe Bild 2.2). Diese Informationen werden meistens von einer Bildröhre (Cathode Ray Tube: CRT) oder neuerdings auch von Flüssigkristall-Anzeigeelementen angezeigt.



Bild 2.2:
Informationsvisualisierung

Der Bildschirm wiederum ist mit einem Computer verbunden. Die Daten werden über eine Tastatur oder mit einer Maus in das System eingegeben.



Diese Einheit gehört heute in der Regel genau so zum Arbeitsplatz wie ein Pult oder ein Stuhl (siehe Bild 2.1).

Ihren verschiedenen Ansprüchen wegen können zwei Aktivitäten am Bildschirm unterschieden werden:

- Die Dateneingabe
- Die Arbeit im Dialog-Modus.

Im untenstehenden Kästchen sind die charakteristischen Merkmale dieser zwei Aktivitäten aufgeführt.

Dateneingabe

- Im allgemeinen monotone Arbeit, die eine grosse Konzentrationsfähigkeit verlangt.
- Steife und fixierte Kopfstellung.
- Blick meistens auf das zu erfassende Dokument gerichtet mit momentaner Verlagerung des Blickfeldes auf den Bildschirm .
- Belastung des Sehvermögens hauptsächlich durch schlechte Lesbarkeit des Dokuments oder eventuelle Spiegelungen auf der Arbeitsfläche.

Dialog-Modus

- Abwechslungsreiche Arbeit, die eine grosse Konzentrations- wie auch Reaktionsfähigkeit verlangt.
- Weniger Tendenz zu versteifter Haltung.
- Blick hauptsächlich auf den Bildschirm gerichtet.
- Belastung des Sehvermögens hauptsächlich durch Lesbarkeit der Bildschirmoberfläche bestimmt.

Besondere Merkmale der Arbeit am Bildschirm

Folgende Punkte unterscheiden eine herkömmliche Büroarbeit von der an einem Bildschirm absolvierten Leistung:

- Die Informationen erscheinen hauptsächlich auf vertikaler Ebene (bei sonstiger Büroarbeit meist horizontal).
- Zahlen und Ziffern werden auch heute noch oft hell auf dunklem Hintergrund dargestellt.
- Das Blickfeld ist durch die Arbeitsposition (sitzend) und die feste Ausrichtung des Bildschirms begrenzt.
- Der schnelle Informationsfluss wie auch die unvermeidlichen Wartezeiten belasten das Nervensystem stark.

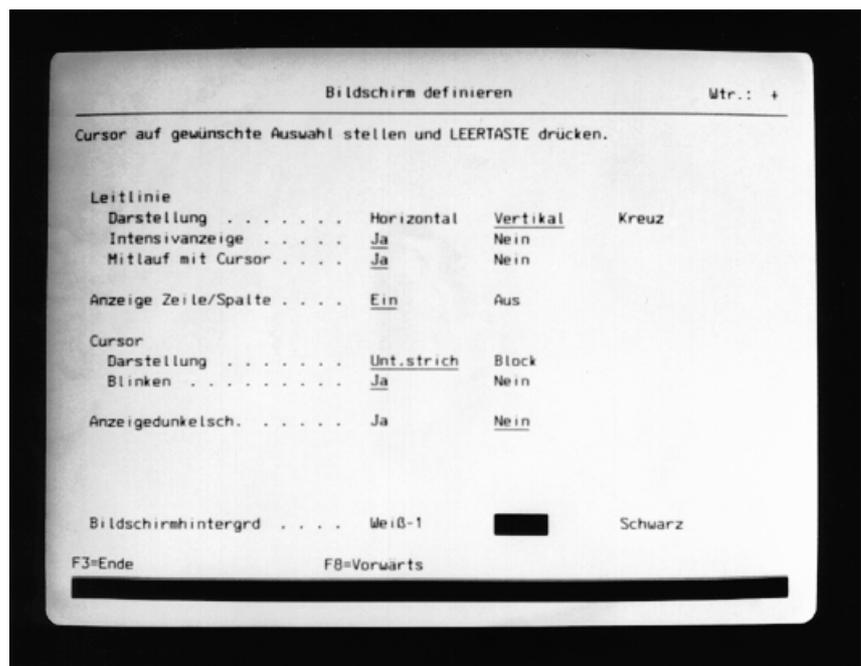
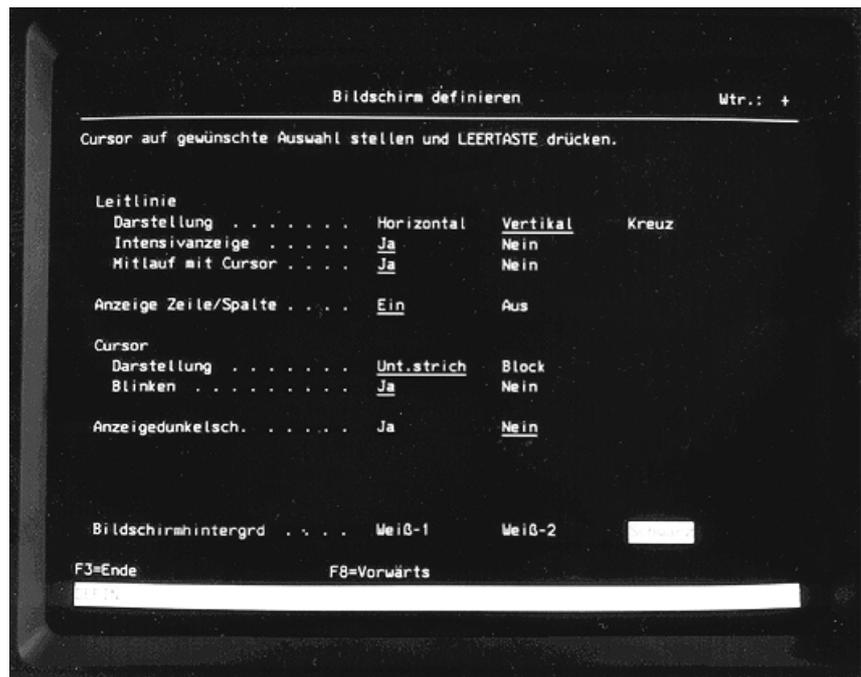


Bild 2.3:
Zeichenwiedergabe auf dem Bildschirm:
Negativkontrast (unten) und Positivkontrast (oben). Der Positivkontrast belastet das Sehsystem in der Regel mehr.

Der Sehapparat ist zweifelsohne das meist belastete Organ bei einer Arbeit am Bildschirm. Verschiedene Beschwerden treten bei Bildschirmarbeit immer wieder auf. Es handelt sich hierbei um Unannehmlichkeiten wie Kopfschmerzen, Augenbrennen, tränende Augen, usw. Diese Beschwerden unterscheiden sich zwar nicht von denen, die auch am Arbeitsplatz ohne Bildschirm auftreten können, sind aber am Bildschirm weit häufiger festgestellt worden.



Gewisse Augenbeschwerden haben ihren Ursprung in den Störgrößen, welche zusätzlich bei der Sehaufgabe am Bildschirmarbeitsplatz auftreten können:

- Größere Adaptationskriterien (Distanzen und Leuchtdichten wechseln ständig).
- Direkte und indirekte Blendung (Blendung durch Leuchten oder Spiegelungen auf dem Bildschirm).
- Ungünstige Zeichenform auf dem Bildschirm.
- Mangelhafte Schärfe und ungenügender Kontrast der Zeichen.
- Flimmern des Bildschirms.

Verschiedene Fortschritte in der Bildschirmtechnik haben es möglich gemacht, den Einfluss einer gewissen Anzahl dieser Punkte zu verringern. Die nachstehende Tabelle fasst diesbezüglich die wichtigsten technischen Eigenschaften zusammen, die ein heutiger Bildschirm vom ergonomischen Standpunkt aus erfüllen sollte.



Parameter	Optimale Gestaltung	Haupteffekt
Bildschirm		
Abmessungen	Dem Arbeitsplatz angemessen	Buchstaben im ganzen Arbeitsbereich lesbar
Wölbung	Bildschirm so flach wie möglich	Verringerung der Spiegelungen, die von nahe gelegenen Lichtquellen ausgelöst werden
Mobilität	Neigbar und schwenkbar, horizontal und vertikal bewegbar	Optimale, den Anforderungen des Arbeitsplatzes entsprechende Platzierung
Gehäuse	Matte Flächen neutraler Farbe	Geringe Leuchtdichte des Gehäuses im Vergleich zu denjenigen des Bildschirmhintergrunds und des Dokumentes
Glasoberfläche	Behandlung der Fläche mit polarisierenden Filtern	Eliminierung der Spiegelungen ohne Dämpfung der Ziffern
Symbole		
Darstellung	Positiv (schwarze Ziffern auf hellem Hintergrund) mit hoher Bilderneuerungsrate (90 Hz)	Reduktion der visuellen Adaptationslast (Leuchtdichteunterschied zwischen Bildschirm und Dokument verkleinert) und kein Flimmern
Kontrast	Leuchtdichteverhältnis Ziffern-Bildschirm zwischen 6 und 10 (Leuchtdichte der Ziffern = 100 Cd/m ²)	Genügende Lesbarkeit, keine Sehmüdigkeit
Farbe	Helle Pastell-Farben (Bildschirm)	Reduktion der visuellen Adaptationslast (keine reinen Farben)
Abmessungen	Minimalhöhe Ziffern = 3–4 mm (Sichtdistanz = 60–80 cm)	Leichtes Lesen (Sichtwinkel von 25°)
Verhältnisse	Verhältnis Breite-Höhe zwischen 3 und 4 (Strichdicke = 15% der Höhe, Leerraum = 15–20%)	Bestmögliches Lesen
Stabilität	Hohe Bildaufbauzeit, angemessene Remanenzzeit	Kein Flimmern

Bild 2.4:
Technische Merkmale eines optimierten
Bildschirmes



2.2 Empfehlungen für Bildschirmarbeitsplätze

Alle Komponenten eines Bildschirmarbeitsplatzes sind wichtig vom Standpunkt der visuellen Ergonomie aus gesehen. Es gilt jedoch die Beleuchtungsprobleme der Räumlichkeiten von denen der Anordnung des Arbeitsplatzes zu unterscheiden.

Verschiedene Merkmale dieser beiden Punkte sollen im folgenden kurz betrachtet werden:

■ Beleuchtungsstärke

Zwei Hauptfunktionen mit sich widersprechenden Anforderungen an die Beleuchtung, müssen am Bildschirmarbeitsplatz (meist mit einem System) erfüllt werden:

- Lesbarkeit des Arbeitsdokumentes und der Tastatur (erfordert eine grosse horizontale Beleuchtungsstärke).
- Kenntnisnahme der Informationen auf dem Bildschirm (erfordert eine minimale vertikale Beleuchtungsstärke, um einen maximalen Kontrast zwischen Zeichen und Bildschirm zu ermöglichen).

Die optimierte Anforderung an die Beleuchtung, welche nun aus diesen Punkten abgeleitet werden kann, ist folgende:

- Horizontale Beleuchtungsstärke zwischen 300 und 500 Lux (Leuchtdichte des Dokuments ca. 80–150 cd/m²)
- Vertikale Beleuchtungsstärke zwischen 100 und 200 Lux (Leuchtdichte der Bildschirmzeichen ca. 100 cd/m²).

Höhere Beleuchtungsstärken (bis zu 1'000 Lux) sollten bei Bildschirmarbeitsplätzen nur für sehr kurze Zeiten auftreten.

■ Leuchtdichteverteilung

Unterschiedliche Leuchtdichtewerte im Blickfeld beanspruchen das gesamte Sehsystem, da eine konstante Anpassung des Auges daraus resultiert. Es ist daher wünschenswert, dass diese Werte im Arbeitsblickfeld nur mässig differieren:

siehe Kapitel 2 im Heft «Grundlagen der Beleuchtung»

- Im Ergorama sollen diese Schwankungen ein Verhältnis von 1 : 3 nicht überschreiten.
- Im Panorama sollte dieses Verhältnis kleiner sein als 1 : 10.
- Im gesamten Raum sollte das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Leuchtdichte das Verhältnis 1 : 40 nicht übersteigen.

Diese Anforderungen betreffen besonders den Bildschirm und das Arbeitsdokument, sowie auch den Hintergrund des Bildschirms und des Dokumentes. Bild 2.5 veranschaulicht zwei gegenteilige Situationen vom Standpunkt der Leuchtdichte aus gesehen: die erste ist befriedigend, die zweite ungenügend.



■ Tageslicht

Die vom Tageslicht gegebene Beleuchtungsstärke variiert sehr stark und kann in gewissen Fällen in Fensternähe bis zu 20'000 Lux betragen. Das Tageslicht stellt demzufolge ein ganz spezielles und eigenes Problem dar für Bildschirmarbeitsplätze.

Grundsätzlich gilt es, folgende Punkte zu beachten:

- Kein Fenster hinter oder vor dem Bildschirm.
- Die Hauptblickrichtung muss parallel zu der Fensterfront verlaufen.
- Die Bildschirme müssen in Zonen platziert werden, die möglichst weit von den Fenstern entfernt liegen.
- Ein äusseres Sonnenschutzsystem mit thermischer und auch optischer Wirkung soll den Tageslichteinfluss steuerbar machen (z.B. Lamellenstoren).
- Bei uneffizienten Aussensonnenschutzsystemen müssen Innenvorhänge angebracht werden (z.B. Storen aus Stoff). Diese Vorhänge müssen aus engmaschigem Stoff gefertigt und so hell wie möglich sein.



	links	rechts
Bildschirm / Dokument	1:3	1:50
Bildschirm / Arbeitsfläche	1:5	1:25
Bildschirm / Umgebung	1:15	1:400

Bild 2.5:
Gute (links) und schlechte (rechts)
Leuchtdichteverteilung.
Die Zahlen in den Kreisen geben die
jeweiligen Leuchtdichtewerte in cd/m^2
an.

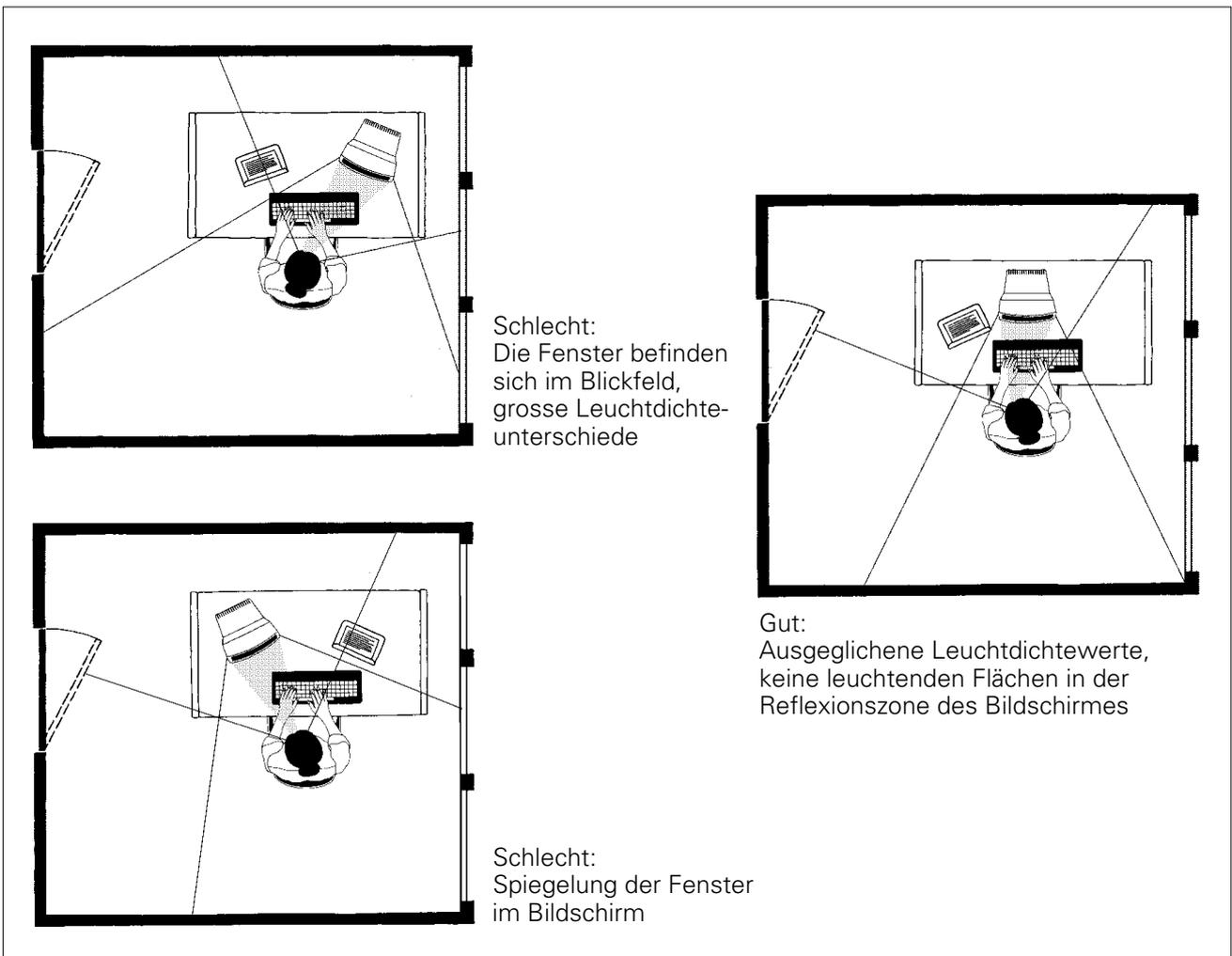


Bild 2.6:
Anordnung des Bildschirmarbeitsplatzes
bei Fenstern



■ Kunstlicht

Die Beleuchtungskörper müssen so angeordnet sein, dass störende Spiegelungen auf der Bildschirmoberfläche möglichst vermieden werden.

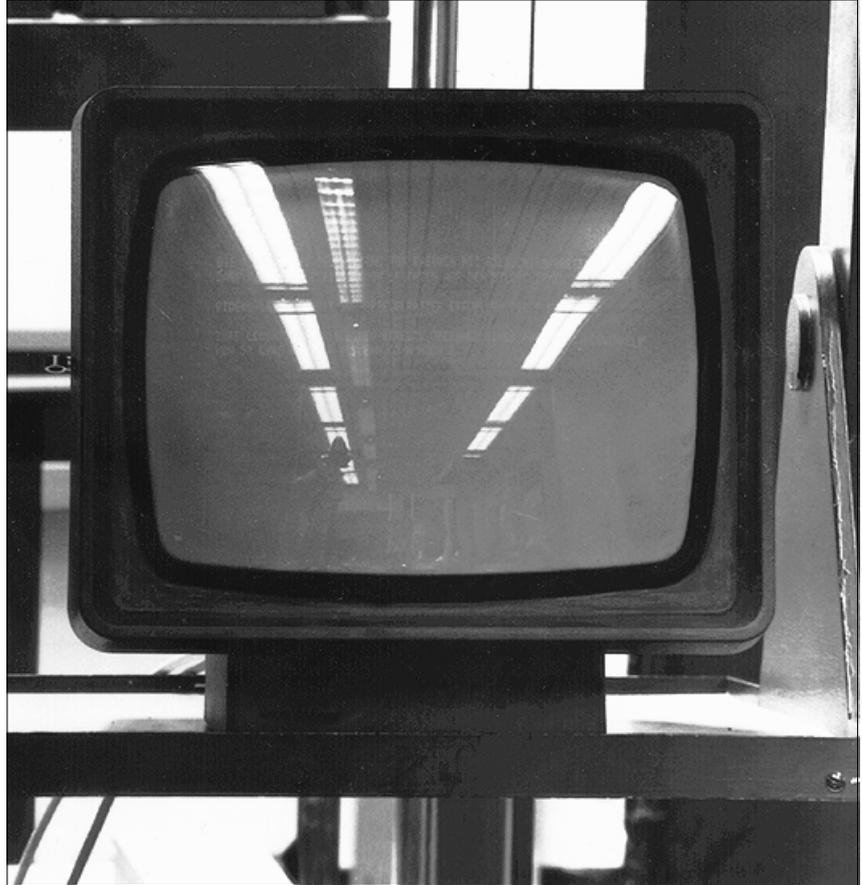


Bild 2.7:
Spiegelung der Leuchten auf dem Bildschirm

Eine überlegte Wahl der Beleuchtungskörper und deren abgewogene Anordnung führen zu diesem Ziel. Konkret heisst dies, dass folgende Punkte beachtet werden müssen :

- Bei direktstrahlenden Beleuchtungskörpern solche mit geeigneten Spiegelrastern oder Diffusoren wählen (Direktbeleuchtung, siehe Bild 2.8).
- Nach Möglichkeit Beleuchtungskörper parallel zur Fassade anordnen (siehe Bild 2.9).
- Direktstrahlende Beleuchtungskörper so anordnen, dass der Austrittswinkel des Lichtes aus der Leuchte 60° nicht wesentlich übertrifft (Leuchtdichte der Leuchte sollte bei diesem Winkel kleiner sein als 200 cd/m^2).
- Indirektbeleuchtung vorziehen (helle Decke und Wände).
- Lichtquellen der Lichtfarbe «Neutralweiss» oder «Warmweiss» benutzen.



Bild 2.8:
Vergleich einer speziellen Bildschirm-
arbeitsplatzleuchte (BAP, «dark light»)
mit einer Leuchte mit herkömmlichem
Raster.

Bild 2.9 zeigt die optimale Anordnung eines Bildschirmarbeitsplatzes mit einem Fenstersystem mit Aussensonnenschutz und Innenvorhängen, mit einem Beleuchtungssystem von Parallelleuchtenreihen zur Fassade und einer Pultdisposition, welche die Hauptblickrichtung parallel zur Fassade verlaufen lässt.

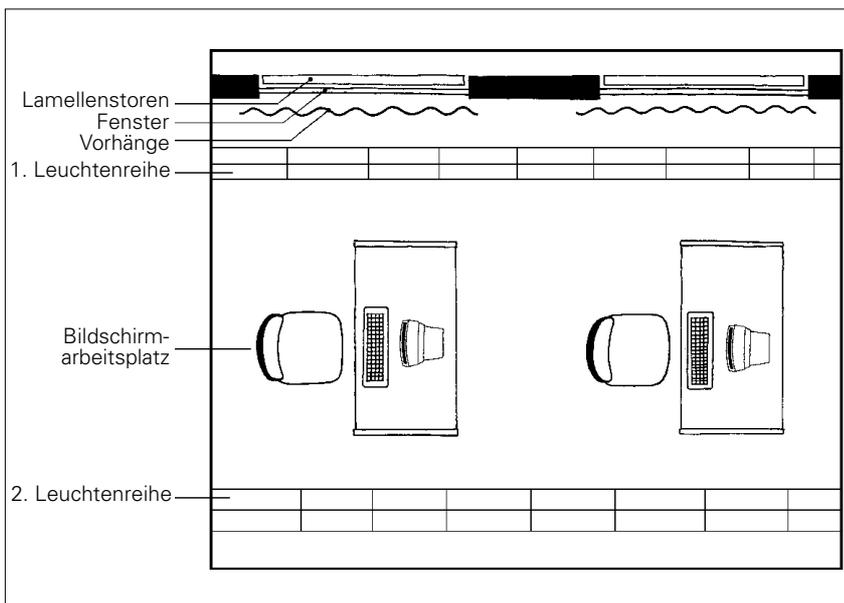


Bild 2.9:
Optimierte Anordnung der Arbeitsplätze
bei Kunst- und Tageslicht



2.3 Empfehlungen für allgemeine Büroarbeiten

Die hauptsächlichen Büroarbeiten, bei welchen kein Bildschirm gebraucht wird, sind Lese- und Schreibprozesse sowie auch die Anfertigung von Zeichnungen. Die Beleuchtungsanforderungen in diesem Fall basieren auf folgenden Anschauungen:

- Die Sehaufgaben spielen sich auf horizontaler Ebene (Lesen, Schreiben, Zeichnen) oder auf vertikaler Ebene (Kästen, Bibliotheken, Zeichnungsbretter) ab.
- Sie begrenzen sich auf ein relativ kleines Blickfeld (Zusätzliche spezifische Objektbeleuchtung möglich).
- Die horizontalen Arbeitsflächen haben oft eine einheitliche Höhe von 75 cm.

Aus diesen Voraussetzungen lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

Empfehlungen für Schreib-, Lese- und Zeichnungsarbeiten

Beleuchtungsstärke

Normale Büroarbeit:	300–500 Lux (300 Lux bei hohem Tageslichtanteil)
Technisches Zeichnen:	750 Lux

Leuchtdichten

Wände:	50–100 cd/m ²
Decke:	100–300 cd/m ²
Arbeitsfläche:	100–300 cd/m ²

Farbtemperaturen

«Warmweiss» oder «Neutralweiss»

Diese Empfehlungen gelten auch für die Schrägpositionen der Zeichnungsbretter, wobei es allgemein noch zu beachten gilt, dass:

- keine Spiegelungen auf der Arbeitsfläche auftreten sollten (entsprechende Position der Zeichnungsbretter zu Leuchten bzw. Fenstern und grundsätzlich matte Oberflächen);
- keine störenden Schattenbilder auf der Arbeitsfläche entstehen (Bevorzugung grossflächiger Leuchten).

Empfehlungen, die sich auf die beschriebenen Büroaktivitäten beziehen und auch für gewisse andere Beschäftigungen Gültigkeit haben, werden in regelmässig erscheinenden Veröffentlichungen dokumentiert und wenn nötig erweitert oder angepasst /1/, /3/, /4/, /5/, /6/.



3 Tageslichtnutzung

3.1	Allgemeine Bemerkungen	27
3.2	Die Baustoffe und das Licht	29
■	Fensterglas	29
■	Durchscheinende Baustoffe	32
■	Baustoffe für Wände	34
3.3	Studie von verschiedenen Öffnungssystemen	37
■	Allgemeines	37
■	Die Ausfachungen	37
■	Die Fassadenöffnungen	38
■	Die Dachöffnungen	45
■	Horizontale Öffnungen	45
■	Atrien	49
■	Vertikale Öffnungen	50
■	Lichtkamine	51
3.4	Entscheidungshilfen	54
■	Tabellen	54
■	Modelle	54
■	Messungen	57
■	Messungen im Freien	57
■	Messungen unter künstlichem Himmel	59
■	Messungen mit dem Heliodon	60
■	EDV-Programme	60
3.5	Praktisches Beispiel	63
■	Tageslichtsystem Pathologisches Institut, Universität Bern	63
■	Tageslichtsystem Pathologisches Institut, Universität Bern, Raum 174	64
■	Tageslichtsystem Pathologisches Institut, Universität Bern, Raum 576	65
■	Hauptmerkmal	66



3 Tageslichtnutzung

3.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Beleuchtung von Räumlichkeiten mit Tageslicht bringt viele Vorteile, einerseits für den Benutzer (psychologischer Einfluss), andererseits aber auch für den Energieverbrauch. Diese Wahl ist jedoch mit einem gewissen «Risiko» verbunden, da der grosse zur Verfügung stehende Lichtstrom Blendungen und somit visuelle Beschwerden hervorrufen kann (übermässiger Kontrast, Spiegelungen usw.).

Wie in Kapitel 2 ersichtlich ist, müssen der Standpunkt und die Ausrichtung des Arbeitsplatzes, die Lichtrichtung und die Verteilung der Leuchtdichten im Blickfeld berücksichtigt werden. Das heisst natürlich, dass in jedem Raum der Standort des Arbeitsplatzes mit grösster Sorgfalt bestimmt werden sollte, um visuellen Störungen oder Beschwerden vorzubeugen.

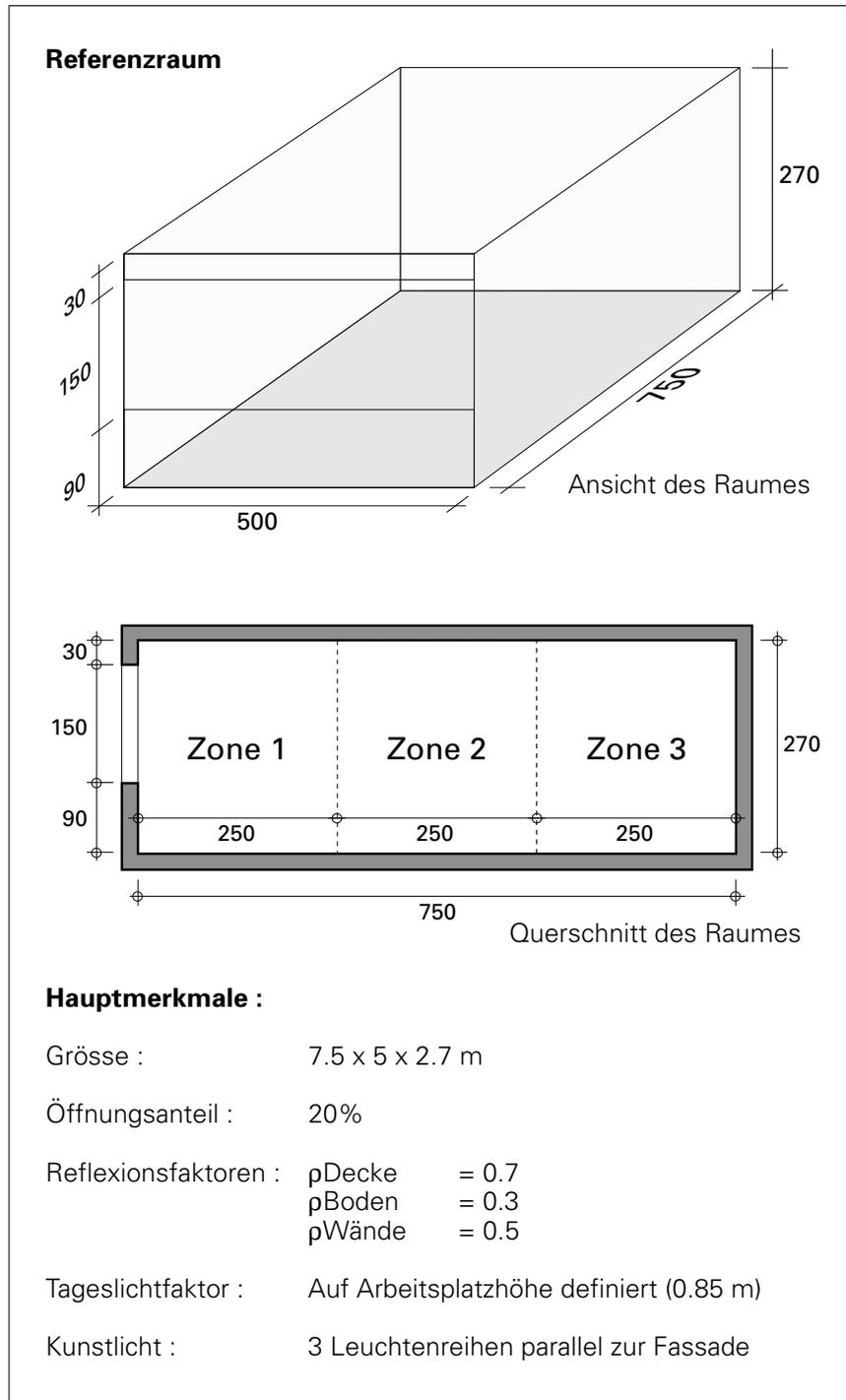
In diesem Kapitel wird aber nicht nochmals auf die Anordnung des Arbeitsplatzes eingegangen. Thema ist das Eindringen des Tageslichtes durch allfällig zu schaffende Öffnungen. Das Lernziel dieses Kapitels soll sein, die Qualitäten unterschiedlicher Tageslichtöffnungen beurteilen zu können.

Unter dem Kennwort Qualitäten wird zuerst die Eigenschaft einer Öffnung, diffuses Licht in die Raumtiefe eindringen zu lassen, betrachtet. Danach werden die Möglichkeiten geprüft, unerwünschte Sonneneinstrahlung zu vermeiden (Direktlicht).

Zu diesem Zweck werden nachstehend einige Basisparameter für einen typischen Büroraum mit Fenster wiederholt:

- Glasqualität
- Wandoberfläche
- Proportion der Öffnung

Der nachfolgend definierte Raum (Beispiel 1) ist in drei zufällig bestimmte Zonen aufgeteilt worden, um die potentiellen Energieeinsparungen bei intensiver Tageslichtnutzung aufzuzeigen. Diese Analyse wurde anhand des Programms «ADELINE» /7/ erstellt. Die äusseren Lichtbedingungen entsprechen einem gleichmässig bedeckten Himmel.





3.2 Die Baustoffe und das Licht

Bevor wir von den Öffnungen sprechen, untersuchen wir den Zusammenhang und den gegenseitigen Einfluss von Baustoffen und Licht. So werden wir im folgenden die gebräuchlichsten Materialien, durch die das Licht von aussen in ein Gebäude fällt, betrachten, um uns anschliessend den Wandoberflächen zu widmen.

■ Fensterglas

Allgemeines

Transparenz ist eine sehr wichtige Qualität, da sie Sichtkontakt zwischen dem Gebäudeinnern und der Umwelt erlaubt. Damit Transparenz gewährleistet ist, sollten die einfallenden Lichtstrahlen nur wenig reflektiert werden.

Klarglas

Standardglas von 6 mm Dicke lässt mehr als 90% des Lichts durch ($\tau = 0.92$). Standardisierte Doppelverglasungen haben einen Transmissionsfaktor von ca. 84% ($\tau = 0.84$). Es ist festzuhalten, dass Selektivverglasung (Infrarot-Spiegel) sich farbmassig nicht mehr wesentlich von klassischer Verglasung unterscheidet (kein Farbzerfall).

Verspiegeltes Glas

Unzählige verspiegelte Glasarten und verspiegelte Plastikfolien werden auf dem Markt angeboten (siehe Bild 3.1). Die verspiegelten Glasarten sind in den letzten Jahren in Neubauten immer häufiger verwendet worden, wobei die Folien eigentlich eher im Sanierungswesen Anwendung finden.

Diese beiden Lösungen werden oft zur Verminderung des Effekts direkter Sonneneinstrahlung verwendet und reduzieren dadurch auch die Tageslichtnutzung. Dieses fehlende Tageslicht muss dann jedoch meistens durch Kunstlicht ersetzt werden und das Problem des Wärmeüberflusses bleibt bestehen, insbesondere bei Ost- und West-Fassaden. Tatsächlich ist der Anteil des reflektierten Lichtstroms selten grösser als 45 %, d. h., dass der Transmissionsfaktor ca. 40% beträgt ($\tau = 0.4$): die eindringende Sonnenenergie ist somit zu hoch.

Dazu kommt noch, dass die Dämpfung zu klein ist, um Blendungen zu verhindern und dies wiederum macht Storen unerlässlich. Es gibt also mehrere Gründe, von dieser Art von Verglasungen abzuraten.



VERGLASUNG	τ_{total}	τ_{rot}	$\tau_{\text{grün}}$	τ_{blau}	τ_{diffus}	τ_{direkt}
Klar, 4 mm	0.933	0.926	0.941	0.920	0.000	0.933
Float, 3 mm	0.927	0.909	0.924	0.904	0.000	0.927
Float, 6 mm	0.922	0.902	0.927	0.907	0.000	0.922
Granulat, 6 mm	0.910	0.902	0.927	0.907	0.358	0.552
Gehämmert, 4 mm	0.919	0.918	0.918	0.918	0.181	0.738
Sekurit, 8 mm	0.908	0.902	0.927	0.907	0.000	0.908
Armirt, 7 mm	0.848	0.829	0.892	0.843	0.028	0.820
Armirtes Glas, 6.5 mm	0.819	0.738	0.917	0.795	0.002	0.817
Diaplust, 6 mm	0.805	0.797	0.811	0.766	0.002	0.803
Antelio hell grau, 6 mm	0.437	0.416	0.459	0.419	0.000	0.424
Antelio hell braun, 6 mm	0.424	0.441	0.429	0.332	0.000	0.424
Parsol bronze, 10 mm	0.341	0.367	0.358	0.266	0.000	0.341

Bild 3.1:
Transmissionsgrad verschiedener Glas-
typen (EPF-Lausanne)

Getöntes Glas

Getöntes Glas besitzt die Eigenschaft, einen Teil des einfallenden Lichtstroms zu absorbieren. Vom thermischen Standpunkt aus ist diese Tatsache nicht interessant, weil die Wärme nicht nach aussen reflektiert wird wie im vorhergehenden Fall. Das Glas erwärmt sich und verhält sich somit wie eine Heizung, die mithilft, die Raumtemperatur anzuheben.

Am häufigsten verbreitet sind die Farbtöne braun und grün (siehe Bild 3.1). Grüne Verglasung filtert Strahlung sehr gut, schafft aber gleichzeitig eine kalte Lichtatmosphäre. Bei bedecktem Wetter fühlen sich die Benutzer dadurch versucht, mit Einschalten der Beleuchtung die Atmosphäre «aufzuwärmen».

Allgemein muss also festgestellt werden, dass die Anwendung von getönter Verglasung zu vermehrtem Gebrauch von Kunstlicht führt, da die Tageslichtnutzung verringert wird.

Es kann bemerkt werden, dass die Färbung des Tageslichtes durch die Verglasung kaum wahrnehmbar ist, sofern diese in gegebenem Raum einen einheitlichen Farbton aufweist. Die Verwendung von mehreren Farbtönen bei der Verglasung in einem Raum hingegen führt zu Verwirrung und schadet der Wahrnehmung der Farben im Raum selbst.

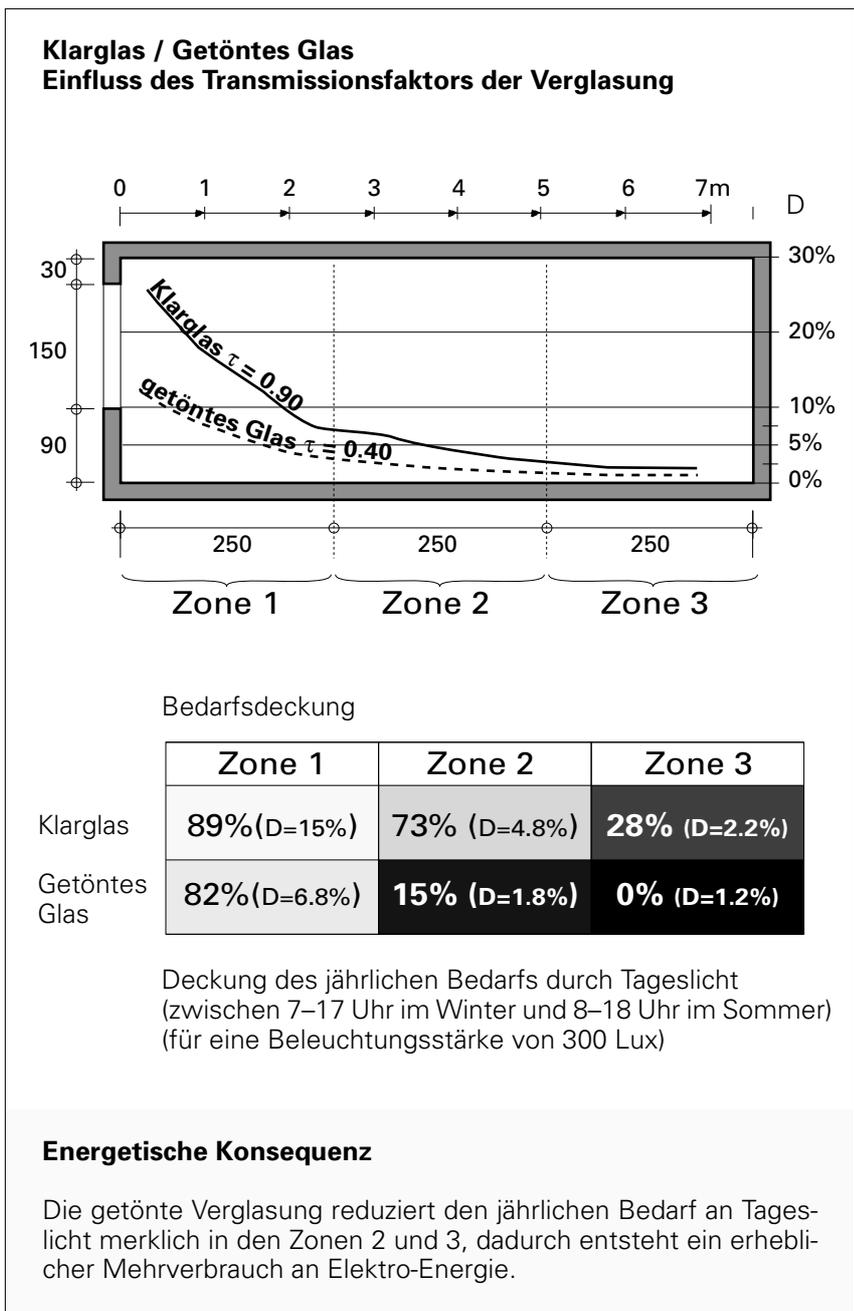


Bild 3.2: Vergleich der Eigenschaften zwischen klarem und getöntem Glas

Die Verwendung von grün getönter Verglasung kann manchmal das Kunstlicht leicht rosarot erscheinen lassen (Komplementärfarbe).

Bild 3.2 zeigt den Einfluss einer getönten oder verspiegelten Verglasung auf die Lichtverteilung im Raum (Transmissionsfaktor von 40%). Der grosse Unterschied zwischen den durchschnittlichen Tageslichtfaktoren ist typisch und vielsagend. Das in Zone 3, also im hinteren Teil des Raums zur Verfügung stehende Licht, ist nur noch halb so gross. Dieser Teil des Raums ist demnach völlig von künstlicher Beleuchtung abhängig.

Durchsichtige Isolation

Neueste Technologien erlauben es, durchsichtige Baustoffe mit einer Isolationskapazität zu konstruieren, die traditionellen, lichtundurchlässigen Mauersystemen mit Glasfaserisolation ebenbürtig sind (k-Wert = 0.7

siehe auch Bild 3.5



W/m²K für eine Dicke von 30 mm). Trotz dieser Dicke bleibt der Transmissionsfaktor solcher Isolationen relativ hoch.

Diese Produkte, «Aerogel» genannt, bestehen aus mikroskopisch kleinen Luftblasen, die ca. 90% des Volumens ausmachen, was wiederum erklärt, warum die Wärmetransmission so schlecht, bzw. die thermische Isolation so gut ist. Der Durchmesser einer solchen Luftblase ist kleiner als die Wellenlänge der sichtbaren Strahlung: dadurch ist die Transparenz hoch. Da dieser Baustoff sehr leicht, d.h. zerbrechlich ist, muss er zwischen zwei Glasplatten fixiert werden.

Mehrere aktuelle Studien sollen in Zukunft dazu führen, dass die heute erst in 20 x 20 cm grossen Dimension erhältlichen Elemente auch in grösseren Dimensionen im Baugewerbe angewendet werden können. Wie wir im folgenden sehen werden, gibt es noch andere Produkte mit ähnlich guten Eigenschaften: dabei handelt es sich aber um undurchsichtige Materialien.

■ Durchscheinende Baustoffe

Allgemeines

In einer gewissen Anzahl von Fällen sucht man die Tageslichtnutzung und verzichtet dabei auf die Transparenz zwischen dem Gebäudeinneren und der Aussenwelt. Die dazu verwendbaren Baustoffe nennt man undurchsichtig, opal oder diffusierend. Allgemein ist anzufügen, dass das Fehlen von Transparenz von den betroffenen Raumbenützern sehr negativ aufgefasst wird. Wenn immer möglich, sollte ein direkter Blickkontakt zur Aussenwelt geschaffen werden.

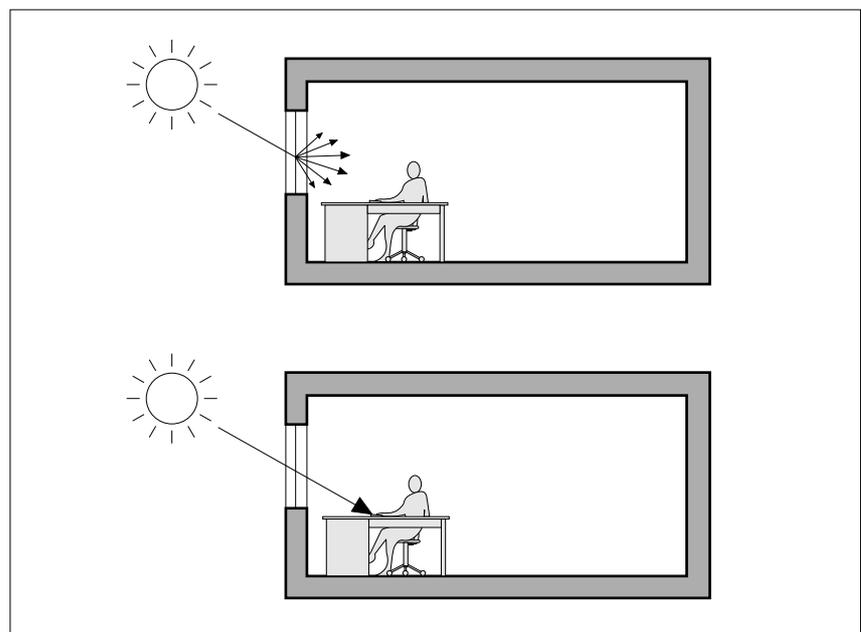


Bild 3.3:
Prinzip der Lichtverteilung bei diffusem Fenster

Ganz allgemein lässt sich festhalten, dass der Transmissionsgrad von diffusierenden Baustoffen in der Regel geringer ist als derjenige von durchsichtigen (Werte meistens unter 65%). Die diffuse Lichtverteilung kann jedoch dazu dienen, direktes Sonnenlicht von der Arbeitsfläche fernzuhalten (siehe Bild 3.3). Bei gleichem Transmissionsfaktor verteilt der diffusierende Baustoff das Licht besser als der durchsichtige.



Die Lösung mit diffusierenden Baustoffen ist nicht immer problemlos anwendbar, da unerwünschte Effekte auftreten können, wie zum Beispiel starke Blendung bei direkter Sonneneinstrahlung.

Eine Vielzahl opaler Produkte werden heutzutage angeboten:

Glasprodukte

Mattglas, gehämmertes Glas und armiertes Glas haben dieselben thermischen Eigenschaften wie die durchsichtigen Glasprodukte. Ihr Einsatz wird oft durch Kriterien wie «Privatsphärenhalt» oder «Sicherheit gegen äussere Einflüsse» bestimmt. Diesbezüglich sind sie weniger günstig einzuschätzen als Klarglas-Produkte mit vorgesetzten Aussenstoren.

Synthetische Produkte

Zellenartige Baustoffe haben zwei hauptsächliche Vorteile gegenüber Glasprodukten:

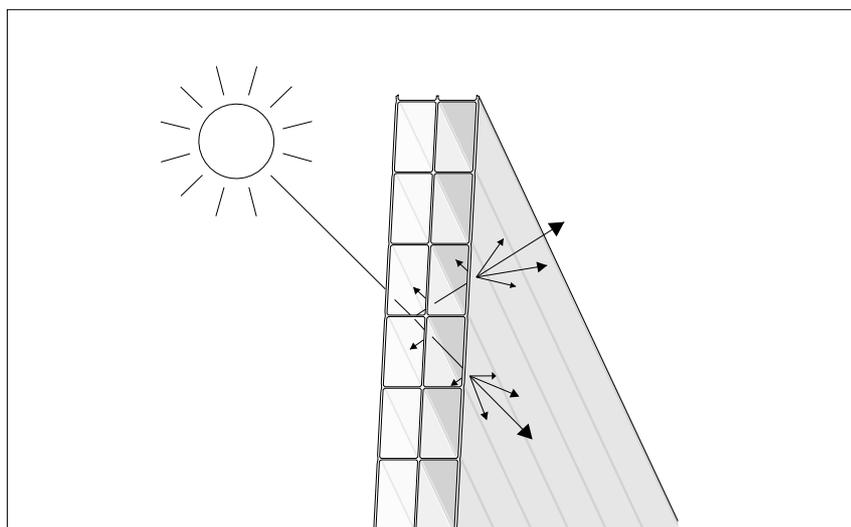
- Sie zeichnen sich durch eine geringere thermische Leitfähigkeit aus, weil sie die Konvektion der Luft verringert. Sie verfügen deshalb über bessere Isolationswerte als eine klassische Doppelverglasung (k -Wert = $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ im Vergleich zu $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ für eine selektive Doppelverglasung).
- Je nach Verwendungsart können sie die Lichtverteilung so verbessern, dass hinteren Raumzonen mehr Tageslicht zufällt.

Durchscheinende Isolation

Diese Bezeichnung umschreibt neue Produkte, die die Eigenschaft besitzen, das Licht diffus zu streuen und dazu noch eine geringe thermische Leitfähigkeit aufweisen. Es seien hier nur ein paar wenige genannt: Polymethylmetacrylat-Schaum (PMMA), Glasfasern, «Bienenwaben»-Polycarbonat, kapillare Strukturen, Aerogel-Kugeln.

siehe Bild 3.4 und 3.6

Wie auch bei den durchsichtigen Isolationen, müssen die opalen Baustoffe zwischen entsprechender Verglasung geschützt werden. Der Transmissionsfaktor dieser Produkte in Abhängigkeit deren Dicke ist im Bild 3.5 dargestellt. Zu Informationszwecken haben wir die Eigenschaften der durchsichtigen Aerogel-Isolation in die gleiche Graphik aufgenommen.



*Bild 3.4:
Lichtstreuung durch eine Isolationsplatte*

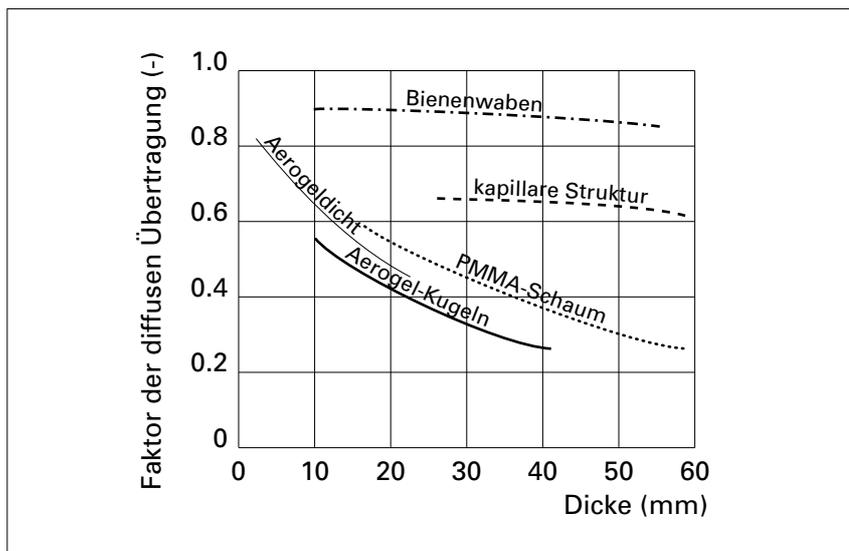


Bild 3.5:
Diffuser Transmissionsfaktor in Funktion
der Materialdicke durchscheinender Iso-
lation

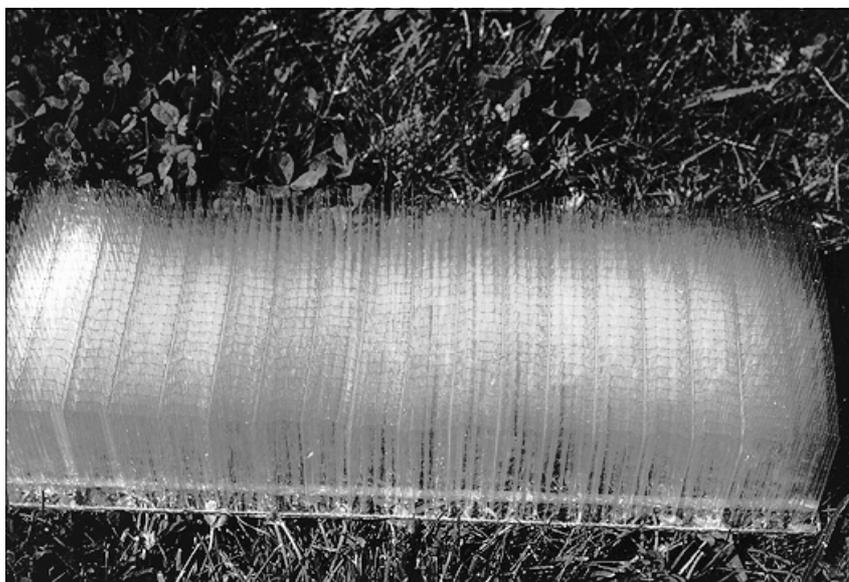


Bild 3.6:
Beispiel einer durchscheinenden Iso-
lation

■ Baustoffe für Wände

Allgemeines

Die Reflexionsfaktoren der Baustoffe, welche die Wandoberfläche bilden, sind für die Verteilung des Lichtes von grösster Wichtigkeit. Bild 3.7 zeigt für ein gegebenes Lokal ($L = 7.5 \text{ m}$, $B = 5 \text{ m}$, $H = 2.7 \text{ m}$), den Verlauf des Tageslichtfaktors auf der Arbeitsfläche in Abhängigkeit der Reflexionsfaktoren der verschiedenen Wände:

- Die Linie «7-5-3» steht für den Fall, bei welchem der Reflexionsfaktor der Decke 70%, derjenige der Wände 50% und derjenige des Bodens 30% beträgt. Dieser Zustand wird allgemein als «gerade noch zulässige Limite» für Räumlichkeiten des Dienstleistungssektors angesehen.
- Die Linie «7-7-7» steht für den Fall, wo alle Wände einen Reflexionsfaktor von 70% aufweisen, was einem sehr weissen Raum entspricht (Reflexionsfaktor von Gips = 70%). Dieser Zustand wird allgemein als «Ziel-Zustand» angesehen, kann aber nicht immer realisiert werden.



- Die Linie «0-0-0» repräsentiert das Verhalten eines sehr schwarzen Raums, in welchem jegliches Licht von den Wänden absorbiert wird.

Vergleicht man nun die Linien «7-5-3» und «0-0-0», stellt man fest, dass der durchschnittliche Tageslichtfaktor in Zone 1 mit 1.75 multipliziert wird, in Zone 2 mit 2.28 und in Zone 3 sogar mit 3.66. Dies bedeutet, dass annähernd $\frac{3}{4}$ der verfügbaren Beleuchtungsstärke im hinteren Teil des Raums auf Reflexionen des Lichts auf den verschiedenen Wänden zurückzuführen ist.

Vergleicht man dann die Linien «7-7-7» und «7-5-3», stellt man fest, dass die Beleuchtungsstärke im hinteren Teil des Raums (Zone 3) etwa doppelt so gross ist.

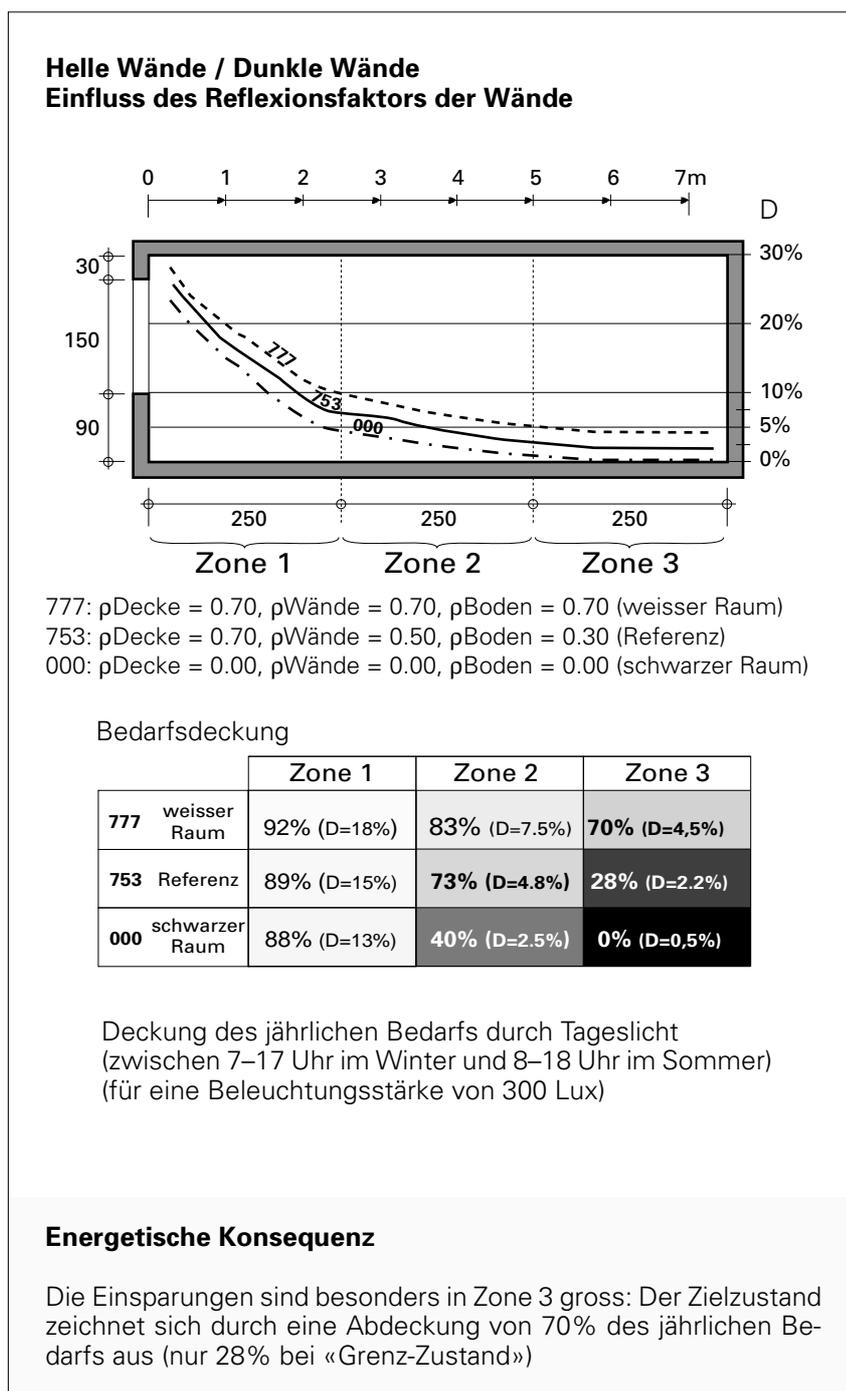


Bild 3.7: Vergleich der Tageslichtfaktoren in Funktion verschiedener Reflexionsgrade



Schaut man nun diese Tatsache vom Standpunkt des Lichtbedarfs an, stellt man beträchtliche Unterschiede fest. Zone 3 beispielsweise erhöht seine Unabhängigkeit dem Kunstlicht gegenüber um 75% zwischen den beiden Extremzuständen.

Diese beiden Beispiele zeigen ganz deutlich, wie wichtig die photometrischen Eigenschaften der inneren Oberflächenbaustoffe eines Gebäudes überhaupt sind. Wenn es sich im praktischen Baualltag als illusorisch erweist, nur weisse Baustoffe verwenden zu wollen, sollte man sich doch, so gut wie immer nur möglich, dem Zielzustand «7-7-7» nähern. Genauso sollte Zustand «7-5-3» als nicht zu unterschreitende Limite eingehalten werden. Jedesmal, wenn dunklere Materialien eingesetzt werden (betrifft meistens den Boden), wird ein merklicher Rückgang der Beleuchtungsstärke im hinteren Teil des Raums auftreten, was automatisch zu erhöhtem Energieverbrauch führen wird.

Die obige Bemerkung trifft auch bei den Oberflächenbaustoffen für Fassaden zu, besonders in Stadtgebieten und in Innenhöfen. Es ist in diesen Fällen sehr wichtig, das Eindringen und die Verteilung des Lichts bis in die untersten Stockwerke zu gewährleisten. Es muss also das Ziel sein, die Absorption der Lichtstrahlen bei den wiederholten Reflexionen auf den Fassadenoberflächen so klein wie möglich zu halten.

Farbe

Wie wir vorangehend gesehen haben, hat die Lichtfarbe einen grossen Einfluss auf den Komfort der Benutzer. Es sei hier daran erinnert, dass hohe Beleuchtungsstärken mit grossen Farbtemperaturen (im Blaubeereich) zu realisieren sind, wie auch tiefe Beleuchtungsstärken mit niedrigeren Farbtemperaturen (im Rotbereich) geplant werden müssen.

Es ist daher wichtig, eher gelbe als blaue Farbtöne für die Wände zu wählen, um nicht einer traurigen, drückenden Stimmung in Zeiten schwacher Tageslichtausleuchtung (Morgen und Abend, so wie auch bedeckte Wintertage) ausgesetzt zu sein. Direkt dem Tageslicht ausgesetzte Flächen (Wände in Fensternähe, Böden) sind natürlich am ehesten betroffen.



3.3 Studie von verschiedenen Öffnungssystemen

■ Allgemeines

Öffnungsindex

Der Öffnungsindex eines gegebenen Raumes, ist das Verhältnis der Fläche der Öffnungen zur Bodenfläche. Er wird in Prozenten ausgedrückt.

Würde man nur die Beleuchtung berücksichtigen, hätte man die Tendenz, die Fenster so gross wie möglich zu gestalten, um dadurch eine ideale Tageslichtnutzung zu gewährleisten. Wir wissen aber auch, dass eben gerade diese Fenster die wichtigsten Punkte des thermischen Austausches zwischen dem Gebäude und der Aussenwelt darstellen. Dies wiederum heisst, dass die Grösse der Fenster einerseits die Beleuchtungsnachfrage, andererseits aber auch den Heiz- und Kältebedarf beeinflusst.

Wie im Kapitel 4 des Basisdokuments zu sehen ist, ist es möglich, unter Berücksichtigung dieser drei Energiebedarfsarten, für jede Lage und Ausrichtung einen optimalen Öffnungsindex zu definieren. Diese Werte sind in Bild 3.8 dargestellt.

Ausrichtung der Öffnung	Öffnungsindex
Süden	25–30%
Osten / Westen	20–25%
Norden	15–20%
Horizontal	10–15%

Bild 3.8:
Öffnungsindex in Funktion der Ausrichtung

Diese Werte sind indikativ und demnach mit Vorsicht zu gebrauchen, im speziellen des Klimas am Standort wegen. Man sollte jedoch, wenn immer möglich, versuchen, sie nicht zu überschreiten.

Mehr fast noch als der Öffnungsindex wird die Geometrie der Öffnung über die Eigenschaften des Raumes, Tageslicht zu nutzen, entscheiden. Wie im Kapitel 3 des Basisdokuments bereits erläutert, fundiert eine gute Tageslichtnutzung auf dem effizienten «Einfangen» und Lenken des Lichtes. Der erstgenannte Aspekt wird uns primär interessieren, weil er die Geometrie der Öffnung direkt mitbestimmt. Wir werden uns den lichtempfangenden Elementen des diffusen Lichts zuwenden und dann untersuchen, welche Massnahmen vorzusehen sind, um eventuelle negative Einflüsse direkten Tageslichts zu meiden.

Der Hauptteil aller Büroräumlichkeiten hat Öffnungen im Fassadenbereich. Diese Öffnungsart wird deshalb im folgenden zuerst behandelt. Anschliessend wird betrachtet, auf welche Art und Weise Oberlichter vorteilhaft genutzt werden können.

■ Die Ausfachungen

Ausfachungen:

Unter Ausfachungen versteht man in diesem Fall Einbauten in Fenster- und Oberlichtöffnungen (z. B. Pfosten, Riegel, Fensterrahmen etc.).

Man kann ganz allgemein sagen, unabhängig vom gewählten Öffnungssystem, dass es wichtig ist, die geometrischen Dimensionen der Ausfachungen auf ein striktes Minimum zu beschränken. So einfach es auch ist, das Mauerwerk positiv für die Tageslichtnutzung auszulegen, so störend



werden die Einbauten in der Öffnung immer auf das einfallende Licht wirken, weil sie ihm im Wege stehen. Ausfachungen können bis zu 25% der Öffnungsfläche beanspruchen. Wenn man dieser Bemerkung nicht Rechnung trägt, können alle Anstrengungen zur Verbesserung der Tageslichtnutzung durch zu breit gestaltete Einbauten zunichte gemacht werden.

■ Die Fassadenöffnungen

Die Brüstung

Es ist bekannt, dass der nutzbarste Tageslichtanteil durch den oberen Teil der Fenster eindringt, d.h., dass die Höhe der Brüstung die Beleuchtungsstärken im hinteren Teil des Raums kaum beeinflusst.

siehe Bild 3.9

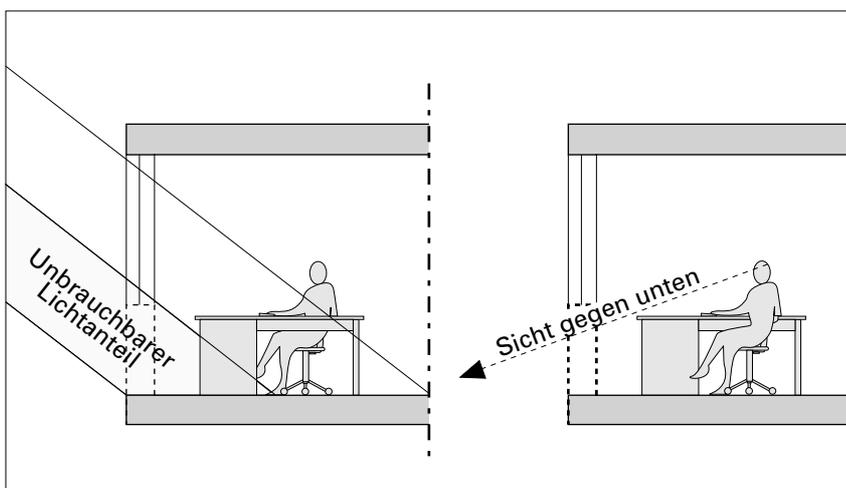


Bild 3.9:
Beispiel eines Raumes ohne Brüstung

Der einzige wirkliche Vorteil einer niedrigen Brüstung ist der nach unten vergrößerte Blickwinkel. Dies kann vor allem in Erdgeschossen angenehm sein, weil so die Trennung zwischen Innen- und Aussenraum weniger krass ausfällt. Es gilt aber die Leuchtdichte des Bodens im Freien zu berücksichtigen, da vor allem bei klarem Himmel sehr grosse Werte auftreten können. Dies kann zu Blendungsproblemen führen. Es ist zu bemerken, dass der Mensch im allgemeinen hohe Leuchtdichten im unteren Teil des Blickfeldes weniger toleriert, obschon er dieselben im oberen Teil des Blickfeldes (Himmel) aus Gewohnheit nicht als störend empfindet.

Ganz allgemein kann man festhalten, von ästhetischen Kriterien abgesehen, dass man die Fensterfläche reduzieren kann, indem man die Brüstung erhöht, ohne dabei die verfügbare Lichtmenge im hinteren Teil des Raums merklich zu verringern.

Der obere Teil der Brüstung kann als Reflektor ausgelegt werden, der das Tageslicht an die Decke lenkt. Der so erzielte Gewinn an natürlichem Licht ist keineswegs vernachlässigbar.

siehe Bild 3.10

Dieser zusätzliche Lenkungseffekt einer hellen Brüstung kann auf folgende Weise unterstützt werden:

- Verwendung von Materialien, welche die Reflexion des Lichts fördern (helle Farbe, gebürstetes Aluminium, usw.)
- Verringerung der Breite der Ausfachungen.



Es gilt auch zu beachten, dass eine Neigung des Fenstersims um ungefähr 15° nach aussen verhindert, dass die Benutzer des entsprechenden Raums geblendet werden.

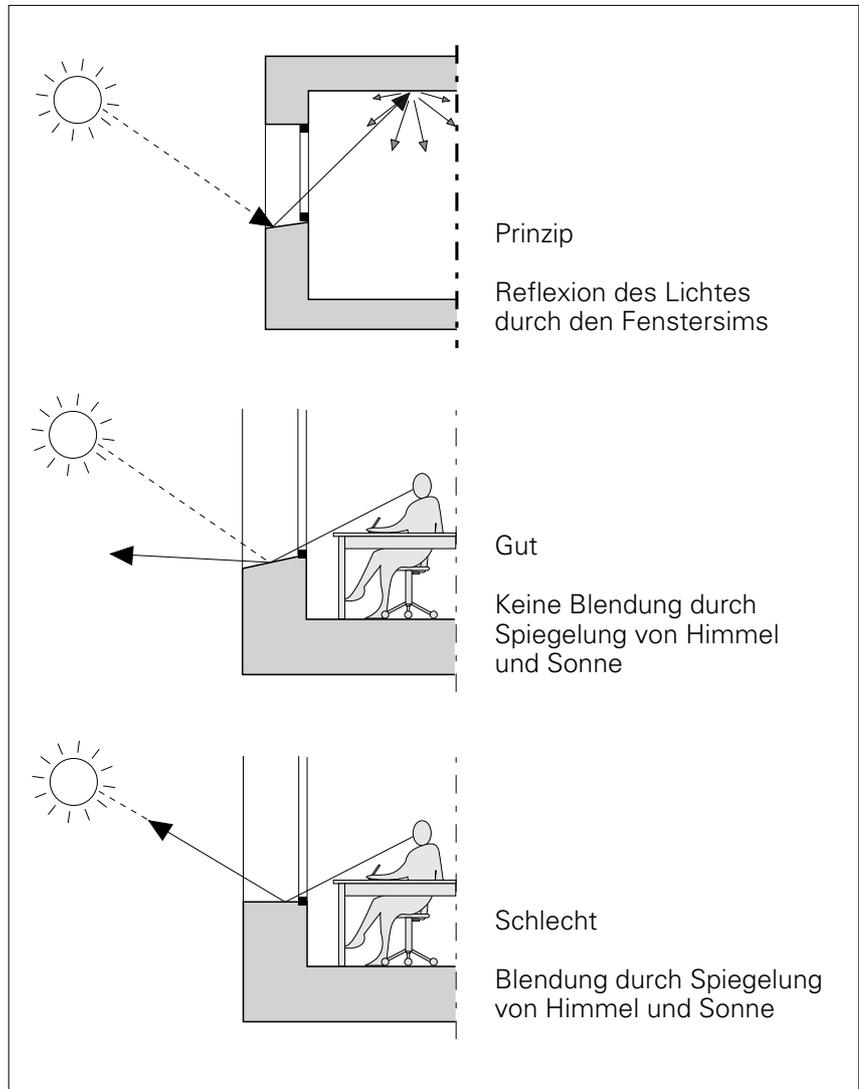


Bild 3.10:
Einsatz der Brüstung als Lichtlenkungselement



Wenn die Öffnung sich in der oberen Hälfte des Raumes befindet, so ist es zweckmässig, den unteren Teil dieser Öffnung abzuschrägen, um den Lichteintritt zu vergrössern. Diese Massnahme kann sich als sehr nützlich erweisen im Falle von halb unterirdischen Räumen, in die Licht nur durch eine solche Öffnung einzudringen vermag.

Oberlicht

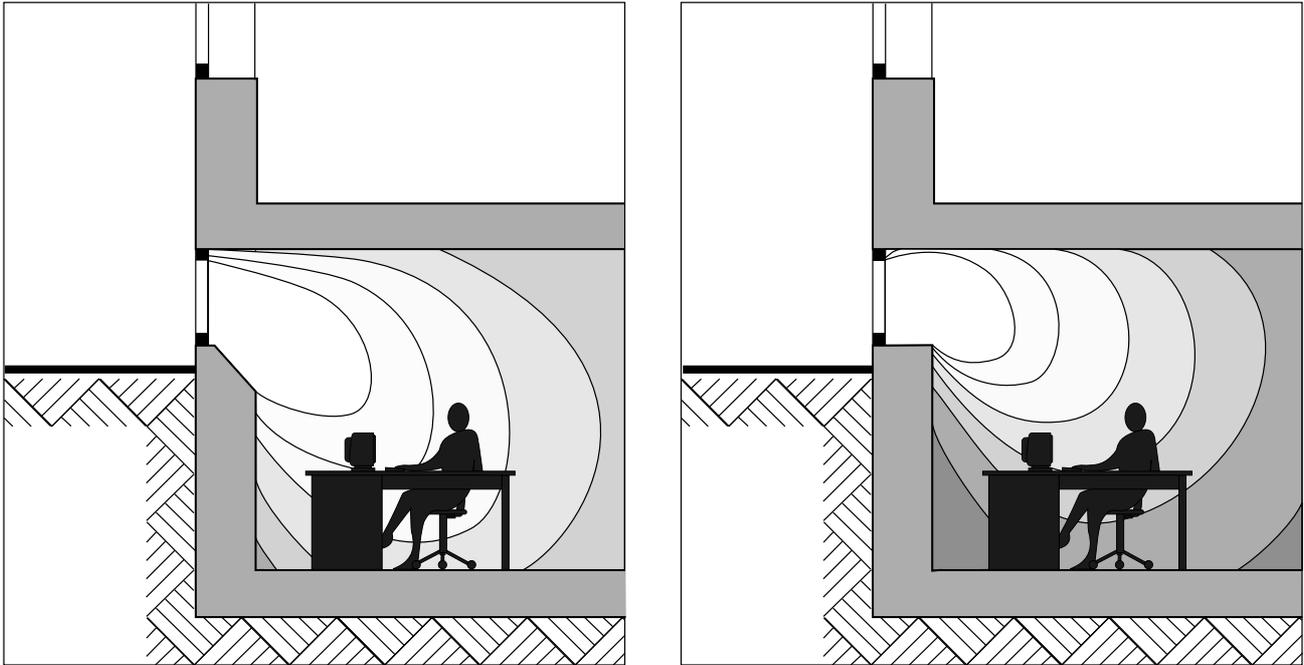
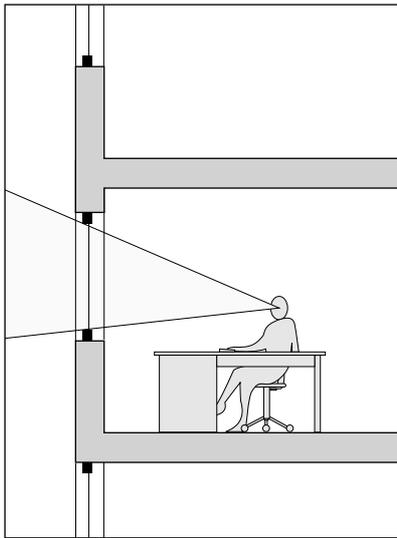


Bild 3.11:
Tageslichtöffnung in einem unterirdischen Raum

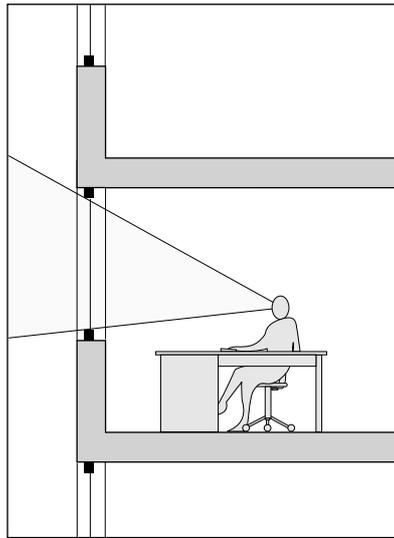


Die Oberschwelle

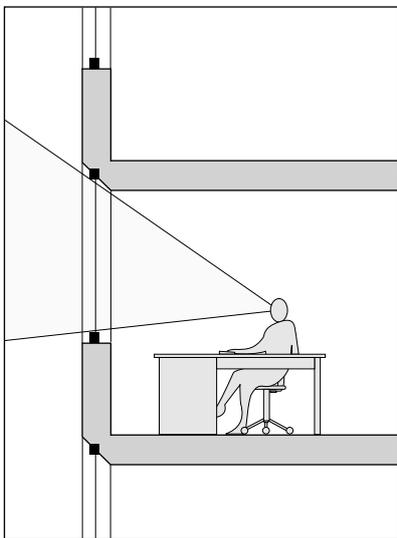
Wie bereits erwähnt, strömt das nutzbarste natürliche Licht durch den oberen Teil der Verglasung in die Räume. Diese Feststellung betrifft im besonderen die hinteren Raumteile. Aus diesem Grund ist es deshalb sinnvoll, die Höhe der Oberschwelle so klein wie möglich zu halten. Bild 3.13 veranschaulicht auf schematische Weise den Einfluss dieser Höhe auf die Tageslichtnutzung und den Energieverbrauch.



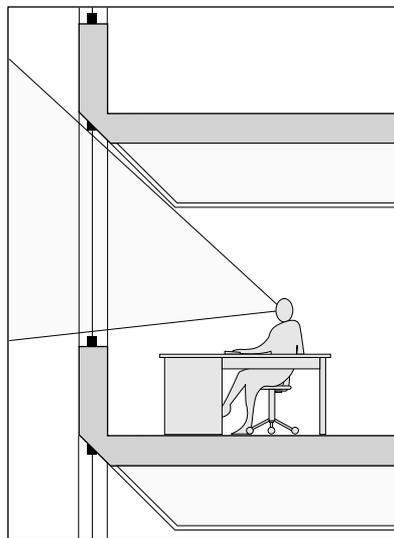
Klassischer Fenstersturz



Kein Fenstersturz



Abschrägung der oberen Decke



Abschrägung der Hohldecke

Bild 3.12:
Schematische Darstellung der Vergrößerung der Oberschwelle

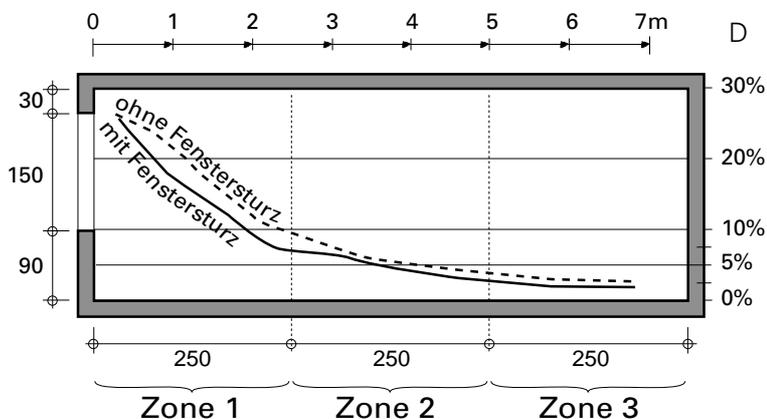
Als Ergänzung zum eben Gesagten, kann festgehalten werden, dass die Abschrägung der Oberschwelle eine sehr wirksame Massnahme zur Förderung des Tageslichtanteils in einem Raum darstellt.

Die Effizienz dieser Massnahme wächst mit der Dicke der Mauern. Dieses Prinzip ist auch bei Hohldecken problemlos durchführbar.

siehe Bild 3.12



Einfluss der Höhe der Oberschwelle



Bedarfsdeckung

	Zone 1	Zone 2	Zone 3
ohne Fenstersturz	92% (D=18.5%)	80% (D=6%)	51% (D=3.1%)
mit Fenstersturz	89% (D=15%)	73% (D=4.8%)	28% (D=2.2%)

Deckung des jährlichen Bedarfs durch Tageslicht (zwischen 7–17 Uhr im Winter und 8–18 Uhr im Sommer) (für eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux)

Energetische Konsequenz

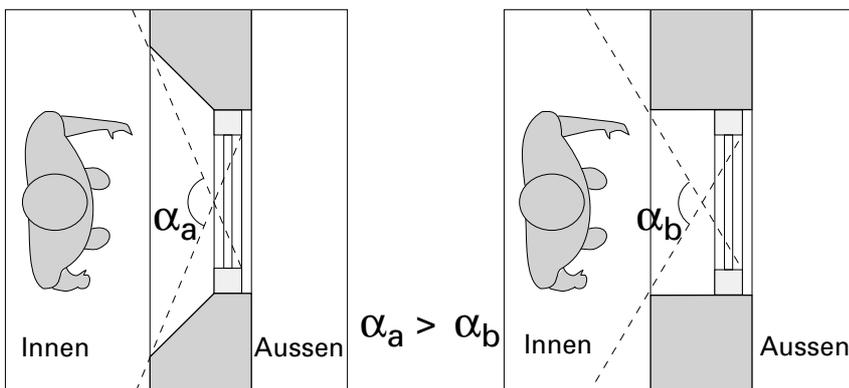
Das Weglassen der Oberschwelle verringert, speziell in der Zone 3, die Nachfrage nach Kunstlicht, da dadurch bis zu 23% mehr Aussenlicht genutzt werden kann.

Bild 3.13: Einfluss der Oberschwelle auf den Tageslichtfaktor bzw. den Energieverbrauch

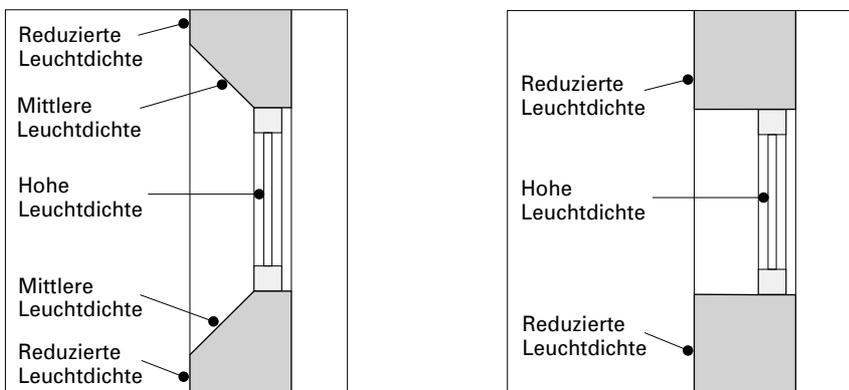
Die Fensternischen

Die Abschrägung der Fensternischen ist eine weitere Massnahme, mit welcher das Tageslicht effizienter genutzt werden kann (siehe Bild 3.14).

- Der erste Vorteil ergibt sich aus einer besseren, breiteren Verteilung des seitlich eindringenden Lichtes.
- Der zweite Vorteil resultiert aus einer progressiveren Verteilung der Leuchtdichten der Fenster und der diese umgebenden Mauern.
- Die genannte Abschrägung ist ganz besonders interessant, wenn die Mauern dick sind, oder wenn die Öffnungen schmal ausfallen.



Vergößerung des Blickwinkels nach aussen



Verringerung des Leuchtdichtekontrastes (weicher Lichtübergang)

Bild 3.14:
Öffnungsmöglichkeit durch die Bildung von Abschrägungen

Die Abschrägung kann auch im Aussenteil der Fensternische angebracht werden, was dem erhöhten Öffnungswinkel des eintretenden Lichts keineswegs schadet. In diesem Fall jedoch, geht der Vorteil eines progressiveren Übergangs der Fensterleuchtdichte zur Mauerleuchtdichte verloren.

Der Sonnenschutz

Die verschiedenen Systeme von Sonnenschutz werden in den Kapiteln 3 und 5 des Grundlagendokuments näher betrachtet und beschrieben.

Das Lichtschwert (Lightshelf)

Bild 3.15 zeigt das Funktionsprinzip dieses, in den siebziger Jahren in den Vereinigten Staaten entwickelten Systems. Das Licht wird dabei durch eine horizontale oder leicht geneigte Fläche, die sich ungefähr auf halber Fensterhöhe befindet, an die Decke reflektiert.



Eigenschaften des Lichtschwertes (Lightshelf)

Vorteile

- Verbesserung der Beleuchtungsstärken im hinteren Teil des Raumes.
- Verringerung der Beleuchtungsstärken in der Nähe der Öffnung.
- Wirksamer Sonnenschutz im Sommer.
- Schutz gegen Blendung (Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung).

Nachteile

- Verringerung der Tageslichtnutzung bei bedecktem Himmel
- Die zur Verfügung stehende Raumhöhe sollte mindestens 2.70 m betragen.
- Das System kann nur schlecht gereinigt werden.

Empfehlungen

- Verwendung auf südexponierte Fassaden beschränken.

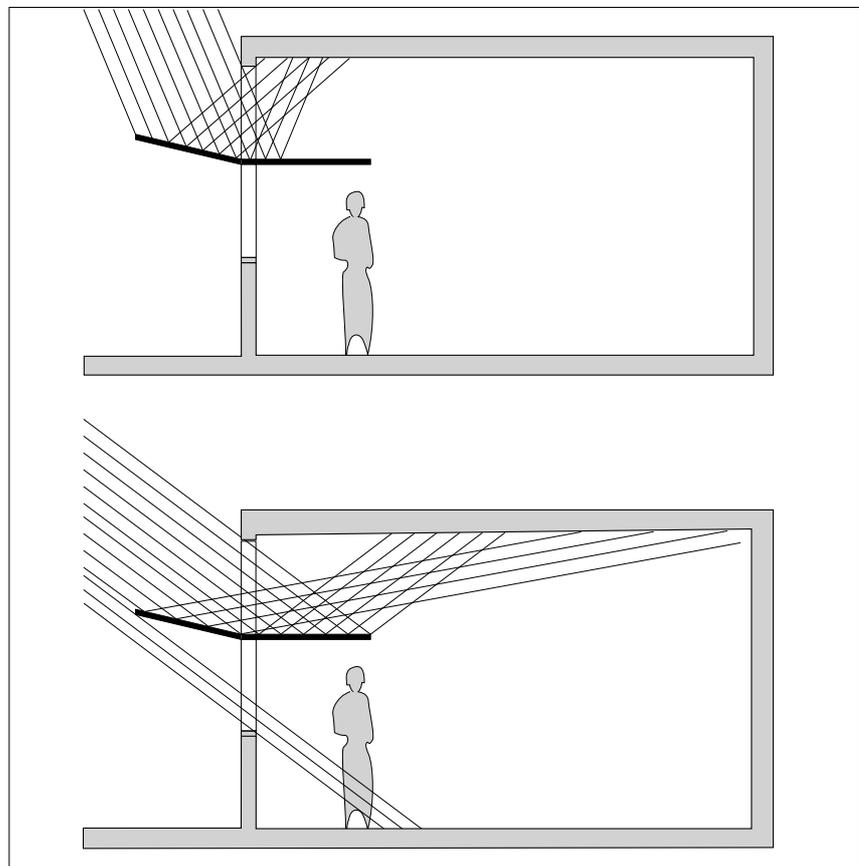


Bild 3.15:
Schematische Darstellung eines Lichtschwertes



Bild 3.16:
Beispiel eines Lichtschwertes (Staatsgebäude von Kalifornien, Sacramento, USA)

■ Die Dachöffnungen

Allgemeines

Nur ein kleiner Teil aller vorhandenen Büroflächen verfügt über Dachöffnungen. Für die wenigen aber ergeben sich verschiedenste Anwendungsmöglichkeiten für die optimierte Tageslichtnutzung durch Oberlichter.

Der erste Gedanke gehört natürlich allen Räumen, die sich im obersten Stockwerk eines Gebäudes befinden. Durch klug angebrachte Dachöffnungen, können solche Räume viel an Komfort und subjektivem Wert gewinnen. Die Beleuchtungsstärken in den hinteren Raumteilen können meist mit kleinem technischem Aufwand angehoben werden. Zudem ist es möglich mittels «Lichtkanälen» Räume, die ein oder zwei Stockwerke unter dem Dach liegen, mit Licht zu versorgen.

Grundsätzlich werden zwei Arten von Öffnungen unterschieden:

- Öffnungen mit horizontaler Fensterfläche.
- Öffnungen mit vertikaler Fensterfläche.

■ Horizontale Öffnungen

Diese Öffnungen sind insbesondere bei bedecktem Himmel sehr wirksam. Grob betrachtet, lässt sich festhalten, dass solche Öffnungen doppelt so wirksam sind wie vertikale, weil sie das gesamte Himmelszelt erfassen. Bei direkter Sonneneinstrahlung hingegen, ist ihr Einsatz unbefriedigend. Wie im Kapitel 3 des Grundlagendokuments aufgeführt, begünstigen solche Öffnungen solare Beiträge im Sommer und benachteiligen sie im Winter. Dies widerspricht einer vernünftigen Verwendung der einfallenden Sonnenenergie.

Wie bereits angeführt, ist es von grosser Wichtigkeit, bei Räumen mit dicken Mauern den Eintrittswinkel des Lichtes durch angemessene Abschrägungen zu vergrössern. Dasselbe gilt auch für Dachöffnungen. Bild 3.17 veranschaulicht, wie die Höhe des Oberlichtes und dessen Form



die Lichtstreuung im Raum beeinflussen. Folgende Planungsfaktoren sollten bei Oberlichtern berücksichtigt werden:

- Die Höhe des Oberlichts muss auf ein notwendiges Minimum reduziert werden, damit das Licht nicht während den verschiedenen Reflexionen absorbiert wird.

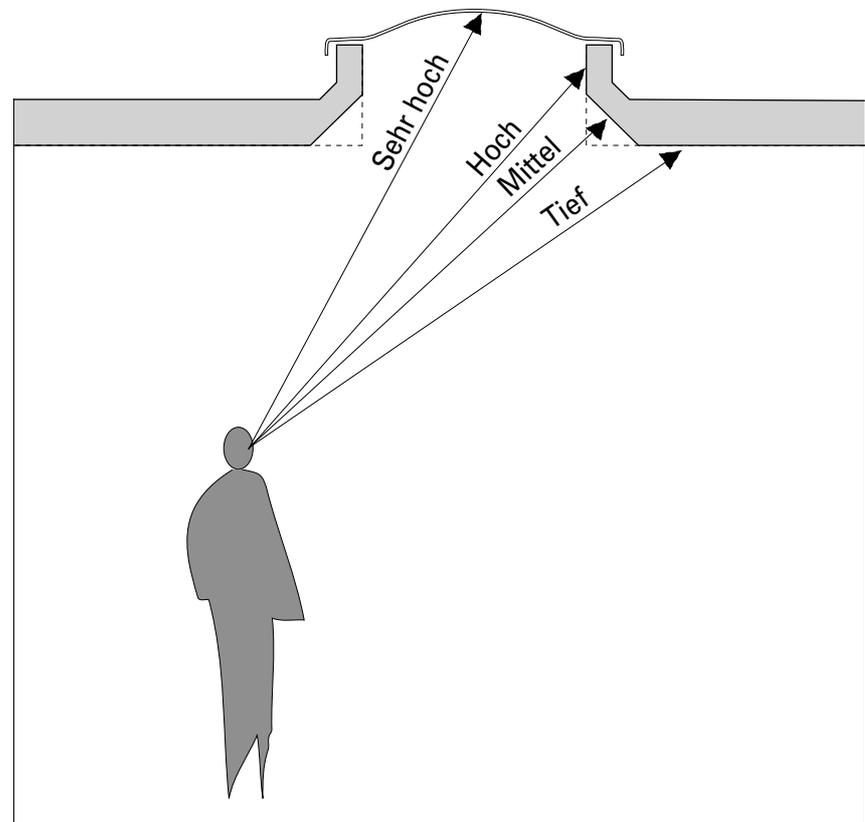


Bild 3.17:
Verbesserte Leuchtdichteübergänge
durch Abschrägungen unterhalb des
Oberlichtes

- Die Verbreiterung des Oberlichts nach unten, verbreitert auch den Verteilungskegel des Tageslichtes. Dadurch wird ein fließender Übergang der Leuchtdichten zwischen Verglasung und Decke erreicht.
- Im allgemeinen sollten Oberlichter mit hellen Farben behandelt werden, so hat zum Beispiel eine leichte Gelb- oder Ockerfärbung die Eigenschaft, ein wärmeres Licht zu «erzeugen», als transparentes Fensterglas.



Bild 3.18:
Beispiel horizontaler Öffnungen (Flughafen Kopenhagen, Dänemark)

Sonnenschutz (Allgemeines)

Unabhängig vom gewählten Typ, soll der Sonnenschutz immer aussen angebracht werden, um eine sommerliche Überhitzung zu vermeiden. Zusätzlich ist ein Öffnungssystem der Verglasung vorzusehen, das den Wärmestau durch natürliche Konvektion abführen kann.

Fest installierter Sonnenschutz (Sonnenblende)

Der fest installierte Sonnenschutz ist das kostengünstigste und zugleich auch das am wenigsten wirksame Produkt, da bei bedecktem Himmel die Tageslichtnutzung stark beeinträchtigt wird. Zudem erlaubt es dieses System nicht, die Sonneneinstrahlung im Winter zu verstärken.

Beweglicher Sonnenschutz (Lamellen- oder Stoffstoren)

Die Verwendung von mobilen Lamellenstoren mit einzeln gesteuerten Lamellen ist eine luxuriöse, aber sehr wirksame Lösung, weil man sich dank ihr, allen äusseren Gegebenheiten anpassen kann (zumindest theoretisch). Die Realisierung dieser Lösung wird jedoch primär durch den hohen Kostenaufwand verhindert.

Die Verwendung von Stoffstoren wird in der Praxis meist vorgezogen. Bei Stoffstoren ist darauf zu achten, dass der energetische Transmissionsfaktor des Storens 10% nicht überschreitet.



Halb beweglicher Sonnenschutz (2 Positionen)

Diese Lösung ist ein Kompromiss mit grossen Vorteilen bezüglich Sonneneinstrahlung und notwendigem Wartungsaufwand. Es handelt sich hierbei um ein System mit fixen Lamellen, die auf einen Rahmen montiert werden. Dieser Rahmen wiederum ist schwenkbar, so dass die Lamellen im Sommer die Einstrahlung absorbieren und im Winter in den Raum reflektieren (jede Lamelle hat zwei verschieden strukturierte Seiten, die eine ist matt, die andere reflektierend).

Die Positionsänderung wird zweimal pro Jahr von Hand vorgenommen und zwar bei den jeweiligen Tagundnachtgleichen.

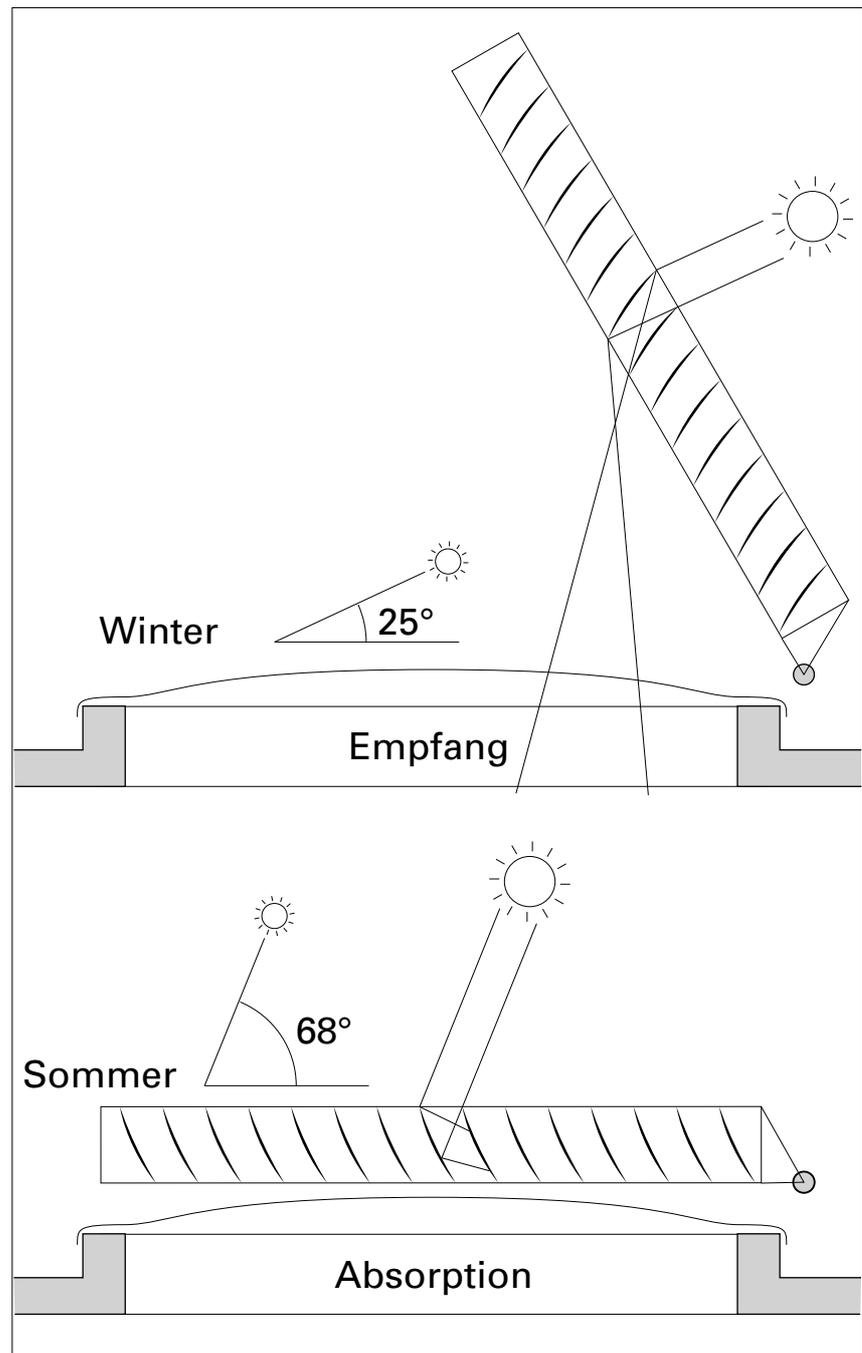


Bild 3.19:
Funktionsprinzip eines halbbeweglichen
Sonnenschutzes



■ Atrien

Tageslichtöffnungen lassen oftmals Licht in Räume strömen, zu denen sie, baulich gesehen, gar nicht gehören. Dies trifft vor allem bei Atrien zu, bei denen die seitliche Lichtverteilung über mehrere Stockwerke die Hauptaufgabe und auch das Hauptproblem darstellt.

Oft wird gefordert, dass die Wände eines Atriums als Verankerungspunkte für allfällige Durchgänge dienen. Dieselben hemmen aber in der Regel die Lichteinstrahlung und verhindern damit ein Vordringen des Lichts in daruntergelegene Räume. Das Atrium liefert in diesem Fall kein zusätzliches Licht für die Betriebsflächen des Gebäudes, es trägt höchstens zu einer angenehmen visuellen Stimmung bei.

Empfehlungen für Atrien

- Das Atrium sollte möglichst V-förmig konzipiert werden, um dadurch dem Licht Zugang bis in die untersten Stockwerke zu verschaffen (maximale Breite oben, Verengung im unteren Teil).
- Die Innenseiten sind möglichst hell zu gestalten, um die Lichtabsorption zu verringern.
- Der negative Einfluss allfälliger Korridore ist zu minimalisieren. Bild 3.20 zeigt eine Realisation, in welcher der Übergang in der Mitte des Atriums gebaut wurde. Diese Gestaltung bringt mehr Licht auf die Innenseiten des Atriums und somit eine bessere Nutzung des Tageslichts in den entsprechenden Räumen.
- Das in einem Atrium eintreffende Licht ist geringer als das Licht, das auf einer Fassade in der Peripherie anfällt. Es ist also notwendig, die Flächen des Atriums dieser Tatsache anzupassen.

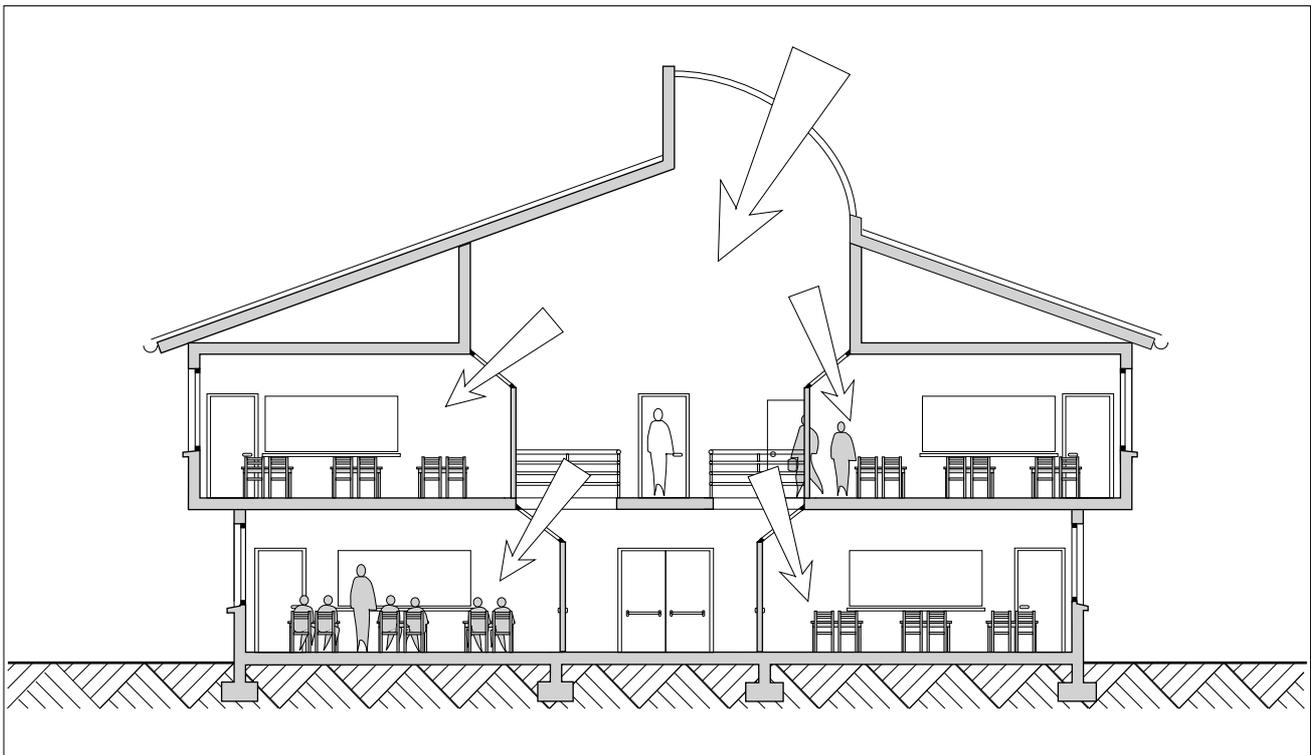


Bild 3.20:
Beispiel eines Atriums mit zentralem
Durchgang (CES de Modane, Frankreich)

■ Vertikale Öffnungen

Wenn Dachöffnungen mit vertikaler Verglasung vorgesehen sind, so sollten sie im allgemeinen entweder nach Süden oder nach Norden ausgerichtet werden.

Ausrichtung Süd

Diese Ausrichtung ist die bestmögliche betreffend der zu erwartenden Tageslichtnutzung. Die Laufbahn der Sonne begünstigt die Nutzung der natürlichen Lichtquelle während den Wintermonaten und hält zugleich die sommerlichen Gewinne in Grenzen (steile Einfallswinkel). Das Sonnenschutzsystem hat dieselben Anforderungen zu erfüllen, wie für eine Öffnung in einer Südfassade.

Ausrichtung Nord

Diese Ausrichtung bringt am wenigsten Risiken mit sich, was das Eindringen der direkten Sonnenstrahlung anbelangt. Die thermischen Verluste sind jedoch sehr hoch. Aus diesem Grund verwendet man vorzugsweise eher einen Baustoff des Typs «durscheinende Isolation» als eine traditionelle Doppelverglasung. Man kann also davon ausgehen, dass ein Büro mit nach Norden gerichteter Dachöffnung über eine grundsätzlich gut ausgerichtete Öffnung verfügt (welche vorteilhaft aus einem diffusen Baustoff bestehen sollte).

siehe Kapitel 3.2



Lichtkamine

Vielen Räumen ist durch ihre zentrale Lage im Gebäudekern der direkte Zugang nach aussen verwehrt. Das Tageslicht kann dorthin also nur über Umwege durch andere Bauvolumen gelangen. Das bereits zitierte Beispiel der innenliegenden Atrien beinhaltet einen ersten Lösungsansatz.

Eine andere Lösung besteht darin, Lichtkanäle zu schaffen, deren einziges Ziel es ist, Licht über mehrere Stockwerke zu übertragen. Bild 3.22 zeigt ein solches Beispiel, das in einem Schulgebäude in Collioure (Frankreich) realisiert wurde. Das System besteht aus zwei Teilen, welche die oben erwähnte Problematik veranschaulichen:

- Der obere, südausgerichtete Teil, fängt das Licht ein. In unserem Beispiel ist dieser Teil baulich so optimiert worden, dass seine Eigenschaften am leistungsfähigsten sind, wenn die Sonne 30° über dem Horizont steht (anfangs November, Mitte Februar).
- Der untere Teil ist ein Kanal, dessen Innenwände mit Aluminiumfolie belegt sind (der Reflexionsfaktor muss so hoch wie möglich sein, um die Absorptionsverluste so klein wie möglich zu halten).

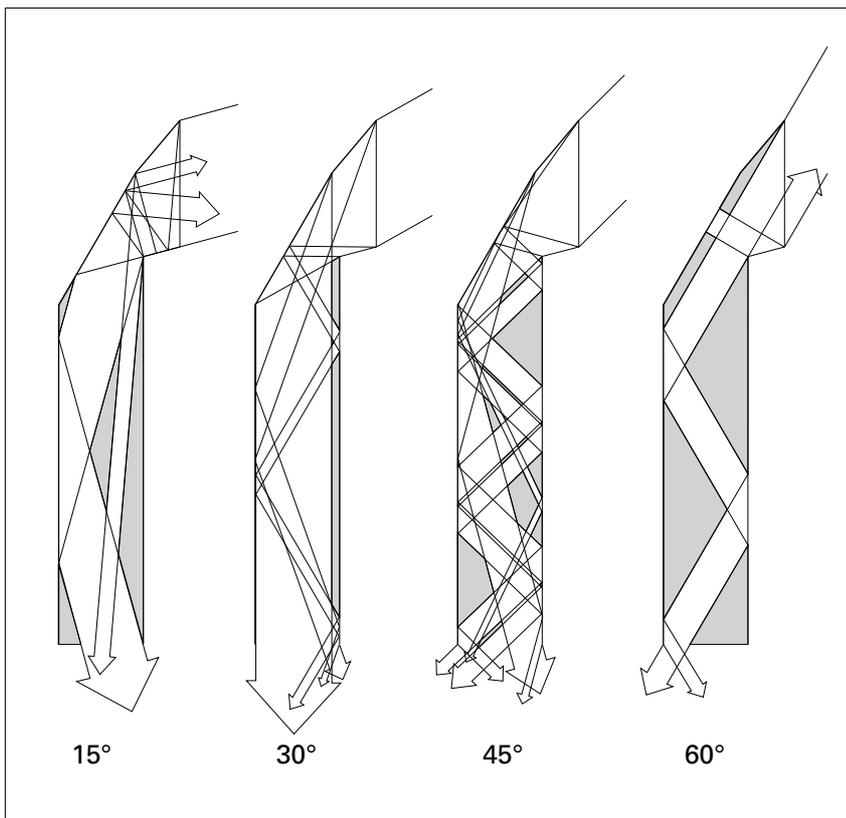


Bild 3.21:
Lichtfluss in einem Lichtkamin in Abhängigkeit des Sonnenstandes

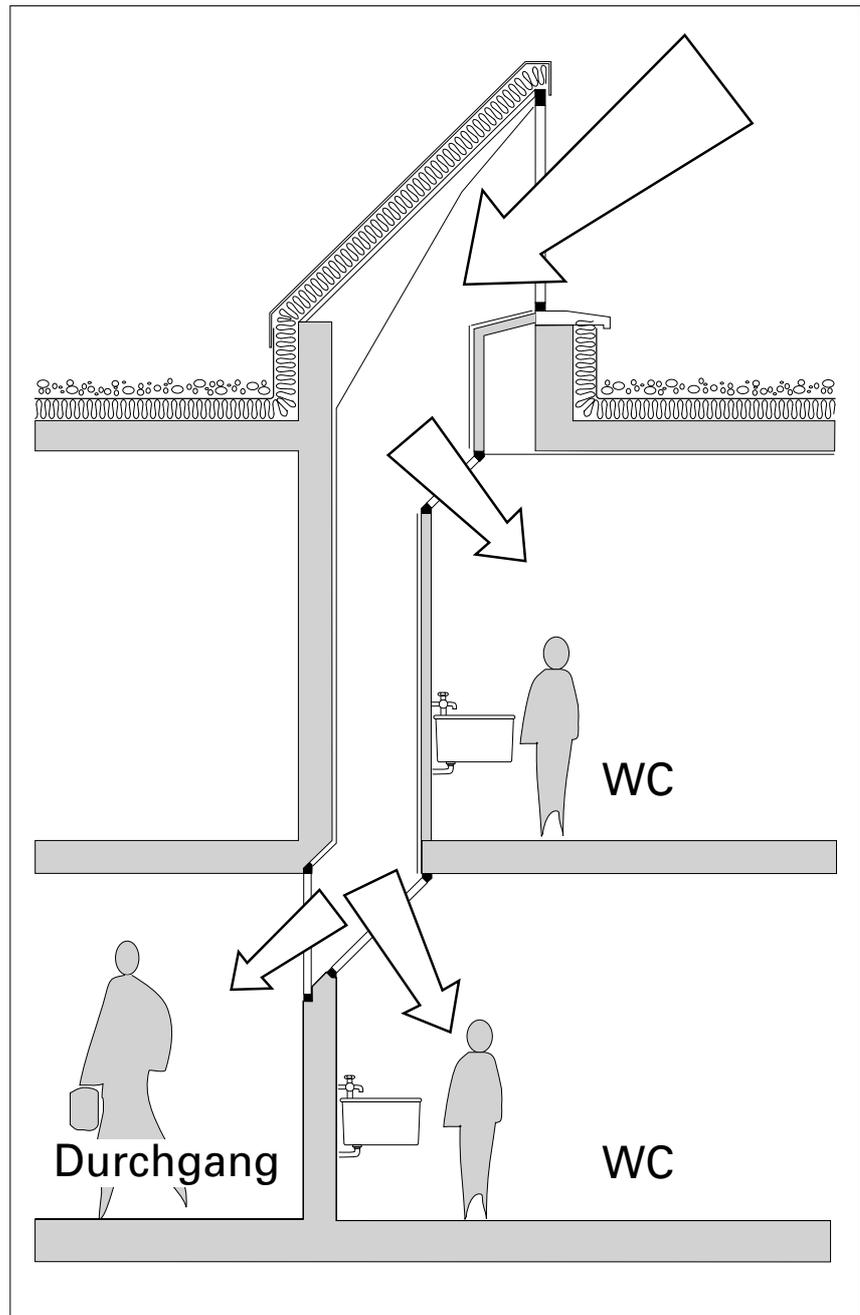


Bild 3.22:
Beispiel eines realisierten Lichtkamins



Eigenschaften von Lichtkaminen

Vorteile

- Interessante Leistung bei klarem Wetter.
- Steigern den Wert der Räume durch die symbolische Verbindung mit der Aussenwelt.
- Erleichtern die Orientierung im Gebäude.
- Ermöglichen die Entwicklung und das Wachsen von Pflanzen im Bereich des Kaminaustritts.

Nachteile

- Geben ungenügend Licht für einen Arbeitsplatz.
- Verringerte Leistung bei bedecktem Himmel.

Empfehlungen

- Das Verhältnis zwischen dem Querschnitt des Kanals und dessen Höhe soll 1:8 nicht überschreiten. Ist dieses Verhältnis kleiner, wird die Tageslichtnutzung vernachlässigbar klein.
- Die Lichtfarbe kann verbessert («erwärmt») werden, in dem man eine Wand des Kanals gelbbraun färbt.



3.4 Entscheidungshilfen

Damit ein für das jeweilige Objekt am besten geeignetes Tageslichtsystem gewissenhaft ausgewählt werden kann, gibt es unterschiedliche Entscheidungshilfen. Diese erlauben es, solche Systeme in quantitativer (Lichtquantität), wie auch in qualitativer Hinsicht (subjektive visuelle Eindrücke der beleuchteten Flächen) zu planen.

Die hauptsächlichen Entscheidungshilfen werden im folgenden beschrieben.

■ Tabellen

Gewisse Organisationen, wie z.B. die internationale Beleuchtungskommission (CIE), haben Methoden entwickelt, die es anhand von Tabellen erlauben, den Tageslichtfaktor eines Raumes zu bestimmen, ausgehend von der Form, den Abmessungen, der Position einer Dachöffnung und deren Entfernung zum entsprechenden Raum. Diese Methoden haben sich vor allem für Räume mit einfacher Geometrie bestätigt und sind nur bedingt brauchbar, wenn es sich um komplexere Räume handelt /12/, /13/.

■ Modelle

Es gilt als wichtige Tatsache festzuhalten, dass die Mechanismen der Lichtreflexionen massstabsunabhängig auftreten. Es ist also ohne weiteres möglich, an einem Modell die Lichtverteilung in einem geplanten Raum zu veranschaulichen, wenn man die lichttechnischen Eigenschaften der Baustoffe des Modells der vorgesehenen Wirklichkeit anpasst. Das schwierigste Problem dabei ist die Nachahmung der natürlichen Lichtquelle mit ihrer Position, ihrer Ausrichtung und ihrer Lichtstärke. Der hauptsächliche Vorteil eines Modells ist die einfache Erstellungsart und deren geläufige Anwendung. Es gilt dabei jedoch folgendes zu beachten:

Masstab des Modells

Die Grösse eines Modells hängt vor allem davon ab, wie gut man die in den Räumen auftretende Lichtverteilung und den entsprechenden Raumeindruck fotografisch festhalten kann. Es ist unerlässlich, dass die Scharfeinstellung auf mindestens eine Wand des Lokals möglich ist. Die Verwendung von Makro-Objektiven mit einer Brennweite von weniger als 28 mm erscheint als sinnvoll, zumal solche Objektive auch bei kurzen Distanzen scharfe Bilder garantieren und dies erst noch in einem breiten Sichtbereich.

Die Abmessungen der Räume sollten deshalb wie folgt sein:

- Raumhöhe: 10–15 cm
- Raumtiefe: 30 cm

Diese Abmessungen bedeuten, für die grösste Zahl aller Gebäude, dass das Modell im Masstab 1:20 oder 1:25 gebaut werden soll.

Ausbaumöglichkeiten

Das Modell sollte mit möglichst geringem Aufwand umgebaut werden können, um die Studie verschiedener Varianten zu erleichtern (Grösse der Öffnungen, lichttechnische Eigenschaften der Wände, etc.). Bild 3.23



zeigt ein Modell, dass mit «Schaumkarton» gefertigt wurde. Dieses Material hat den Vorteil, dass es sich sehr leicht zerschneiden lässt und dass man sich auch dessen mehrlagige Konstruktion zunutze machen kann. Dies gilt speziell für den variablen Zusammenbau verschiedener Teile, welcher vorteilhaft mit Nadeln ausgeführt wird. Die Verwendung von Nadeln ermöglicht ein einfaches Umbauen eines so gestalteten Modells.

Natürlich sind leichte, solide Baustoffe zu bevorzugen und Abmessungen von mehr als 1m x 1m zu vermeiden.

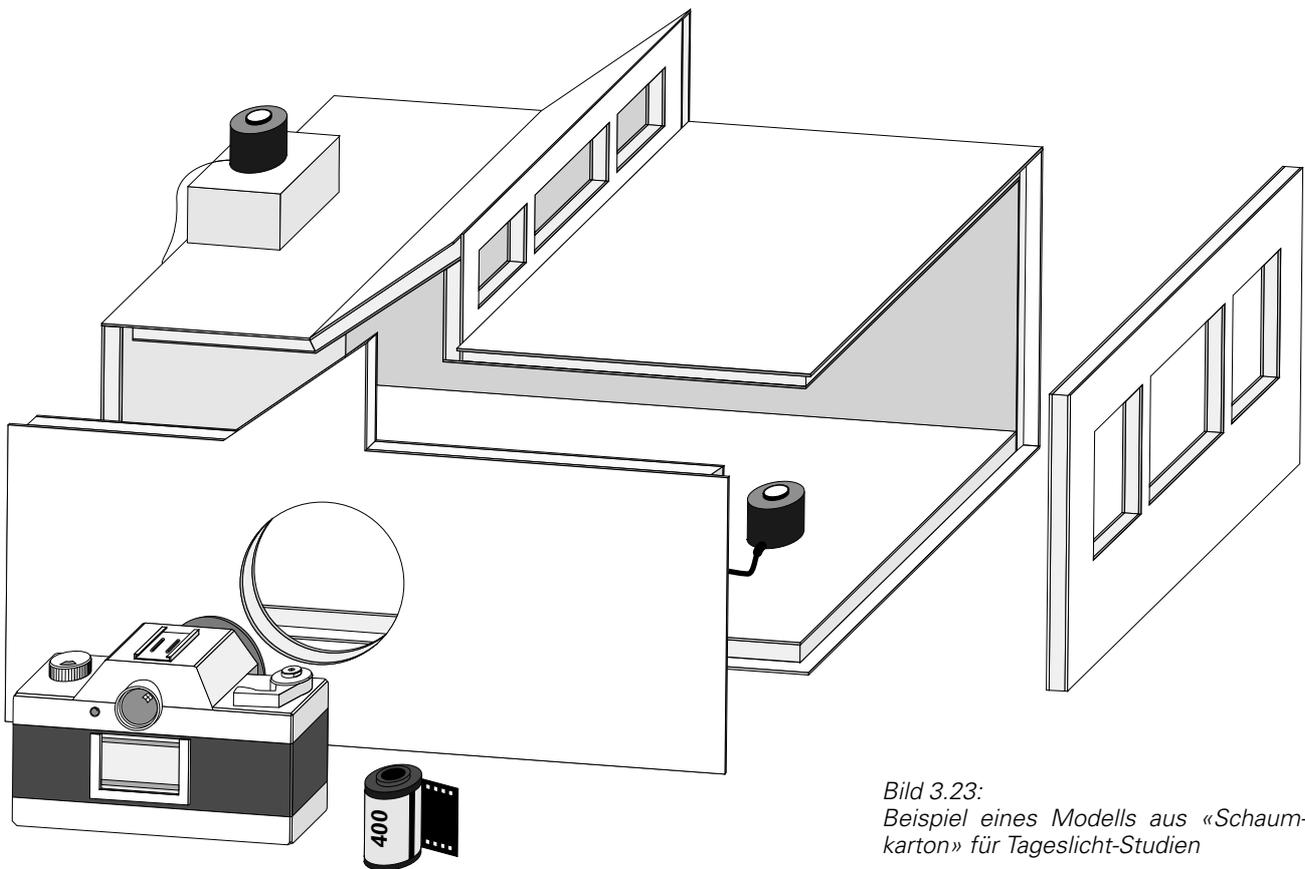


Bild 3.23:
Beispiel eines Modells aus «Schaumkarton» für Tageslicht-Studien

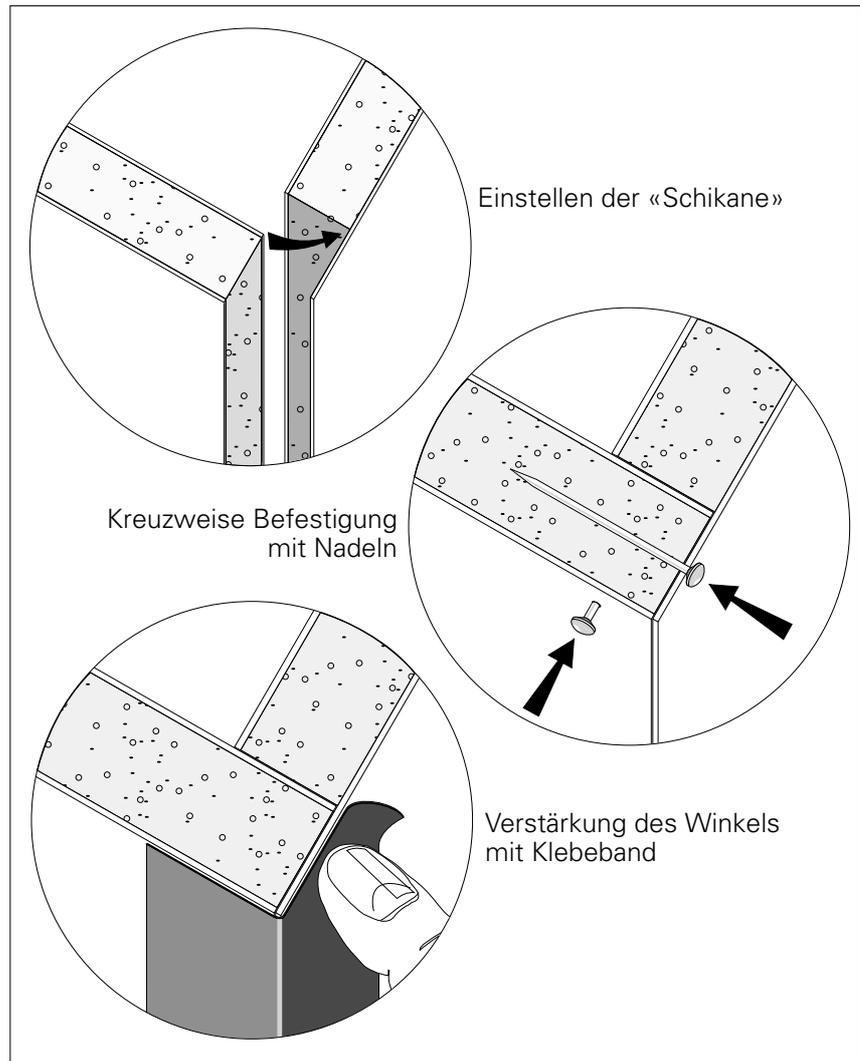


Bild 3.24:
Modelldetails bei Verwendung von
Schaumkarton

Lichtdurchlässigkeit

Um die Beleuchtung in Modellen nicht überzubewerten, gilt es darauf zu achten, dass die Räume eine möglichst kleine Lichtdurchlässigkeit aufweisen, also möglichst «lichtdicht» gebaut werden. Der verwendete Schaumkarton sollte eine Mindestdicke von 10 mm aufweisen, zusammengefügte Teile sollten sich überlappen und diese Stellen zusätzlich noch mit Klebeband isoliert werden (siehe Bild 3.24).

Wahl der Materialien

Wie schon erwähnt, ist es äusserst wichtig, auf die lichttechnischen Eigenschaften der verwendeten Materialien zu achten, die im Modell gebraucht werden. Für die Innenseite der Räume (Wände, Boden, Decke) ist es natürlich entscheidend, Materialien (Papier, Karton, Stoffe, etc.) zu verwenden, die vom Reflexionsgrad und Glanz her gesehen, den effektiven Oberflächen entsprechen (Beton, Gips, Farbanstriche, etc.)



■ Messungen

Anhand von Modellen können nicht nur visuelle Raumeindrücke vorhergesehen werden, sondern man kann auch das Verhalten bei Tageslicht quantifizieren und somit die diesbezüglichen Leistungen des Raums messen. Diese Messungen werden mit Lux- oder Photometern vorgenommen.

Im allgemeinen plziert man ein Luxmeter ausserhalb des Modells auf eine horizontale Fläche als Referenzeinheit. Das oder die anderen Luxmeter werden im Modell selbst installiert, an speziell für die Studie relevanten Standorten (es ist darauf zu achten, dass auf einer Höhe gemessen wird, die der Höhe eines Arbeitsplatzes entspricht). So ist es möglich den Tageslichtfaktor genau auf dieselbe Art zu bestimmen, wie dies in einem wirklichen Raum gemacht wird (Verhältnis der inneren zur äusseren Beleuchtungsstärke).

■ Messungen im Freien

Diffuses Licht

Die Tageslichtfaktoren können auch im Freien gemessen werden. Das Modell wird dabei unter den freien Himmel gestellt, wobei es zu beachten gilt, dass dieser bei unverbautem Horizont einheitlich bedeckt sein sollte. Man überprüft diesen Zustand, indem man die vertikale Beleuchtungsstärke in allen vier Himmelsrichtungen misst. Wenn diese Werte um einen Faktor 1.5 oder mehr von einander abweichen, wird der Fehler auf den gemessenen Tageslichtfaktor so gross sein, dass die Messung nichts mehr aussagt. Nur eine Wetterveränderung kann dann die Messresultate verbessern.

Direktes Licht

Die direkte Sonneneinstrahlung kann auch bei heiterem Himmel veranschaulicht werden, indem dazu die polare Sonnenstandskala benutzt wird. Dieses einfache Hilfsmittel erlaubt es innert kürzester Zeit, die Einstrahlung für verschiedene, wichtige Sonnenstände zu überprüfen.

siehe Bild 3.25



Sonnenzifferblatt für Aussenmodelle

Aus «Sunlighting», W.C. LAM, VNR, 1986

Auf Halbkarton fotokopieren, ausschneiden und nach untenstehendem Modell falten

- Breitengrad gemäss Gebäudestandort einstellen
- Den zentralen Pfeil senkrecht zur Skalierung stellen
- Das gesamte Zifferblatt nun waagrecht in den Ebenen des Modells anbringen (Die Nordorientierung muss dabei berücksichtigt werden)
- Das Modell an der Sonne drehen, Monat und Stunden gemäss Schatten des Pfeiles ablesen.

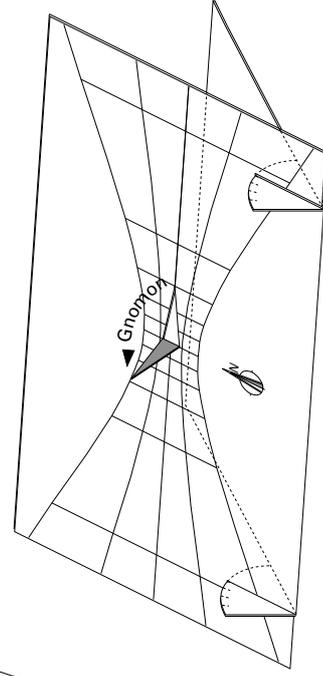
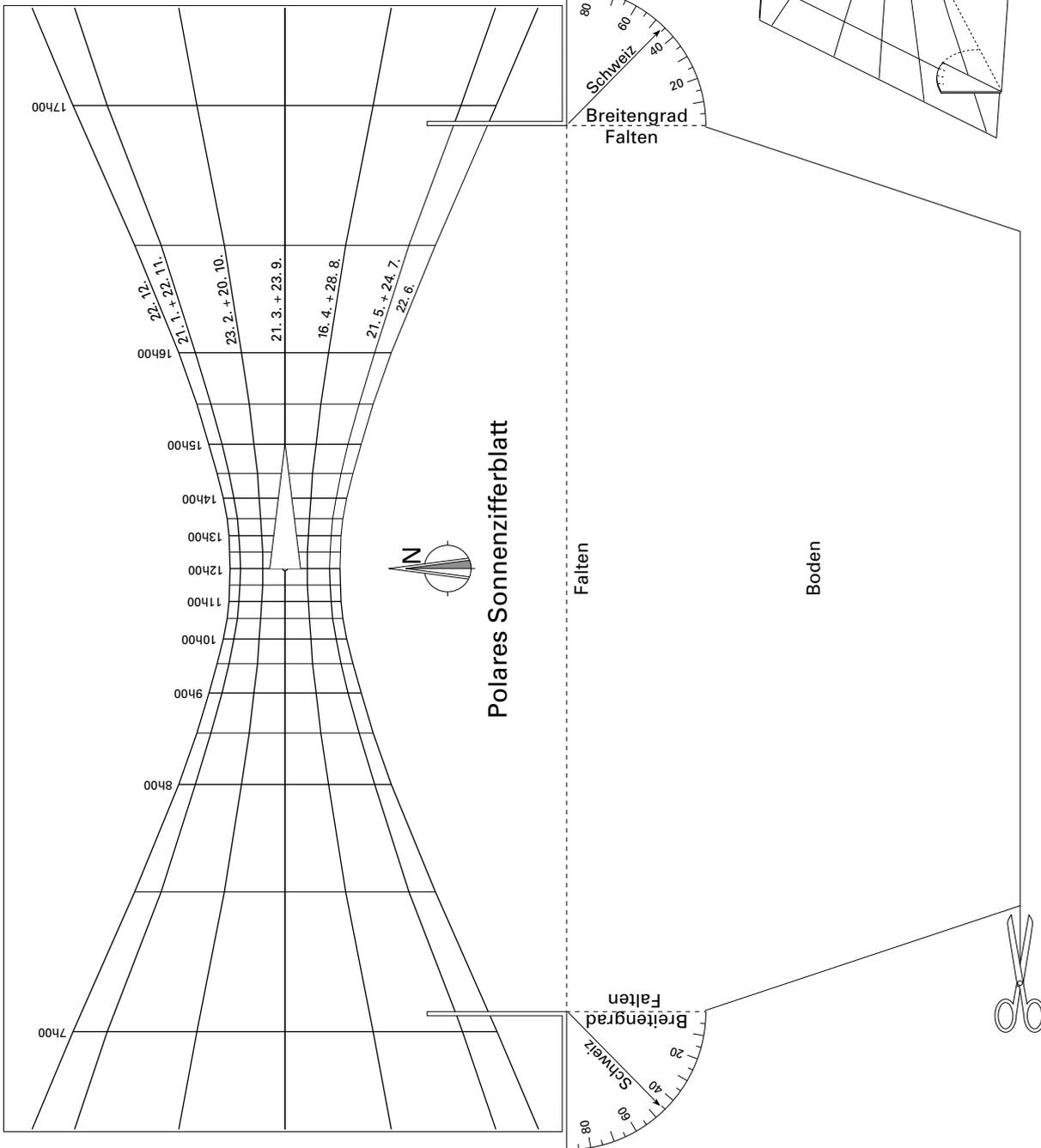


Bild 3.25: Polares Sonnenzifferblatt (für den Einsatz im Freien)



Messungen unter künstlichem Himmel

Der Vorteil eines künstlichen Himmels liegt in der jederzeit kontrollierbaren Verteilung seiner Leuchtdichten und somit der Wetterunabhängigkeit. Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von künstlichen Himmeln:

Spiegelhimmel

Der Spiegelhimmel besteht aus einer Decke aus diffusem Material, hinter welcher eine Vielzahl von Fluoreszenzlampen montiert sind. Die Lampen sind so angeordnet, dass die gesamte Fläche eine einheitliche Leuchtdichte abgibt. Die Wände des Raums sind mit Spiegeln bedeckt, die den Himmel vervielfältigen und ihn somit bis an den Horizont verlängern. Die Verteilung der Leuchtdichten steht dem CIE-Modell sehr nahe (Leuchtdichte des Zenits = 3 x Leuchtdichte des Horizonts). Das Modell wird in der Mitte dieses Raumes aufgestellt und vermessen, wenn sich niemand mehr darin befindet, damit die Lichtverteilung nicht beeinflusst wird.

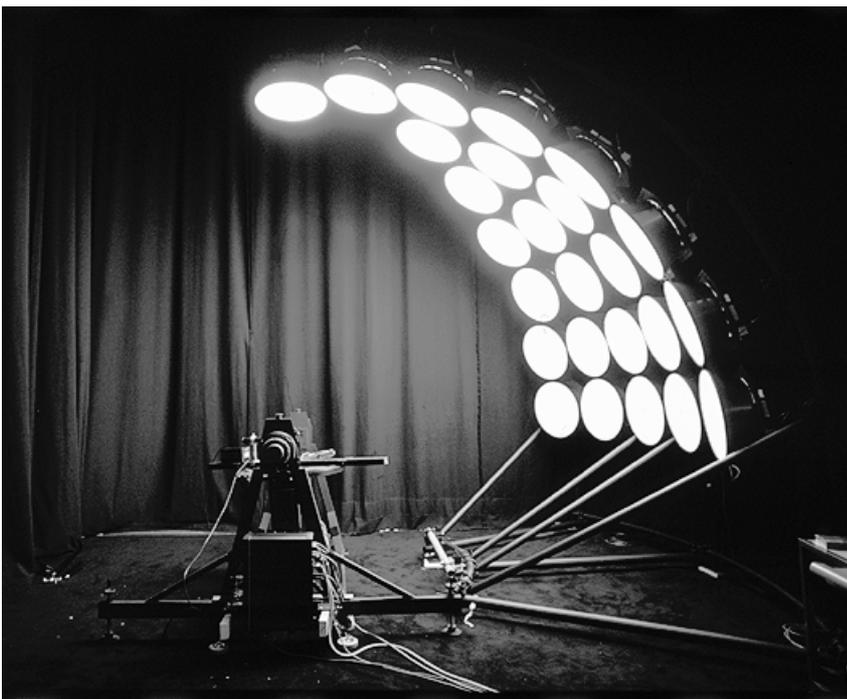
Abtasthimmel

Es handelt sich bei diesem Kunsthimmel um eine Halbkugel, die theoretisch aus 145 Lichtscheiben besteht. In Wirklichkeit ist aber nur $\frac{1}{6}$ des Himmelszeltes gebaut worden (25 Lichtscheiben). Die Simulation des gesamten Himmelszeltes geht dabei wie folgt vor sich:

siehe Bild 3.26

- Das Modell wird in die Mitte des Himmels gestellt und mit aufeinanderfolgenden 60°-Schritten gedreht.
- Bei jeder Position des Modells werden die Komponenten der Beleuchtungsstärke gemessen und Videoaufnahmen gemacht.
- Anschliessend werden alle Daten summiert. Daraus entsteht somit die globale lichttechnische Messung und die Veranschaulichung des visuellen Gesamteindrucks.

Jede Lichtquelle ist individuell einstellbar, wodurch sich eine grosse Auswahl an Himmelsarten simulieren lässt.



*Bild 3.26:
Simulation eines diffusen Himmels
(Kunsthimmel der ETH Lausanne)*



■ Messungen mit dem Heliodon

Mit dem Heliodon (oder Direktlichtgenerator) kann die Sonnenlaufbahn simuliert werden, für jeden Breitengrad, zur gewünschten Stunde und dem gewünschten Tag.

siehe Bild 3.27

Mit diesem Generator kann somit der dynamische Effekt des natürlichen Sonnenlichtes in die Studie miteinbezogen werden. Aufzeichnungen mittels einer Videokamera ermöglichen es, einen Tagesverlauf oder gar den Übergang von einer Jahreszeit zur anderen beschleunigt darzustellen. Anhand dieser Arbeitshilfe ist es ebenfalls möglich, Beleuchtungsprobleme gewisser Räume, wie auch Schatten- und Reflexionsprobleme der umliegenden Gebäude vorherzusehen und zu lösen.

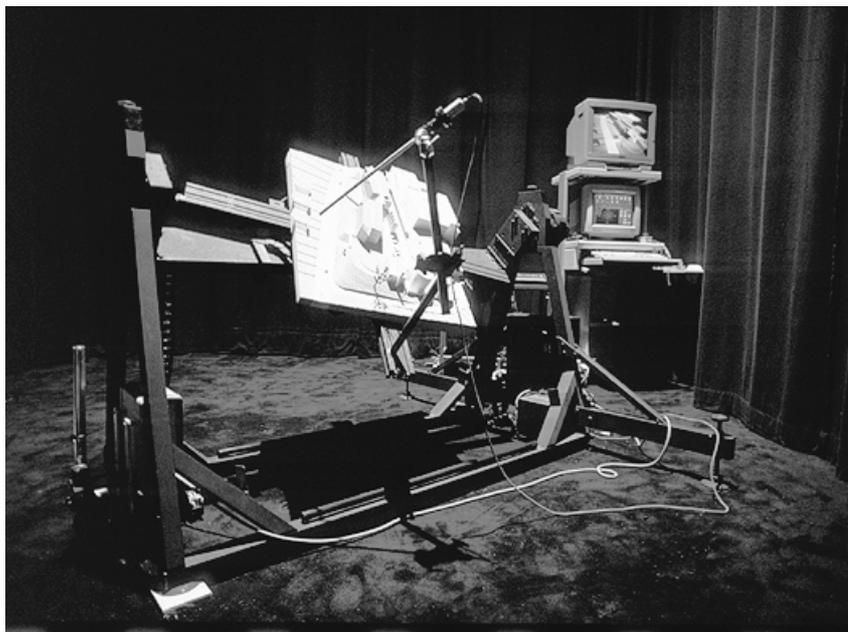


Bild 3.27:
Simulation des direkten Sonnenlichtes
(Heliodon der ETH Lausanne)

■ EDV-Programme

Die Ausbreitung des Lichtes in einem Raum kann ohne weiteres mit Computern berechnet werden. So können sehr präzise parametrische Studien realisiert werden, die man anhand von Modellen kaum durchführen könnte. So kann man z.B. sehr schnell und mit wenig Aufwand den Einfluss der Raumgeometrie, der lichttechnischen Eigenschaften der Wände, des Bodens und der Decke sowie der Neigung von Sonnenschutz abschätzen und quantifizieren.

Die Resultate sind in verschiedensten Formen verfügbar. Zum Beispiel als Computer-Bilder, Iso-Lux-Diagramme oder Sehkomfort-Diagramme (siehe Bilder 3.28, 3.29, 3.30).

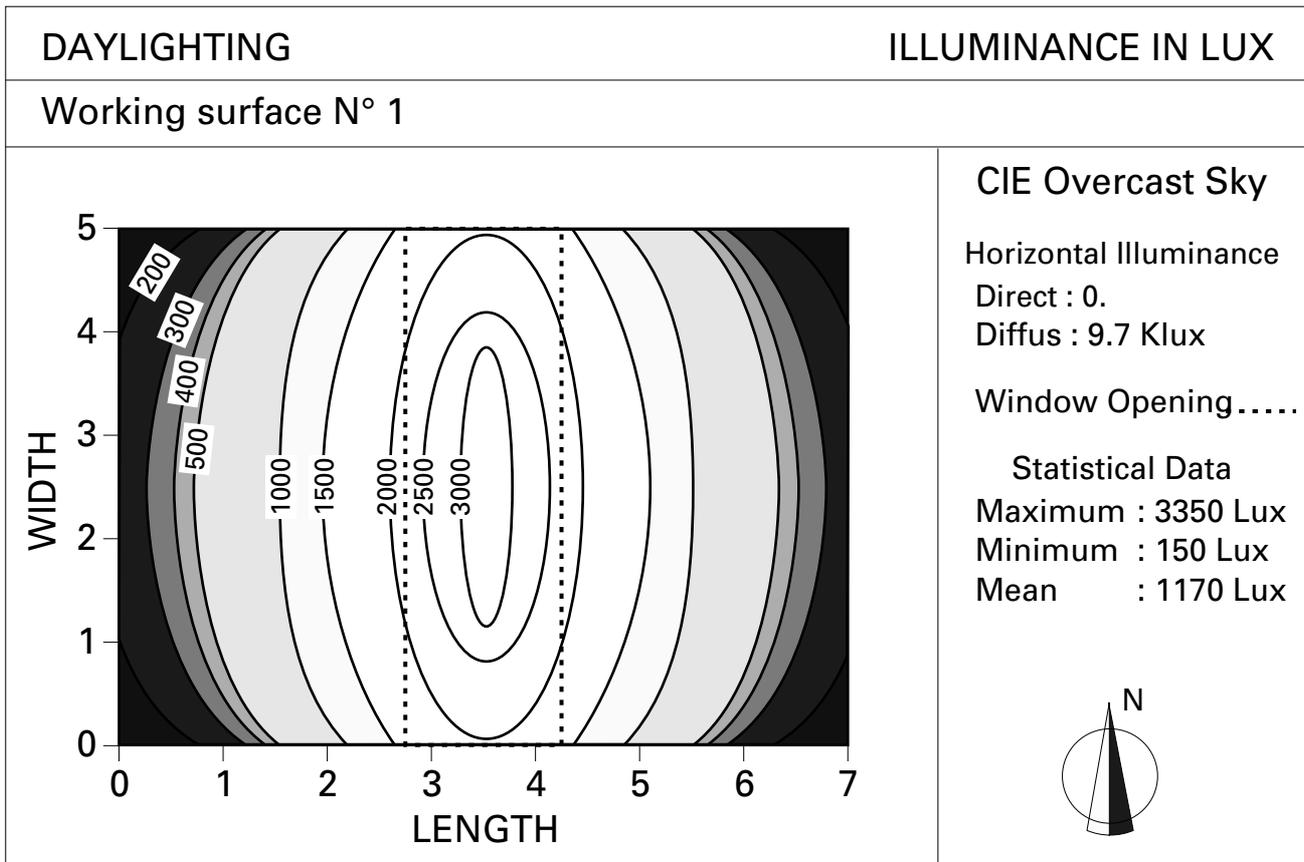


Bild 3.28:
Isoluxdiagramm (ADELINE, SUPERLITE)

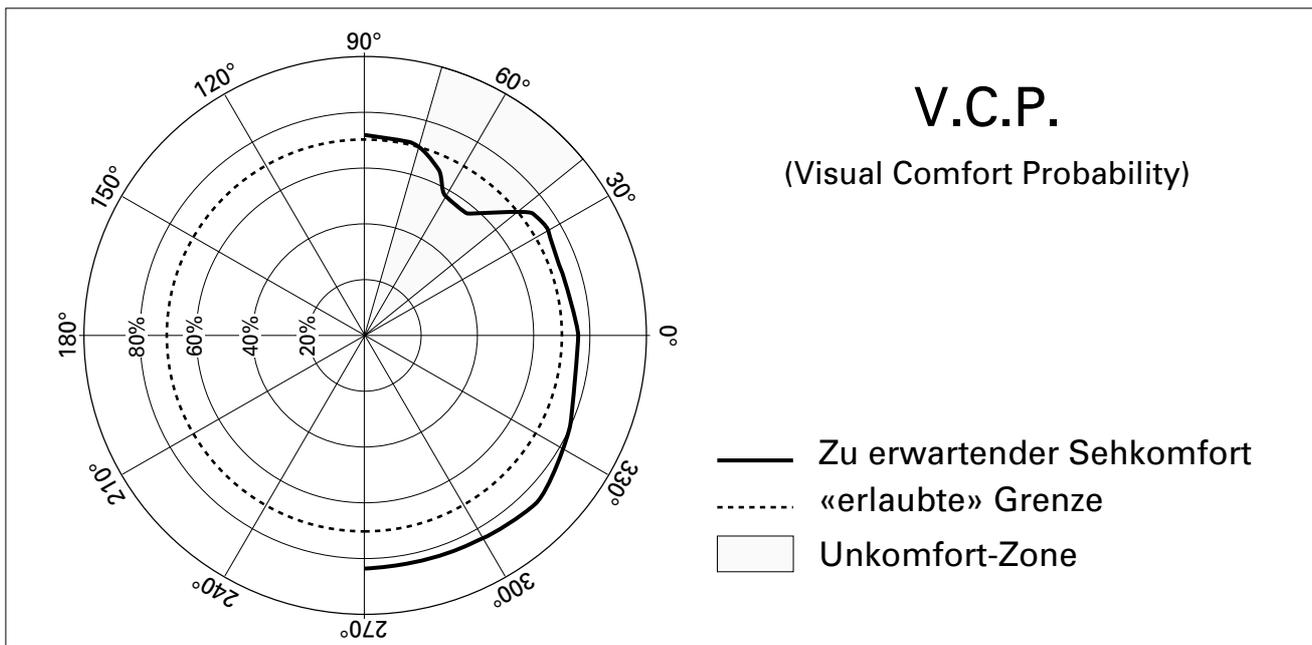


Bild 3.29:
Sehkomfortdiagramm (ADELINE, SUPERLITE)



Bild 3.30:
Computervisualisierung eines Raumes
mit Tageslicht (ADELINE/RADIANCE)

Auf dem schweizerischen Markt werden im wesentlichen folgende Programme heute (Herbst 1993) auf dem Markt angeboten:

Programm	Verwendung	Vertrieb
LUCY	Innen	(ErcO) Neuco
LMT-PLAN	Innen	Fluora, LMT
CALCULUX (LIDEC)	Innen	Philips
COPHOS	Innen	Zumtobel
LICHTPLAN	Innen	Schultheis
LUXUS	Innen	Züllig + Rhyner
PIN	Innen	Zumtobel
PEX	Aussen	Zumtobel
EXL	Sportplätze	BAG
SILICHT	Innen	Siemens
SISTR	Strassenbeleuchtung	Siemens
SIPLATZ	Plätze	Siemens
LICHT	Innen	Neuco (Trilux)
XENON	Innen	Tulux
LICHT05-PC/E	Aussen	AEG
LICHT05-PC/L	Strassenbeleuchtung	AEG
LICHT11-PC	Innen	AEG
RELUX	Innen	Regent
LUMENMICRO	Innen/Aussen + Tageslicht	LT (USA)
EASYLIGHTS	Innen/Strassenbel'g/Plätze	PRC Krochmann
EASYDAYS	Tageslicht	PRC Krochmann
SUPERLITE	Tageslicht	EMPA
ADELINE	Tageslicht innen/aussen	ETH Lausanne

Bild 3.31:
Liste verschiedener EDV-Programme für
lichttechnische Berechnungen /20/



3.5 Praktisches Beispiel

- Tageslichtsystem
Pathologisches Institut, Universität Bern



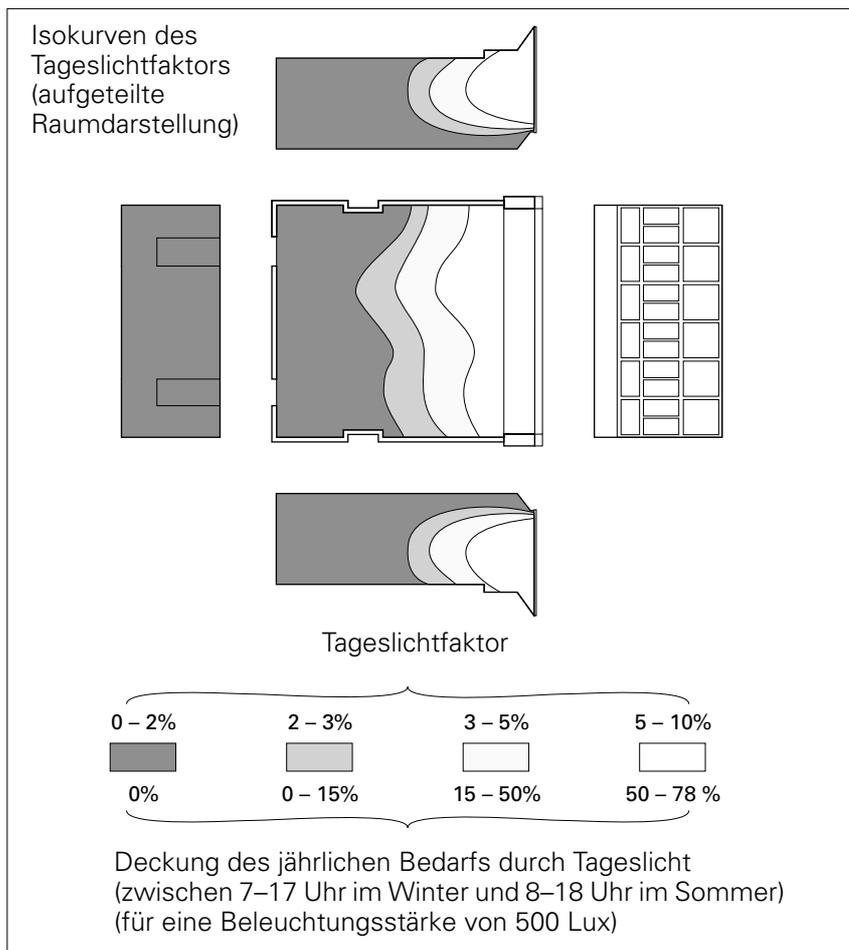
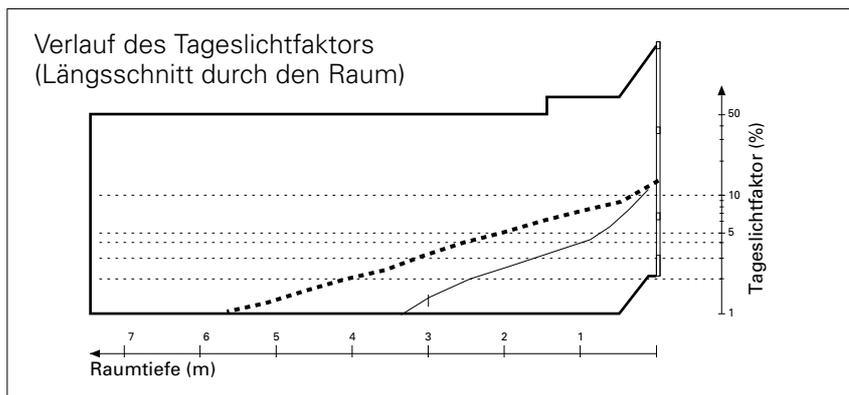
Bild 3.32:
Allgemeine Gebäudeansicht

Allgemeine Angaben

Gebäude	Pathologisches Institut, Universität Bern
Architekt	Itten & Brechbühl
Lage	Stadtlage
Ausrichtung der untersuchten Räume	Nord-Ost
Nutzung	Büro, Laboratorium, Schulungsräume
Bodenfläche	20'100 m ²
Planung	1986
Konstruktion	1991



Tageslichtsystem
Pathologisches
Institut,
Universität Bern
Raum 174

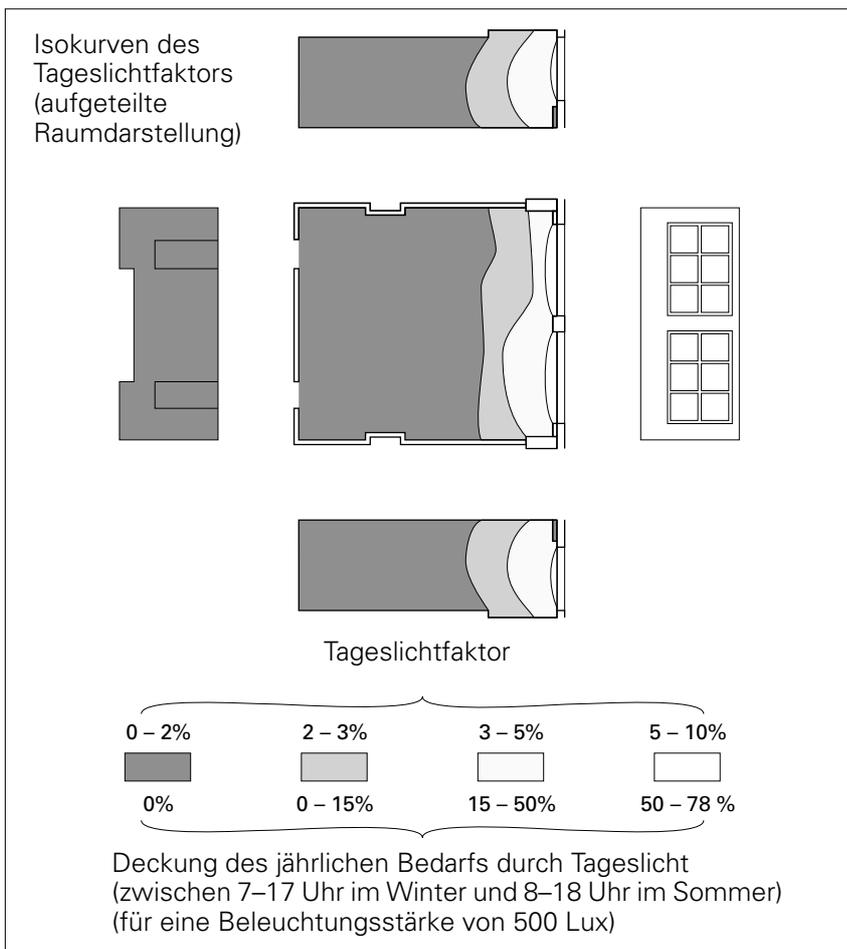
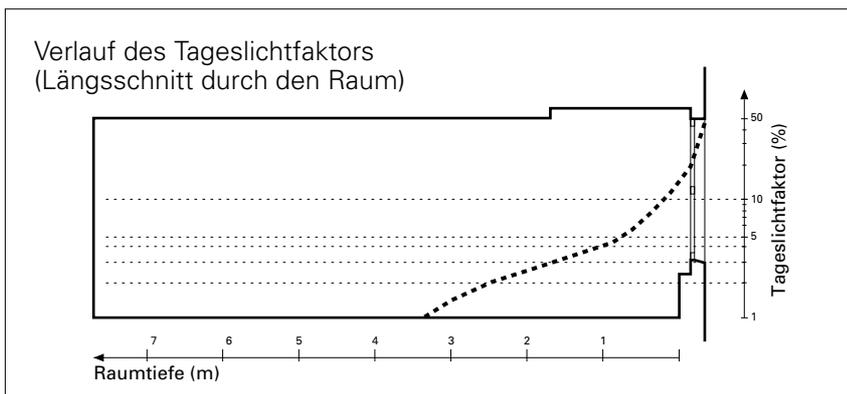


Raumeigenschaften

Fläche	52.65 m ²
Tiefe	7.45 m
Höhe	2.64 m
Fensterfläche	15.50 m ²
Korrigierter Öffnungsindex	29.5%
Reflexionsfaktor Decke (weisse Farbe, gelochtes Metall)	0.83-0.71
Reflexionsfaktor Wände (weisse Farbe, Rohbeton)	0.84-0.27
Reflexionsfaktor Boden (grauer Linoleum)	0.30
Verglasung	selektive Doppelverglasung
Sonnenschutz	Stoffstoren



Tageslichtsystem
Pathologisches
Institut,
Universität Bern
Raum 576



Raumeigenschaften

Fläche	54.45 m ²
Tiefe	7.70 m
Höhe	2.64 m
Fensterfläche	6.60 m ²
Korrigierter Öffnungsindex	12.1%
Reflexionsfaktor Decke (weisse Farbe, gelochtes Metall)	0.81-0.71
Reflexionsfaktor Wände (weisse Farbe, Rohbeton)	0.84-0.27
Reflexionsfaktor Boden (grauer Linoleum)	0.30
Verglasung	selektive Doppelverglasung
Sonnenschutz	bewegliche Lamellenstoren



■ Hauptmerkmal

Das wesentliche Merkmal dieses Gebäudes ist die Gestaltung der Oberschwellen. In einem Teil der Räume (im 1. und 2. Geschoss) sind sie abgeschrägt, was zu einer vergrößerten Fensterfläche im oberen Bereich führt (siehe Lokal 174). Der Vergleich mit einem Raum mit herkömmlicher Oberschwelle (siehe Lokal 576) zeigt einen erheblichen Gewinn der Tageslichtnutzung, vor allem im hinteren Teil des Raumes. Die Abdeckung der jährlichen Lichtbedürfnisse im Raum 174 kann somit zu einem guten Teil mit Tageslicht gewährleistet werden.



4 Kunstlicht-Techniken

4.1 Büro und Zonen	69
4.2 Ziele des Kunstlichts	70
4.3 Parameter und Kriterien eines Beleuchtungsprojekts	72
■ Allgemeines Umfeld	72
4.4 Arten von künstlicher Beleuchtung	73
■ Direktbeleuchtung	73
■ Indirektbeleuchtung	82
■ Direkt-/Indirekt-Beleuchtung	84
■ Zwei-Komponenten-Beleuchtung	86
4.5 Lichtsteuerungen	88
4.6 Schlussbilanz	90
4.7 Praktische Beispiele	91
■ Sanierung einer Kunstlichtanlage UAP-Gebäude, Lausanne	91
■ Ausmass der Sanierung	92
■ Vergleich der Anlagen	92
■ Eigenschaften der sanierten Beleuchtungsanlage	93
■ Energieeinsparung	94
■ Kostenanalyse	94
■ Sanierung einer Kunstlichtanlage EDMZ-Gebäude, Bern	95
■ Ausmass der Sanierung	95
■ Vergleich der Anlagen	96
■ Eigenschaften der neuen Beleuchtungsanlage	97
■ Energieeinsparungen	98
■ Kostenanalyse	98



4 Kunstlicht-Techniken

4.1 Büro und Zonen

Das Wort Büro ist viel älter als die Erfindung des elektrischen Lichts, welche ungefähr hundert Jahre zurückliegt. Ein Büro war damals ein Möbel, ein Tisch oder ein Sekretär.

Die allgemeine Industrialisierung und Mechanisierung hat die Aktivitäten einer Mehrzahl von Menschen der sogenannten «zivilisierten» Welt zuerst von den Feldern in Ateliers und Fabriken und dann von den Fabriken in Büros verlegt. Heute ist ein Büro ein Raum, in dem Möbel und Tische stehen und Arbeitsplätze angeordnet sind.

Ein Dienstleistungsgebäude oder eine Bürofläche ist oft in Zonen oder Sektoren aufgeteilt:

- Zellenbüros
- repräsentative Zellenbüros (Image)
- Grossraumbüros
- Konferenzräume (mit oder ohne audio-visueller Ausrüstung)
- Schulungsräume
- Empfangsräume
- Archive
- Verkehrsflächen.

Im allgemeinen wird von diesen Flächen eine grosse Modularität und Mobilität verlangt, um sie den laufenden Entwicklungen der Betriebe bestmöglich anzupassen. Die Flexibilität der Raumunterteilung ist von grösster Bedeutung und dies ganz besonders in Gebäuden mit mehreren Mietern.

Dieses Kapitel beschäftigt sich vor allem mit der Beleuchtung in den ersten drei Arten von Zonen. Natürlich wird dabei dem Bildschirmarbeitsplatz ganz spezielle Aufmerksamkeit geschenkt.

Die auszuführenden Arbeiten in einem Büro spielen sich grundsätzlich auf zwei Ebenen ab:

- Horizontale Ebene: Lesen, schreiben, zeichnen.
- Vertikale Ebene: Bildschirmarbeit, zeichnen auf Brett, Zugriff zu Kästen und Regalen.

Die horizontalen Arbeitsflächen befinden sich im allgemeinen auf 0.85 m Höhe. Die normale Raumhöhe beträgt ungefähr 3 m.



4.2 Ziele des Kunstlichts

Das Kunstlicht muss hauptsächlich folgende Aufgaben erfüllen:

- Die erfolgreiche Abwicklung einer Sehaufgabe ermöglichen (Sehvermögen).
- Das Wohlbefinden der Mitarbeiter garantieren (Sehkomfort).
- Eine gewisse Emotion hervorrufen (visuelle Geborgenheit).

Die Beleuchtung ist in erster Linie auf das Auge abgestimmt, welches ja des Menschen wichtigstes Informationsorgan ist. Dies ist natürlich nur optimal möglich, wenn die Zustände der physiologischen Umgebung auf den Prozess der Wahrnehmung angepasst sind.

Die Anforderungen an die verschiedenen Techniken der künstlichen Beleuchtung sind hoch und müssen eine Vielzahl von Qualitätskriterien erfüllen. Dies betrifft sowohl objektive, berechenbare und messbare Kriterien, als auch subjektive, nicht messbare Werte, die vor allem vom Wohlbefinden des Menschen abhängen (Komfort, Gefühle, Emotionen). Licht beeinflusst also nicht nur die Sicht, sondern wirkt sich auch direkt auf den Komfort und die Stimulierbarkeit und dadurch auf die Leistung und Sicherheit des Menschen aus.

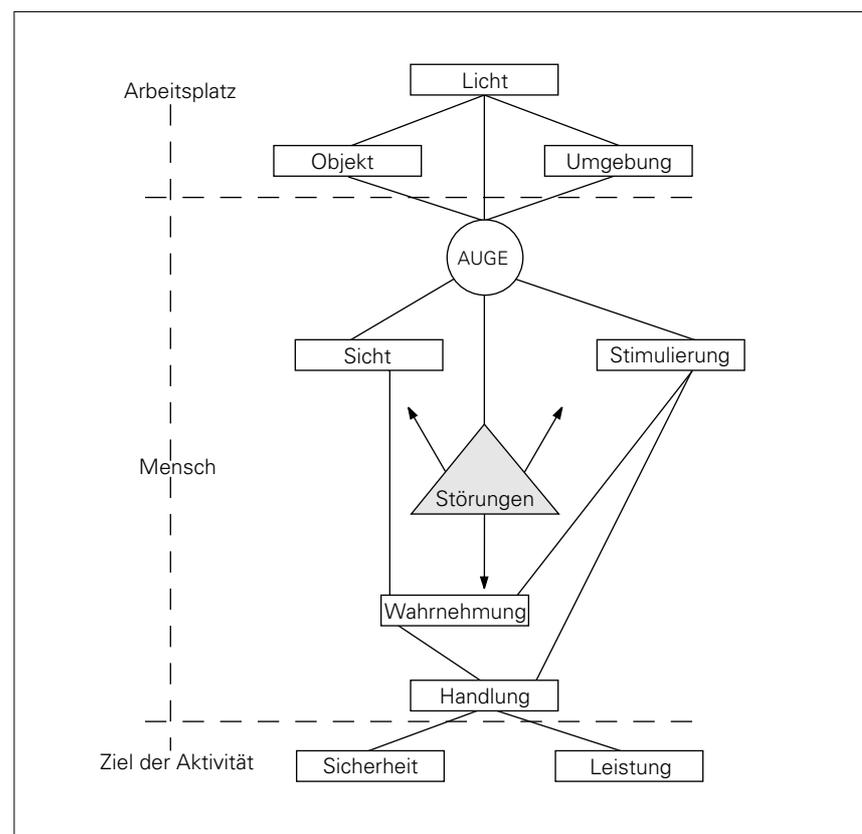


Bild 4.1:
Schematische Darstellung des Lichteinflusses auf den arbeitenden Menschen



Das Licht dringt auf drei verschiedene Arten in das Auge ein:

- direkt von der Quelle (Fenster, Beleuchtungskörper)
- durch Reflexion an einem Objekt (Arbeitsplatz)
- durch Reflexion der Umgebung (Wände, Decke, Mobiliar).

Das vom Objekt reflektierte Licht ist dabei ausschlaggebend. Es bestimmt Wahrnehmung und Tätigkeit (siehe Bild 4.1), wobei die Geschwindigkeit und Qualität dieses Prozesses von der Stimulierbarkeit (geistige Flexibilität) abhängt, welche wiederum auch vom Licht gesteuert wird.

Im Gegensatz zur Sehfunktion, ist die Wahrnehmung hauptsächlich ein geistiger Prozess. Er ist es, der die Akzeptanz der Beleuchtung und das Wohlbefinden des Menschen am Arbeitsplatz bestimmt. Zum heutigen Zeitpunkt sind noch nicht alle Aspekte, die diesen Prozess auslösen, bekannt.

Ganz allgemein gelten aber folgende Regeln als erwiesen:

Allgemeine Regeln der künstlichen Beleuchtung

Das Sehvermögen des Menschen ist auf das natürliche Tageslicht abgestimmt. Eine gute Beleuchtung muss also versuchen, die selben Bedingungen zu schaffen:

- Die Leuchten sollen möglichst grossflächig sein (Nachbildung des Himmelszeltes).
- Die Leuchte soll über der Horizontlinie installiert sein.
- Die Leuchtdichtenverteilung im Blickfeld soll ausgeglichen sein.
- Eine harmonische Leuchtdichtenverteilung ist anzustreben.
- Die vertikale Beleuchtungsstärke muss mindestens $\frac{1}{3}$ der horizontalen betragen.
- Sanfte Schattenverläufe, ausser bei direkter Sonneneinstrahlung.
- Spiegelungen und störende Reflexionen sind zu vermeiden.



4.3 Parameter und Kriterien eines Beleuchtungsprojekts

■ Allgemeines Umfeld

Der Beleuchtungsspezialist muss sehr früh in ein Projekt miteinbezogen werden, damit

- er das Objekt kennenlernt (Struktur, Raster, Volumen, Zonen, Ausrichtungen, Sonnenschutz, Baustoffe, etc.)
- er die Bedürfnisse des Bauherrn definieren kann (Energieeinsparungen etc.)
- er die örtliche Flexibilität des Mobiliars mitbestimmen kann (Zonenunterteilung, Flexibilität der Arbeitsplätze)
- er die Integration der Beleuchtungskörper den architektonischen Gegebenheiten anpassen oder diejenigen gegebenenfalls mitbestimmen kann.

Qualitätskriterien

Folgende Parameter sind für die Qualität der Beleuchtung massgebend:

- geeignete horizontale und vertikale Beleuchtungsstärke
- Schutz gegen Spiegelungen und Indirektblendung
- Begrenzung der Direktblendung
- harmonische Verteilung der Leuchtdichten
- Energieeinsparungen
- Schattenverteilung
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe.

Um diese meist subjektiven Parameter bestmöglich in ein Projekt miteinzubeziehen, muss der Beleuchtungsspezialist bei der Wahl des Beleuchtungssystems folgende technischen Parameter berücksichtigen:

Technische Parameter

- Abschätzung des Anteils an nutzbarem Tageslicht
- Typ der Lichtquellen
- Typ der Beleuchtungskörper
- Anordnung der Beleuchtungskörper (Richtung des Lichtes auf den Arbeitsplatz)
- Steuerung der Beleuchtung
- Energieverbrauch
- Wartungsprobleme
- thermische Lasten
- Kosten (Investition und Unterhalt).

Der Energieverbrauch, d.h. vielmehr die Energieeinsparung, hängt in erster Linie von der Lichtschaltung ab, in zweiter Linie haben auch die anderen technischen Parameter einen gewissen Einfluss.



4.4 Arten von künstlicher Beleuchtung

Die vier hauptsächlichsten Beleuchtungsarten für Büroräume können wie folgt zusammengefasst werden:

- Direktbeleuchtung
- Indirektbeleuchtung
- Direkt-/Indirektbeleuchtung
- Zwei-Komponenten-Beleuchtung.

Seit der Entwicklung der Fluoreszenzlampen (1950) ist die Direktbeleuchtung die meist verbreitete Lösung.

■ Direktbeleuchtung

Bei dieser Art von Kunstlichterzeugung wird das Licht der Lichtquelle direkt auf die Arbeitsoberfläche gelenkt.

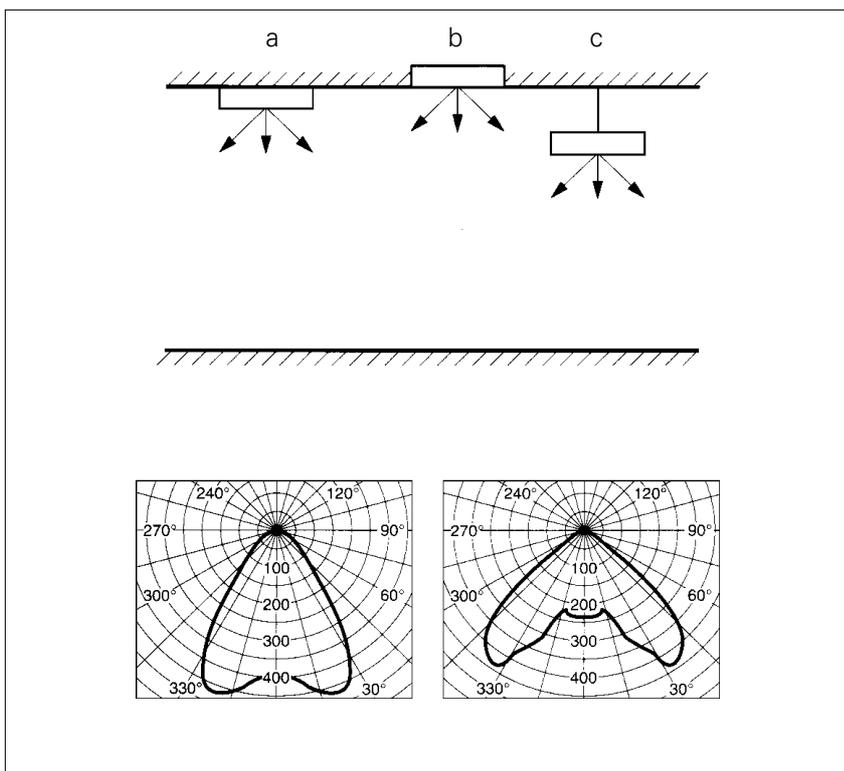


Bild 4.2:
Prinzip der Direktbeleuchtung a) Aufbau,
b) Einbau, c) abgehängt

Die Lichtverteilungskurven zeigen die jeweiligen Lichtstärken in Candela. Intensität und Form (Ausstrahlungswinkel) dieser Kurven werden durch die Art der Lichtquelle (Lichtstrom) und durch die Bauweise des Beleuchtungskörpers und seiner Optik (Reflektoren, Spiegelraster, etc.) bestimmt. Die Beispiele des Bildes 4.2 zeigen die Kurven von zwei direktstrahlenden Leuchten. Die linke ist tiefstrahlend und die rechte breitstrahlend (sogenannte Batwingverteilung, da ihre Form an die Flügel einer Fledermaus erinnert).



Wichtige Bemerkungen zu Fluoreszenzlampe

Vorschaltgeräte für Fluoreszenzlampe, wie sie bei der Beleuchtung gebraucht werden, weisen einen nicht vernachlässigbaren Eigen-Energieverbrauch im Vergleich zu den Lichtquellen selbst dar. Dieser Verbrauch kann bei älteren Modellen bis zu 30% des Gesamtenergieverbrauchs darstellen.

Folgende, energiesparende Vorschaltgeräte sind zu bevorzugen:

- Verlustarme Vorschaltgeräte (Eigenverbrauch 5–7 W pro 36-W-Lampe).
- Elektronische Vorschaltgeräte (Eigenverbrauch 3–5 W pro 36-W-Lampe, zudem Lampe nur 32 W).
- Bei Sanierungen von alten Beleuchtungsanlagen kann das Ersetzen der Vorschaltgeräte durch energiesparende Modelle grosse Energieeinsparungen bewirken.

Beleuchtungskörper mit Diffusoren oder Lamellenrastern

Diese Art von Beleuchtungskörpern erzeugt eine gute Allgemeinbeleuchtung für Arbeitsplätze ohne Bildschirme. Es ist aber zu bemerken, dass störende Spiegelungen auftreten können.

Die Bilder 4.4 und 4.5 veranschaulichen zwei Beispiele einer Direktbeleuchtung in einem Zellenbüro und in einem Grossraumbüro.

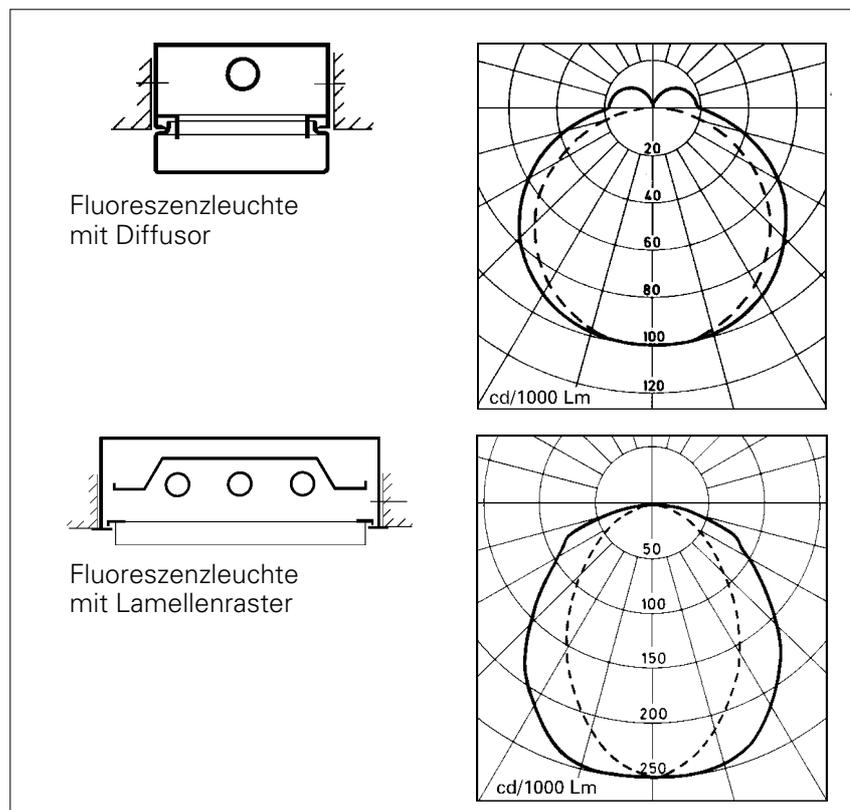


Bild 4.3:
Leuchten für Arbeitsplätze ohne Bildschirme



Eigenschaften einer Direktbeleuchtung bei Beleuchtungskörpern mit Diffusoren oder Lammellenrastern

- Mit diesen Beleuchtungskörpern kann die installierte Leistung in Räumen mit guter Tageslichtnutzung in der Regel auf etwa 7 W/m^2 oder auf 15 W/m^2 für Räume ohne Tageslichtnutzung herabgesetzt werden.
- In sehr guten Fällen kann mit einer tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung eine mittlere Leistung von etwa 3 W/m^2 erreicht werden.
- Mit diesen Beleuchtungskörpern gibt es lediglich einen geringen Schutz gegen direkte oder indirekte Spiegelungen. Lamellenraster sind diesbezüglich etwas besser als Diffusoren.
- In grossen Büroräumen müssen die Beleuchtungskörper parallel zur Fassade angeordnet sein. Ihre Steuerung sollte reihenweise vorgesehen werden und wenn möglich per Tageslichtfühler geschaltet sein. Die Anordnung kann natürlich unterbrochen werden, wenn architektonische Gegebenheiten dies verlangen (z.B. Unterteilungen der Flächen).
- Die Verteilung der Leuchtdichten ist gut.

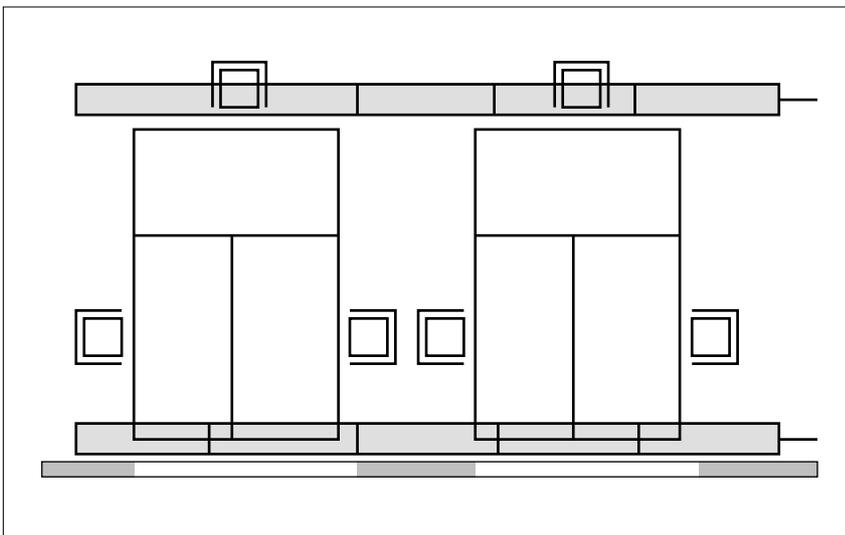


Bild 4.4:
Leuchtenanordnung in einem konventionellen Büro

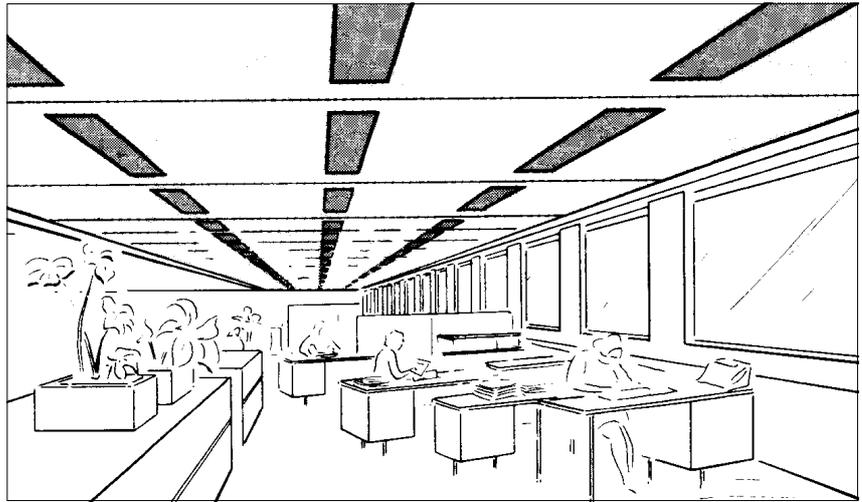


Bild 4.5:
Leuchtenanordnung in einem Gross-
raumbüro (hohe Flexibilität bei der An-
ordnung der Arbeitsplätze)



Bild 4.6:
Direktleuchten in einem Zellenbüro (mit
Lamellenraster)



Direktbeleuchtung durch Leuchtdecke

Je grösser die Fläche der ausstrahlenden Lichtquelle ist (Leuchtdecke), desto kleiner wird das Risiko, Blendungen zu verursachen bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke (Verringerung der Leuchtdichten).

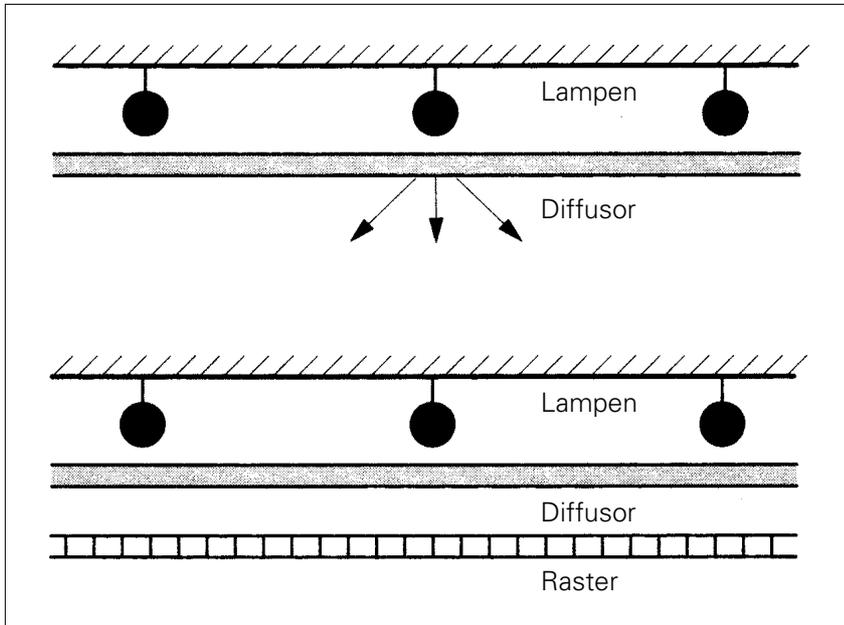


Bild 4.7:
Leuchtende Decke, a) mit Diffusor, b) mit Raster

Diese Beleuchtungsart kann in grossflächigen Büroräumen angewendet werden, insofern sich die Arbeitsplätze mindestens 6 m von den Fenstern entfernt befinden. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage aber ist eher schlecht, darum wird diese Lösung auch kaum angewandt.

Eigenschaften einer Direktbeleuchtung durch Leuchtdecke

- Diese Beleuchtungsart ist ihres schlechten Wirkungsgrades wegen nicht empfehlenswert. Diese Lösung ist somit auch vom energetischen Standpunkt aus nicht vertretbar.
- Ein weiteres Problem ist die Reinigung der Diffusoren.

Direktbeleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

Die Ziele einer künstlichen Beleuchtungsanlage haben sich durch die Einführung permanent oder teilweise gebrauchter EDV nicht geändert. Die Kriterien des Blendungsschutzes und einer angemessenen Leuchtdichtenverteilung sind jedoch in diesem Bereich wesentlich wichtiger.

Der Bildschirm mit seinem Spiegeleffekt und seiner eigenen Leuchtdichte verlangt nach einer neuen Beleuchtungsstrategie, in der man entweder die herkömmlichen Beleuchtungskörper oder die Beleuchtungsart den neuen Gegebenheiten anpasst. Die Eigenschaften der Beleuchtungskörper



per, die für eine Direktbeleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen in Frage kommen, müssen dessen geometrischen Betrachtungen Rechnung tragen.

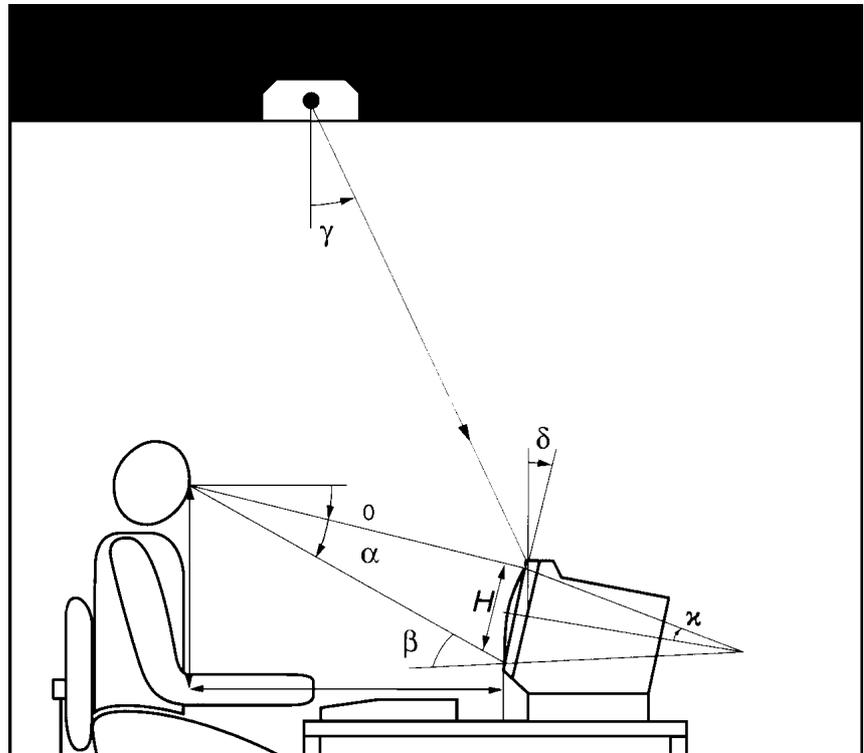


Bild 4.8:
Geometrie an einem Bildschirmarbeitsplatz. Basis für die Bestimmung des Ausstrahlungswinkels γ

Die Beleuchtungskörper, welche diesen Anforderungen entsprechen, sind mit einer verspiegelten Optik bestückt. Diese Optik hat die Aufgabe, die Leuchtdichten, welche an der Oberfläche der Lichtquelle auftreten, zu verringern. Die Lichtausstrahlung erfolgt gezielt, um Direkt- und Indirektblendungen zu vermeiden.

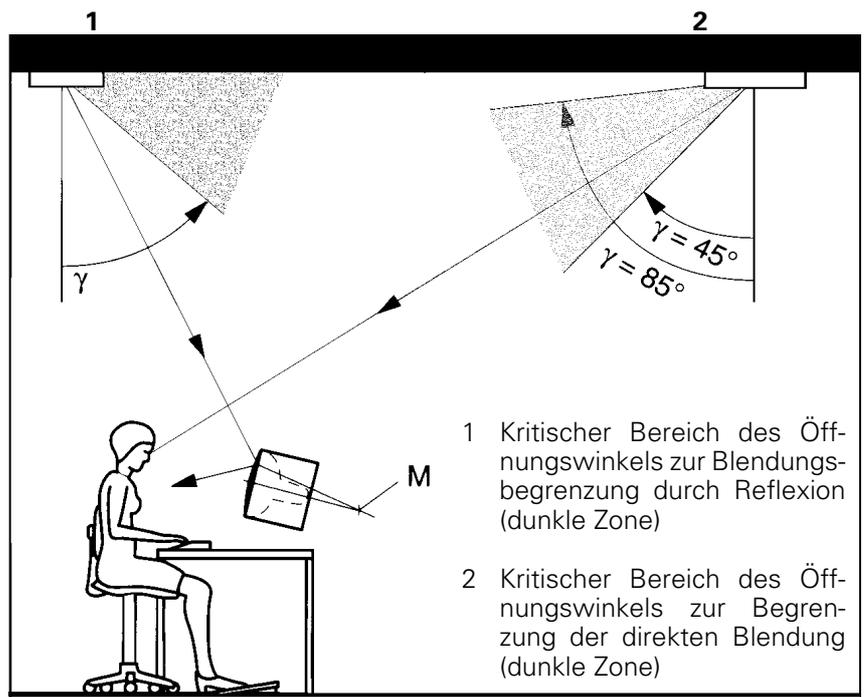


Bild 4.9:
Die Leuchtdichtereduktion im kritischen Ausstrahlungsbereich verhindert Blendungen



Diese Technik der Lichtlenkung hat sich fast ausschliesslich um das Vermeiden oder wenigstens um eine starke Verringerung von Spiegelungen und Reflexionen auf den Bildschirmen gekümmert. Dieses Ziel ist denn auch meistens, wenn auch manchmal zum Nachteil der Benutzer, erreicht worden.

Folgende Vor- und Nachteile kennzeichnen diese Leuchten:

Eigenschaften einer Direktbeleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

- Diese Beleuchtungsart bedeutet im allgemeinen einen relativ geringen Energieverbrauch.
- Die vertikale Beleuchtungsstärke ist sehr klein im Vergleich zur horizontalen Beleuchtungsstärke. Somit können grosse störende Kontraste, Spiegelungen und Reflexionen auf horizontalen Flächen auftreten (Pult, Tastatur, Papier).
- Die Zone über einem Ausstrahlungswinkel von 45° zur Senkrechten ist kaum beleuchtet. Decken und Wände erscheinen darum sehr dunkel ($L < 200 \text{ cd/m}^2$). Aus diesem Grund spricht man auch von «Darklight» bei dieser Beleuchtung. Es entsteht ein sogenannter «Höhleffekt».
- Wie oben aufgezeigt, zeichnen sich die Leuchten wegen der verspiegelten Optik im relevanten Ausstrahlungsbereich durch kleine Leuchtdichten aus. Die Gefahr von Spiegelungen auf den Bildschirmen ist somit minim.
- Die Leuchtdichteverteilung ist sehr unregelmässig und steht in krassem Gegensatz zum Tageslicht (welches man logischerweise «Clearlight» nennen sollte). Diese Beleuchtungsart ist demzufolge häufig Stein des Anstosses bei den Benützern.

Trotz dieser Nachteile ist diese Beleuchtungsart immer noch sehr verbreitet. Eine automatische oder manuelle Steuerung kann das System wohl etwas verbessern, ohne jedoch den Eindruck einer wirklich guten Beleuchtung zu hinterlassen.

Die Anordnung der Beleuchtungskörper wird meistens symmetrisch und parallel zu den Fenstern geplant, um damit eine einheitliche Allgemeinbeleuchtung zu schaffen.

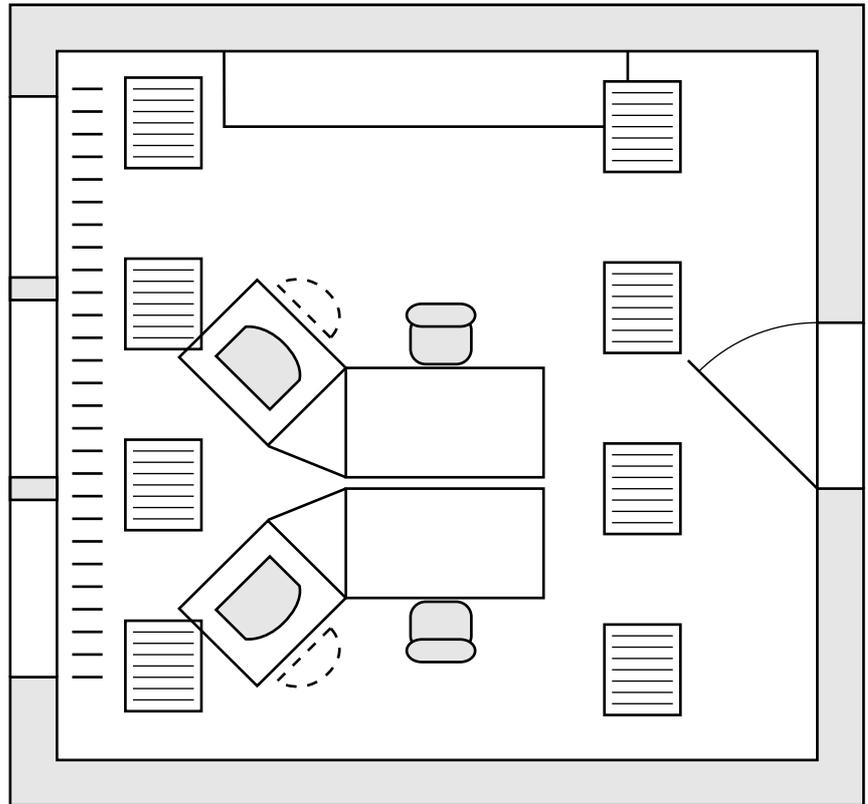


Bild 4.10:
Gleichmässige Anordnung von quadratischen Spiegelrasterleuchten in einem Zellenbüro

Die Anordnung der Arbeitsplätze bleibt dadurch frei. Man sollte jedoch darauf achten, das Mobiliar immer den Beleuchtungskörpern nach auszurichten, um so wenig störende Spiegelungen und Reflexionen wie möglich zu schaffen. Diese Beleuchtungsart ist sowohl in kleinen Einzelbüros wie auch in Grossraumbüros anwendbar.



Bild 4.11:
Beispiel einer Direktbeleuchtung mit
«darklight»-Rastern



■ Indirektbeleuchtung

Bei einer Indirektbeleuchtung wird die Decke als Reflektor verwendet. Die Beleuchtungskörper sind dabei entweder an derselben Decke aufgehängt, stehen als Ständerleuchten im Raum oder sind an Wänden befestigt. Als Lichtquellen eignen sich vor allem Fluoreszenz- und Entladungslampen (Metall dampflampen). Bei gleicher Beleuchtungsstärke ist der Energieverbrauch dieser beiden Lampentypen ungefähr identisch. Dieser Energieverbrauch ist deutlich geringer als derjenige von Halogen-Glühlampen, die sich wegen ihrer schlechten Lichtausbeute nicht für eine Indirektbeleuchtung eignen (ausgenommen im Wohnbereich).

Entladungslampen können, ihrer sehr kompakten Bauweise wegen, in kleinste Leuchten integriert werden. Sie sind jedoch im Gegensatz zu den Fluoreszenzlampen nicht bzw. nur mit sehr hohem Aufwand regulierbar. Bei Verwendung von effizienten Beleuchtungskörpern, kann man Indirektbeleuchtungen mit installierten Leistungen von 12 W/m^2 konzipieren.

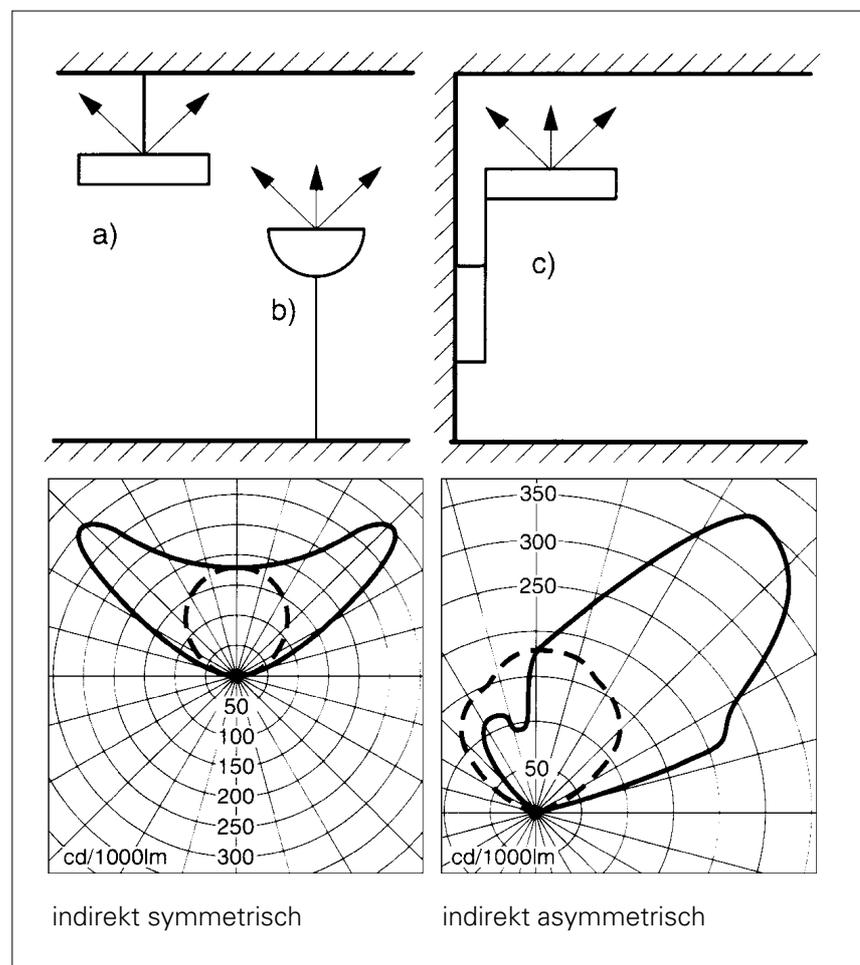


Bild 4.12:
Prinzip einer Indirektbeleuchtung,
a) abgependelt,
b) Ständerleuchte,
c) Wandleuchte

Diese Beleuchtungsart kann genausogut als Allgemeinbeleuchtung, wie auch als punktuelle Arbeitsplatzbeleuchtung verwendet werden.



Der Wirkungsgrad einer Indirektleuchte kann durch folgende Faktoren gesteigert werden :

- Manuelle oder automatische Steuerung des Lichtstroms.
- Mechanische Einstellung der Optik, um die optimale Form und Leuchtdichte der diffusierenden Deckenfläche zu erreichen.

Eigenschaften einer Indirektbeleuchtung

Vorteile

- Guter Schutz gegen Blendung, weil das Licht von der Decke reflektiert wird und somit keine Direktblendung verursacht.
- Gute Leuchtdichteverteilung (wie bei Tageslicht).
- Gutes Verhältnis von horizontaler zu vertikaler Beleuchtungsstärke.
- Gute Energiesparmöglichkeiten durch die individuelle Schaltung am Arbeitsplatz (Licht wird also nur bei Bedarf gebraucht). Damit dieses Wunschdenken Praxis wird, müssen die Benutzer entsprechend informiert und ermutigt werden. Diese Einsparung kann bis zu 50 % betragen, im Vergleich zu einer Direktbeleuchtung mit manueller Schaltung (für ein Büro mit 4 oder mehr Arbeitsplätzen).
- Grosse Freiheit bezüglich der Anordnung der Arbeitsplätze (die Leuchte ist mobil). Das anfallende «Restlicht» genügt im allgemeinen, um den Bedarf der Zirkulationszonen zu decken.
- Der Unterhalt vereinfacht sich, da keine Deckeninstallationen vorhanden sind.

Nachteile

- Diese Beleuchtungsart kann übermässigen Energieverbrauch mit sich ziehen, wenn die falschen Lichtquellen verwendet werden (z. B. Halogen-Glühlampen).
- Geringe Schattenbildung (beeinträchtigt Wahrnehmung von dreidimensionalen Objekten).
- Die Leuchtdichte der Decke kann unter Umständen zu hoch sein.



Bild 4.13:
Beispiel indirektstrahlender Leuchten
(mit Kompakt-Fluoreszenzlampen)

■ Direkt-/Indirektbeleuchtung

Diese Beleuchtungsart ist der soeben beschriebenen Indirektbeleuchtung gleichzusetzen, unterscheidet sich jedoch in einem Punkt von ihr. Ein Teil des Lichtes wird nämlich bei diesem Beleuchtungssystem direkt auf die Arbeitsfläche ausgestrahlt (Direkt-Anteil). Der überwiegende Teil des Lichtes jedoch wird auf indirektem Weg über die Decke abgestrahlt. Bei gewissen Beleuchtungskörpern werden beide Anteile, der direkte und der indirekte, von ein und derselben Lichtquelle produziert, bei anderen Leuchten wiederum ist dies die Aufgabe von zwei getrennten Lichtquellen.

Die Vorteile dieses Systems sind dieselben wie diejenigen einer reinen Indirektbeleuchtung. Als weiterer Vorteil schafft der Direkt-Anteil eine willkommene Schattigkeit auf der Benutzeroberfläche und reduziert die Leuchtdichten an der Decke.



Damit die Vorteile dieser Beleuchtungsart voll genutzt werden können, muss sie den örtlichen Gegebenheiten der Arbeitsplätze angepasst werden. Der Indirekt-Teil der Beleuchtung genügt im allgemeinen als Basisbeleuchtung. Der Direkt-Teil sollte auf den Arbeitsplatz gerichtet werden. Der genaue Standort der Leuchten ist sehr wichtig und daher mit Sorgfalt zu bestimmen. Von diesem Standort hängt die Qualität der Ausleuchtung der Arbeitsoberfläche ab.

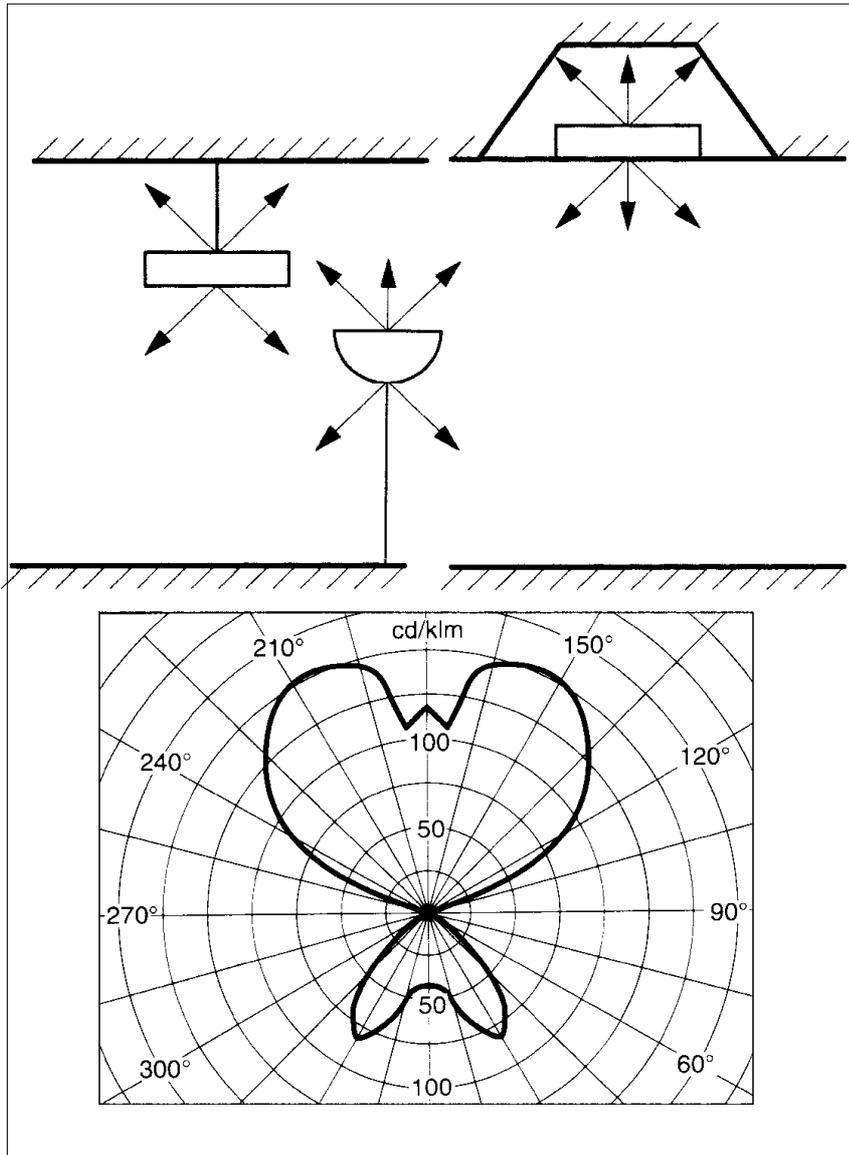


Bild 4.14:
Kombination von Direkt- und Indirekt-
beleuchtung

Die Verwendung von Fluoreszenzlampen ist unerlässlich, wenn man eine angemessene installierte Leistung von etwa 10 W/m^2 und damit natürlich einen vernünftigen Energieverbrauch erreichen will.



Zwei-Komponenten-Beleuchtung

Das Prinzip dieser Beleuchtung ist folgendes:

- Die erste Komponente garantiert eine direkte oder indirekte Allgemeinbeleuchtung von reduzierter Beleuchtungsstärke (ca. 300 Lux auf der Arbeitsoberfläche).
- Eine zweite Komponente liefert die zusätzlich benötigte Beleuchtungsstärke gezielt im Arbeitsbereich.

Die Allgemeinbeleuchtung, wenn sie auch reduziert ist, muss dieselben Qualitätskriterien erfüllen, wie die vorangehend beschriebene Direktbeleuchtung. Die Kombination mit einer gezielten Arbeitsplatzbeleuchtung darf nicht zu hohe Kontraste zwischen der horizontalen Arbeitsfläche und der Decke und den Wänden hervorrufen, damit die Sehfunktionen der Benutzer nicht übermässig beansprucht werden und dadurch schnell ermüden.

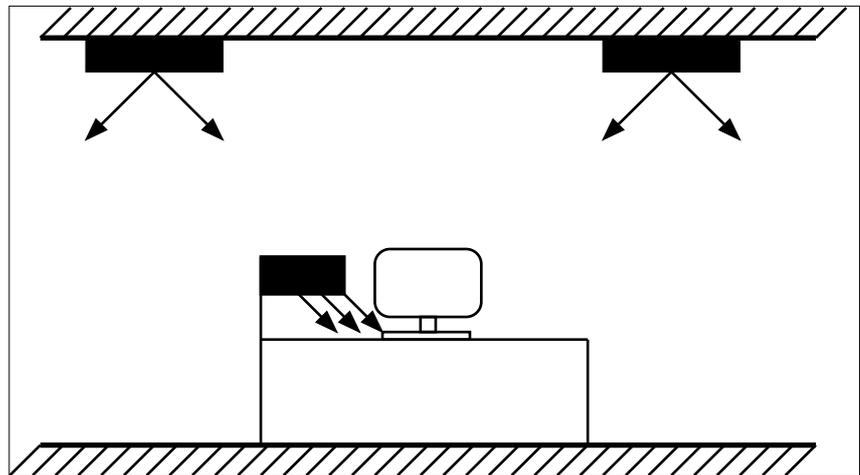


Bild 4.15:
Zwei-Komponenten-Beleuchtung mit
direktem Allgemeinteil

siehe auch Bild 1.1

Eine indirekte Allgemeinbeleuchtung, kombiniert mit einer gezielten Arbeitsplatzbeleuchtung, wird erfahrungsgemäss von den Benutzern besser akzeptiert, als die in Bild 4.15 gezeigte Variante.

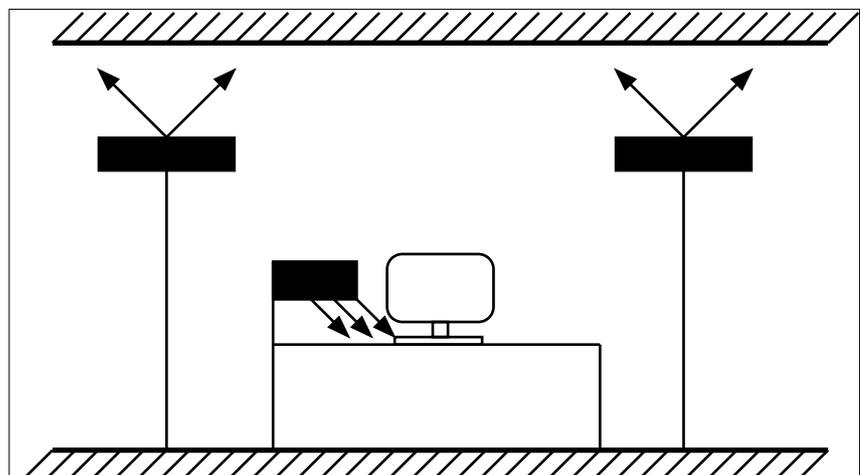


Bild 4.16:
Zwei-Komponenten-Beleuchtung mit
indirektem Allgemeinteil



Die Wahl der gezielten Arbeitsplatzbeleuchtung ist sehr schwierig. Störungen, die durch Blendungen verursacht werden, sind natürlich zu vermeiden, sowohl für den Benutzer selbst, wie auch für die Benutzer der benachbarten Arbeitsplätze. Beleuchtungskörper mit schwenkbarer Aufhängung und schwacher Leuchtdichte, eventuell sogar regulierbar, sind dafür geeignet. Halogen-Glühlampen sind wegen ihres hohen Energieverbrauchs und ihrer grossen Leuchtdichte auf jeden Fall zu vermeiden. Jede Komponente dieser Beleuchtung sollte unabhängig schaltbar sein und vom jeweiligen Benutzer selbst gesteuert werden.

Eigenschaften einer Zwei-Komponenten-Beleuchtung

- Die schwache Beleuchtungsstärke der Allgemeinbeleuchtung erlaubt es, merkliche Energieeinsparungen zu machen.
- Die Verwendung von effizienten Lichtquellen (Fluoreszenz- und Entladungslampen) ist aber absolut notwendig (keine Halogen-Glühlampen verwenden).
- Das Zuschalten der gezielten Arbeitsplatzbeleuchtung nur bei Bedarf beinhaltet ein weiteres Energiesparpotential, das aber nur bei genügender Information und daraus entstehender Disziplin der Mitarbeiter zu verwirklichen ist. Die Regulierbarkeit der Lichtquellen ist ein weiterer Schritt zur rationellen Verwendung der Energie.
- Zusätzliche Stromeinsparungen können auch in diesem Fall mit tageslichtabhängiger Steuerung der Beleuchtung erzielt werden.



4.5 Lichtsteuerungen

Drei hauptsächliche Faktoren bestimmen die Wirtschaftlichkeit einer Anlage:

- die Qualität der Beleuchtung (Akzeptanz der Benutzer).
- die finanzielle Investition.
- die Unterhaltskosten (Wartung, Energieverbrauch).

Die Steuerung einer Beleuchtungsanlage beeinflusst alle drei dieser Faktoren. Der Verbrauch oder genauer ausgedrückt die Energieeinsparung hängt stark von der Wahl einer angemessenen Steuerung ab. Eine Steuerung ist angemessen, wenn:

- verantwortungsbewusste Mitarbeiter die Beleuchtung selber bedarfsabhängig schalten können,
- das Tageslicht optimal genutzt wird (das Tageslicht muss also immer in die Beleuchtungsplanung miteinbezogen werden!),
- die Beleuchtung am richtigen Ort, d.h. dort, wo sie auch wirklich gebraucht wird, vorzufinden ist.

siehe Bild 4.17

Es ist interessant festzustellen, dass schon die Römer diese Techniken Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung angewandt haben.

Der folgende Kasten fasst die verschiedenen Möglichkeiten der energiesparenden Lichtsteuerungen zusammen.

Lichtsteuerungen und Energieeinsparungen

Verschiedene Steuerungsarten können (je nach Objekt) sinnvoll sein.

- Ein- und Ausschalten der Beleuchtung individuell und unabhängig, je nach Bedarf am Arbeitsplatz, pro Pult oder Sektor.
- Einschalten der Beleuchtung wie beschrieben, aber Ausschalten mit zentraler Steuerung zu vorgegebenen Zeiten (z.B. Mittagspause, Arbeitsende) oder in Abhängigkeit des Tageslichts (z.B. in Stufen von 25%).
- Einschalten der Beleuchtung wie beschrieben und Regulierung derselben in Abhängigkeit des Tageslichts von 100–0%.

Vorsichtsmassnahmen

- Die Schaltschwelle der maximalen Beleuchtungsstärke muss anpassbar sein, um einerseits die Alterung der Anlage zu kompensieren und andererseits den individuellen Bedürfnissen der Benutzer entgegenzukommen (die Anforderungen an die Beleuchtung für einen Zwanzigjährigen sind nicht dieselben, wie die für einen Sechzigjährigen). Der Maximalwert sollte jährlich geprüft und angepasst werden.
- Die Wahl zwischen automatischer und manueller Schaltung sollte gegeben sein, da dadurch die Akzeptanz der Anlage und die individuelle Anpassungsfähigkeit an verschiedene Arbeitsbedingungen vergrößert werden.



*Bild 4.17:
Rundfenster, welches das Labrum
(Waschbecken) im Caldarium (Thermal-
bäder von Pompei, Architect Vitruve)
beleuchtet. Mittels eines rechteckigen
Lichtschachtes wird der Rest des
Raumes erhellt.*

Eine Steuerung, wie sie soeben beschrieben wurde, bedeutet für den Bauherrn eine relativ grosse Investition. Je nach Beleuchtungsart aber kann diese Investition schon in ein paar Jahren durch die Energieeinsparungen amortisiert werden. Dies trifft z.B. bei einer tageslichtabhängig gesteuerten, direkten Fluoreszenzbeleuchtung in der Regel zu.



Heutzutage können auch mobile Beleuchtungskörper für Indirekt- oder Direkt-/Indirektbeleuchtung mit automatischen oder manuellen Regulierungseinheiten versehen werden. Mit solchen Leuchten kann ebenfalls in den meisten Fällen eine merkliche Energiereduktion erzielt werden.

4.6 Schlussbilanz

Die visuelle und auch geistige Beanspruchung heutiger Benutzer von modernen Büroarbeitsplätzen wächst ständig. Aus diesem Grund steigen die Anforderungen an solche Arbeitsplätze stetig, wobei die Beleuchtung eine wichtige Rolle spielt. Trotzdem sind Energiesparmassnahmen auch im Bereich der Beleuchtung eine nicht zu umgehende Notwendigkeit geworden. Die Anforderungen, die an ein Beleuchtungskonzept gestellt werden, sind daher oft widersprüchlich.

Die Planung einer Beleuchtungsanlage, die sich auf die bloße Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke stützt, ist heute nicht mehr denkbar. Der sehr komplexe Prozess der Wahrnehmung ist schlussendlich der entscheidende Faktor für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Von ihm hängt auch die Akzeptanz der Beleuchtung ab. Die Aufgabe des Planers ist es also, diesen Kriterien mit der geplanten Anlage gerecht zu werden. Dieses Vorhaben kann nur gelingen, wenn der Planer über die nötige Erfahrung und eine gewisse Feinfühligkeit verfügt und neuen Problemen gegenüber immer wieder offen ist (z.B. Energieeinsparungen, etc.).



4.7 Praktische Beispiele

■ Sanierung einer Kunstlichtanlage UAP-Gebäude, Lausanne



Bild 4.18:
Ansicht des UAP-Gebäudes in Lausanne

Allgemeine Angaben

Gebäude	UAP, Lausanne
Bauherr	Union des assurances de Paris
Bauherr (Sanierung)	Bonnard & Gardel, Lausanne
Standort	Av. de Cour 26, 1006 Lausanne
Nutzung	Büroräume
Konstruktion	Erdgeschoss + 4 Obergeschosse
Bodenfläche	2000 m ² (davon 400 m ² Verkehrsfläche)
Baujahr	1969
Sanierung	1991



■ Ausmass der Sanierung

Die Sanierung betraf die Neuverteilung der Büro- und Verkehrszonen, die Erneuerung der Hohldecke, sowie auch die Anpassung der existenten Beleuchtungsanlage an die neuen Gegebenheiten. Diese Anlage ist samt ihrer Verkabelung komplett ersetzt und in die neue Hohldecke eingebaut worden.

Nach der Sanierung befinden sich in einem Standardbüro sechs Leuchten (vor der Sanierung waren es zehn), wovon vier tageslichtabhängig geschaltet und die zwei verbleibenden Leuchten, im hinteren Teil des Raumes, manuell geschaltet werden.

■ Vergleich der Anlagen



Bild 4.19:
Ansicht der alten Beleuchtungsanlage

Alte Anlage

Beleuchtungskörper	FL 1 x 40 W mit opalem Acrylglasdiffusor
Lichtquelle	Fluoreszenzlampe T 40 W/34, 38 mm Durchmesser
Vorschaltgerät	Konventionell (Verlust 13 W)
Lichtstrom	2060 lm
Energieverbrauch/Leuchte	53 W



Bild 4.20:
Ansicht der neuen Beleuchtungsanlage

Neue Anlage

Beleuchtungskörper	1 x T 50 W mit verspiegelter Optik und hohem Wirkungsgrad
Lichtquelle	Fluoreszenzlampe T 50 W/83, 26 mm Durchmesser
Vorschaltgerät	Elektronisch (Verlust 5 W)
Lichtstrom	5200 lm
Energieverbrauch/Leuchte	55 W

■ Eigenschaften der sanierten Beleuchtungsanlage

Die Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsoberfläche ist vor und nach der Sanierung gemessen worden. Die Messwerte bestätigen eine grosszügige Erhöhung der anfänglichen Kennzahlen:

- Alte Anlage: $E_m = 240 \text{ Lux}$
- Neue Anlage: $E_m = 620 \text{ Lux}$

Nicht nur die Beleuchtungsstärke ist erhöht worden, sondern auch die Qualität der Lichtverhältnisse:

- keine direkten Blendungen mehr durch die Beleuchtungskörper
- bessere Lichtverteilung im Raum
- kein Flimmern der Lampen mehr.



■ Energieeinsparung

Trotz der grossen Erhöhung der Beleuchtungsstärke, sind während der Messperiode merkliche Energieeinsparungen aufgezeichnet worden (47% des Jahresverbrauchs eingespart). Diese Reduktion erklärt sich vor allem durch eine Verringerung der installierten Leistung, sowie durch die tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung. Würde man die Beleuchtungsstärke bis auf den minimal zulässigen Wert von 300 Lux (gemäss den Empfehlungen für Büroräume) reduzieren, so wäre die Energieeinsparung gar 73%.

Folgende Tabelle illustriert, zu Vergleichszwecken, die Verbrauchermerkmale eines Geschosses vor und nach der Sanierung:

Verbraucher	Alte Anlage	Neue Anlage
Anzahl Leuchten	122	85
Installierte Leistung:		
Büro	16 W / m ²	12 W / m ²
Korridor	15 W / m ²	8 W / m ²
Jahresverbrauch:		
Büro	–	6550 kWh
Korridor	–	1920 kWh
Geschoss gesamt	15 880 kWh	8470 kWh

■ Kostenanalyse

Das Ausmass der ausgeführten Sanierung erschwert eine genaue Kostenanalyse. Diese Analyse ist auch kaum gerechtfertigt, da die neue Anlage eine weit bessere Qualität an Beleuchtung liefert. Trotzdem haben sich die Unterhaltskosten merklich reduziert:

Jahreskosten	Alte Anlage	Neue Anlage
Elektro-Energie	3080.–	1650.–
Lampenersatz	590.–	210.–
Wartung	500.–	180.–
Unterhalt gesamt	4170.–	2040.–

Für das gesamte Gebäude beträgt die Verringerung der jährlichen Unterhaltskosten der Beleuchtungsanlage somit ca. Fr. 8500.–, wovon $\frac{2}{3}$ auf den Minderverbrauch von Elektro-Energie zurückzuführen sind (Preis der kWh Elektro = 19.5 Rp.) /19/.



Sanierung einer Kunstlichtanlage EDMZ-Gebäude, Bern



Bild 4.21:
Ansicht des EDMZ-Gebäudes in Bern

Allgemeine Angaben

Gebäude	EDMZ Bern
Bauherr	Amt für Bundesbauten
Planer (Sanierung)	Piazza Ber. Ing. / 2500 Biel
Standort	Fellerstr. 21, 3027 Bern-Bümpliz
Nutzung	Bundesamt für Drucksachen und Material
Konstruktion	2 Untergeschosse, 1 Erdgeschoss + 5 Obergeschosse
Bodenfläche	34 000 m ² (davon 29 000 m ² Lager)
Baujahr	1964
Sanierung	1990

Ausmass der Sanierung

Bei dieser Sanierung sind die Beleuchtungskörper wie auch die Vorschaltgeräte durch leistungsfähigere Elemente ersetzt worden. Die Verkabelung ist so angepasst worden, dass die Anlage jetzt in zwei Zonen aufgeteilt ist: Die eine in der Nähe der Fensterfront, die andere in der Mitte der Räume. Neue Schalter sind bei den Zugängen zu den Räumen installiert worden. Eine aussergewöhnliche Vorgangsweise hat zur Definition der neuen Beleuchtung geführt. Es wurden drei verschiedene Varianten versuchsweise in entsprechenden Räumlichkeiten aufgebaut (Direkt-, Indirektbeleuchtung und Direkt-/Indirektbeleuchtung), wo sie dann von den Benutzern ausgewählt werden konnten. Schliesslich wurde einer Direktbeleuchtung mit kleiner Leuchtdichte der Vorrang gegeben /18/.



Vergleich der Anlagen

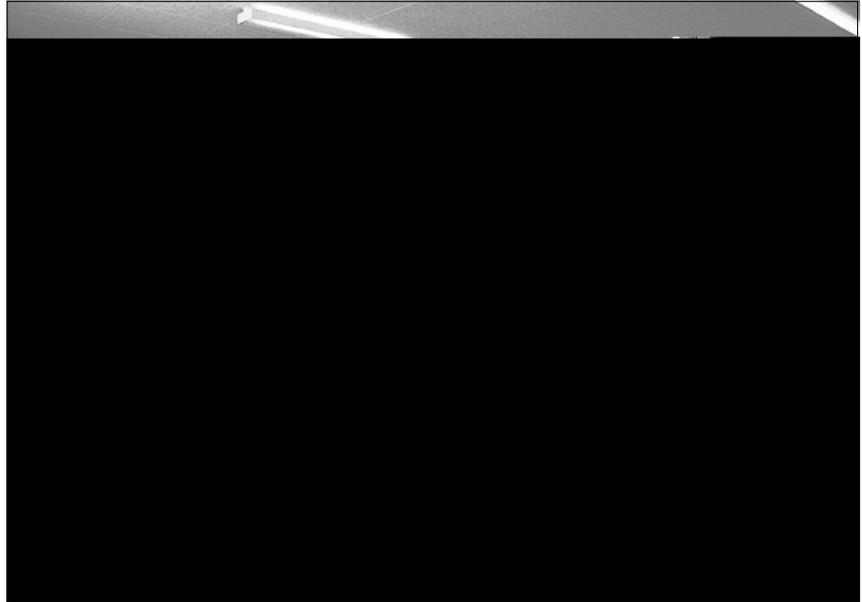


Bild 4.22:
Ansicht der alten Beleuchtungsanlage
der Büros

Alte Anlage

Beleuchtungskörper	zweiflämmige Rasterleuchte
Lichtquelle	Fluoreszenzlampen T 36 W, 26 mm Durchmesser
Vorschaltgeräte	KVG (1967)
Energieverbrauch/Leuchte	109 W ($\cos \phi = 0.531$)

Neue Anlage

Beleuchtungskörper	Spiegelrasterleuchte 1 x T 36 W
Lichtquelle	Fluoreszenzlampe T 36 W, 26 mm Durchmesser
Vorschaltgeräte	Verlustarm VVG (1990)
Energieverbrauch/Leuchte	43 W ($\cos \phi = 0.482$)

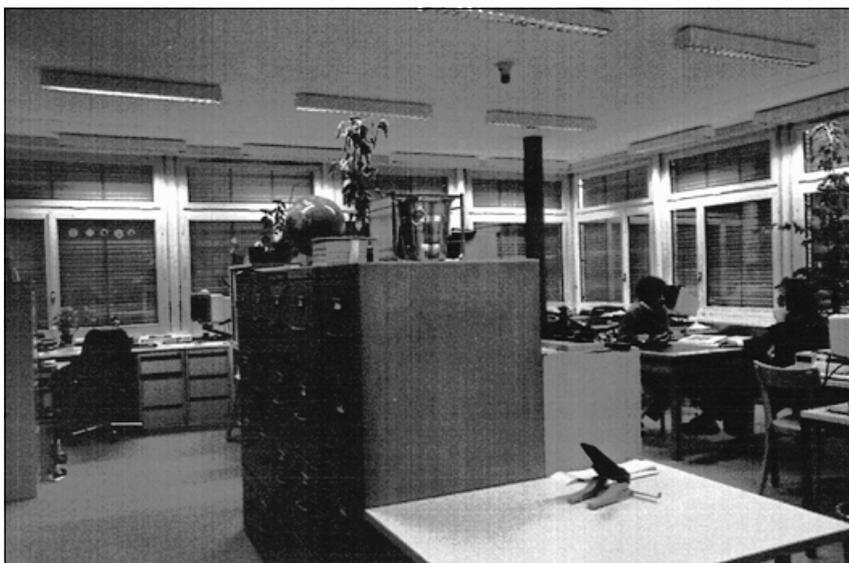


Bild 4.23:
Ansicht der neuen Beleuchtungsanlage

Folgende Tabelle fasst die wesentlichen Merkmale der Sanierungsarbeiten zusammen :

Räume	Anzahl Beleuchtungskörper	
	Alte Anlage	Neue Anlage
Lager	2'825 (1 x 36 W, KVG)	1'934 (1 x 58 W, EVG)
Büro	1'430 (2 x 36 W, KVG)	1'090 (1 x 36 W, VVG)
Korridore	50 (2 x 36 W, KVG)	50 (2 x 18 W, VVG)
Treppenhäuser	32 (2 x 36 W, KVG)	32 (1 x 36 W, VVG)
Leuchten gesamt (Anzahl Lampen)	4'337 (5'849)	3'259 (3'259)

■ Eigenschaften der neuen Beleuchtungsanlage

Die neuen, berechneten Werte der Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsoberfläche sind die folgenden :

- Büro: $E_m = 480 \dots 600$ [Lux]
- Lager: $E_m = 290 \dots 370$ [Lux]

Nach der Sanierung haben die Benutzer anhand von Fragebogen die neue Beleuchtungsanlage beurteilt, wobei sich sehr klar eine grosse Zufriedenheit herausstellte. Subjektive Kriterien wie Sehkomfort, Farbwahrnehmung und lichtbezogene Stimmung im Raum sind im allgemeinen mit «gut» und «optimal» bezeichnet worden.



Energieeinsparungen

Wegen der geringeren installierten Leistung (9 bis 12 W/m², im Vergleich zu anfänglich 25 W/m² in den Büroräumen) wurde eine entsprechende Verringerung des Energieverbrauches erwartet. Ein Vergleich der geschätzten Energieverbrauchswerte ist in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die erwartete Jahresenergieeinsparung beträgt etwa 75%.

Techn. Merkmale	Alte Anlage	Neue Anlage
Installierte Leistung	103 kW	34 kW
Jahresverbrauch	170'000 kWh	45'000 kWh

Kostenanalyse

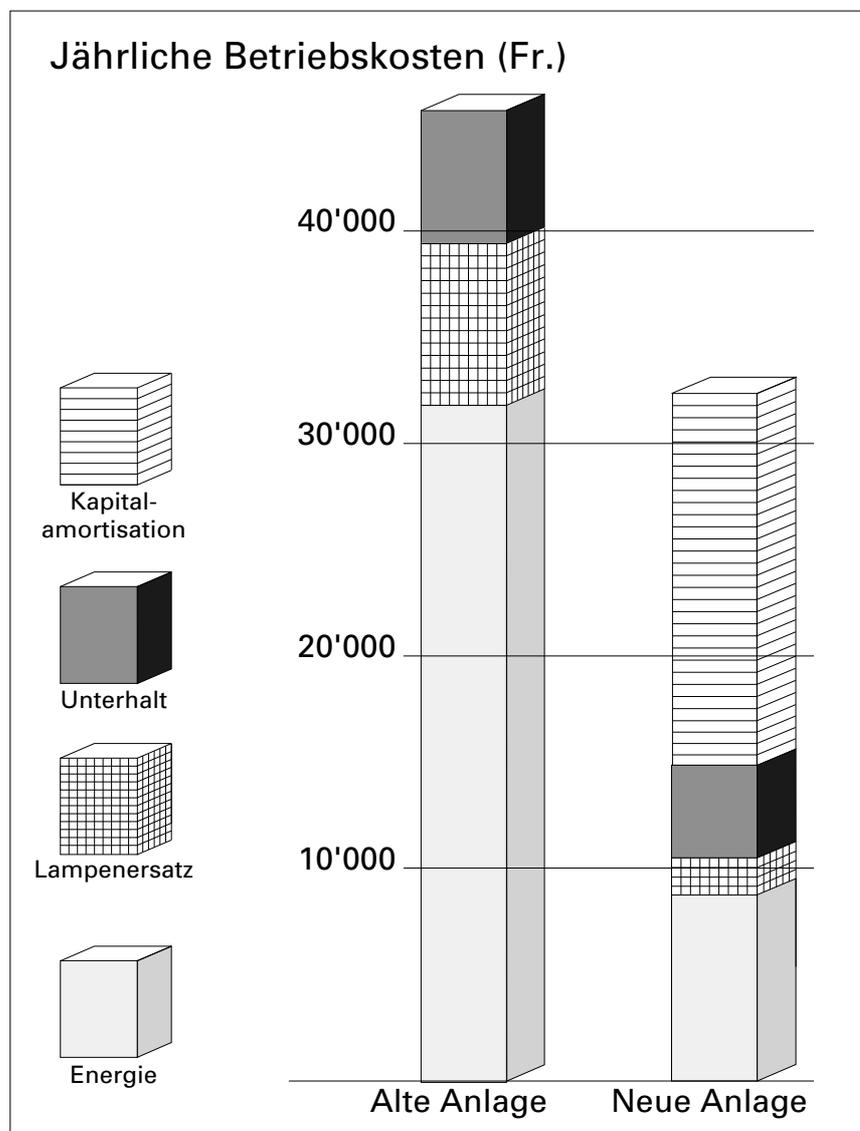


Bild 4.24:
Kostenvergleich Alt/Neu

Obige Graphik zeigt einen Vergleich der Unterhaltskosten beider Anlagen für die Büroräume. Dabei fällt vor allem die grosse Kosteneinsparung beim Energieverbrauch der neuen Beleuchtungsanlage auf.



Für die gleichen Räumlichkeiten sieht die wirtschaftliche Bilanz wie folgt aus :

Basisdaten

Lebensdauer der Anlage	15 Jahre
Kapitalzinssatz	7%
Kosten kWh elektrisch	11 Rp. HT / 6 Rp. NT
Jährliche Teuerung allgemein	5%
Jährliche Teuerung Strom	5%
Annuitätsfaktor	0.096
Mittelwertfaktor	1.445

Amortisationsberechnung

Investition gesamt	159'000.–
Jährl. Amortisation	17'520.–
Jährl. Unterhaltseinsparungen	7'800.–
Jährl. Energieeinsparungen	23'110.–
Pay-back-Zeit	8 Jahre

Wenn man dieselbe Rechnung für die gesamte Anlage aufstellt, so findet man eine identische Pay-back-Zeit.
(Gesamtinvestition = Fr. 690'000.–, jährliche Einsparungen = 85'700.–)



5 Gesamtbetrachtung eines Beleuchtungsprojekts

5.1 Allgemeines Vorgehen	103
5.2 Investitionskosten	105
5.3 Betriebskosten	106
■ Unterhalt	106
■ Reinigung	106
■ Wartung	106
5.4 Energieverbrauch	108
■ Stromverbrauch	108
■ Wärmelasten	110
■ Zweitrangige Konsequenzen	111



5 Gesamtbetrachtung eines Beleuchtungsprojekts

5.1 Allgemeines Vorgehen

Bevor ein Beleuchtungsprojekt in Angriff genommen wird, ist es notwendig, die projektspezifischen Daten wie auch die zu erreichenden Ziele aufzulisten. Die ersten «Weichen» werden durch die Definition architektonischer Elemente wie Module, Höhen und Farben und durch die Abgrenzung der zu erbringenden Ingenieurleistungen gestellt.

Zu erstellen ist eine Bestandesaufnahme aller Räume mit zugeordneter Nutzung, Beleuchtungsstärke und eventuell mit speziell zu beachtenden Eigenschaften. In dem hier gewählten Beispiel beträgt die Beleuchtungsstärke 300 Lux. Der erste Schritt zum Energiesparen ist die richtige Beleuchtungsstärke, die der Nutzung der verschiedenen Räume entspricht. Die Wahl der Lichtquelle ist ebenso wichtig, denn die Lichtausbeute kann, je nach Art, zwischen 10 und 200 lm/W variieren. Eine tageslichtabhängig gesteuerte Beleuchtung schliesslich ermöglicht eine feine Dosierung des notwendigen Kunstlichts, so dass die Kombination von Kunst- und Tageslicht immer die gewünschte Beleuchtungsstärke ergibt. Das Resultat ist ein optimaler Bedienungskomfort und entsprechend verminderte Energiekosten.

Aus diesen verschiedenen Anforderungen werden dann Lösungsvarianten ausgearbeitet. Diese sollen analysiert und an folgenden Kriterien gemessen werden:

- Technische Qualität
- Qualität der Sehverhältnisse
- Grundinvestition
- Energieeinsparungen
- Wartungsfreundlichkeit
- Ästhetik

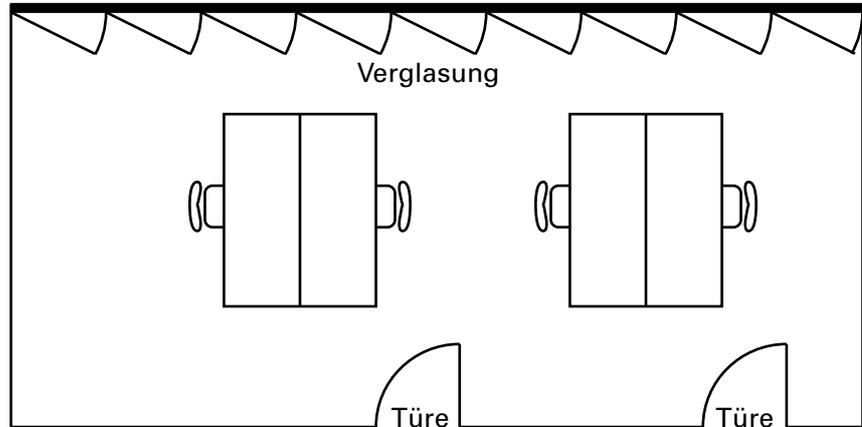
Folgende Varianten kommen für das gewählte Beispiel in Frage :

Mögliche Beleuchtungsvarianten

- Direktbeleuchtung mit 36-W-Fluoreszenzlampen des Typs T
- Direktbeleuchtung mit 58-W-Fluoreszenzlampen des Typs T
- Direktbeleuchtung mit 18-W-Fluoreszenzlampen des Typs TC
- Direkt-/Indirektbeleuchtung mit 36-W-Fluoreszenzlampen des Typs T
- Indirektbeleuchtung mit 36-W-Fluoreszenzlampen des Typs TC
- Indirektbeleuchtung mit 150-W-Entladungslampen (Metaldampf) des Typs HI und Zusatzlampe.



Angenommener Raum



Merkmale

Raummass	10,5 x 5 x 2,8 m (L x B x H)
Fläche	50 m ²
Beleuchtungsstärke	300 Lux
Beleuchtungswirkungsgrad	0.65
Wirkungsgrad der Leuchten	0.70
Wartungsfaktor	0.80

Der erste Punkt, der untersucht werden sollte, betrifft die Gesamtinvestition für jede der verschiedenen Varianten.



5.2 Investitionskosten

Diese Kosten errechnen sich aus den Installations- und Gerätekosten, mit den dazugehörigen Lampen sowie auch aus den Montagekosten. Nicht zu vergessen sind bei Sanierungen allfällige Entsorgungskosten der alten Anlageteile.

Die Auswahl der definitiven Variante, also die auszuführende Version, darf aber nicht nur auf diesen wirtschaftlichen Kriterien beruhen. Sie muss auch die technischen und vor allem auch die ergonomischen Kriterien miteinbeziehen.

*siehe auch Kapitel «Nutzwertanalyse»
im Heft «Verkaufsräume»*

Jede Variante hat ihre ganz spezifischen technischen Eigenschaften wie: Leistung, Lebensdauer der Lampen, Materialpreis bei programmierter Alterung, Abnutzung des Materials je nach Anzahl Schaltungen, etc.

Die Auswahl des Schaltsystems ist von der Nutzung der entsprechenden Räume abhängig:

- Einschalten von einer oder mehreren Zonen.
- Einschalten durch Bewegungsmelder.
- Einschalten durch programmierte Steuerung.
- Regulierte Steuerung durch Potentiometer oder Photozelle.

Jede dieser Möglichkeiten hat natürlich ihre technischen und wirtschaftlichen Vorteile und ist dementsprechend einzusetzen.

	Varianten	Anzahl Leuchten	Kosten Beleucht. [Fr.]	Nebenkosten [Fr.]	Installat.-kosten [Fr.]	Investition [Fr.]
1	Direkt 2 x 36 W	6	1'244.–	324.–	900.–	2'468.–
2	Direkt 1 x 58 W	8	1'792.–	195.–	1'200.–	3'187.–
3	Direkt 4 x TC18 W	8	2'856.–	260.–	1'200.–	4'316.–
4	Dir./Ind. 2 x 36 W	8	1'168.–	344.–	1'440.–	2'952.–
5	Indirekt 2 x 36 W, abgependelt	10	1'462.–	430.–	1'800.–	3'692.–
6	Ständerleuchte HI 150W	4	3'920.–	–	600.–	4'520.–

*Bild 5.1:
Grundinvestitionen*

Unser Kostenvergleich gemäss Bild 5.1 beinhaltet die Beleuchtungskosten sowie auch die Montagekosten mit verschiedenen Anpassungsarbeiten an Decke und Befestigungen. Auch die Kosten für die Verkabelung nach VSEI-Tarif sind miteingerechnet worden.

Für die letzte Variante (Indirektbeleuchtung) wird angenommen, dass die Beleuchtungsstärke nicht gleichmässig im Raum verteilt sein wird, dass sie aber gezielt, d.h. punktuell den Anforderungen entsprechen wird. Zudem wird in dieser Variante davon ausgegangen, dass eine zusätzliche Tischleuchte installiert werden muss (mit Kompaktfluoreszenzlampe).



5.3 Betriebskosten

■ Unterhalt

Von Anfang an muss sich der Planer um die Probleme des Unterhalts kümmern. Eine Beleuchtungsanlage muss leicht zugänglich und klar und unmissverständlich zu handhaben sein. Das auserwählte Material soll demontierbar sein und ein risikoloses Warten ermöglichen (Diffusoren und Optiken sollen am Beleuchtungskörper bei einer Demontage befestigt bleiben, die Lampen sollen leicht zugänglich und auswechselbar sein). Auch sollte darauf geachtet werden, so viel einheitliche Bauelemente zu verwenden wie immer nur möglich, um somit den Lagerbestand auf ein Minimum zu beschränken.

An sehr schwer zugänglichen Orten sollten Lampen mit sehr hoher Lebensdauer installiert werden (z.B. Induktionslampen = 60'000 Std.). Ein Vergleich zwischen den Investitions- und Betriebskosten solcher Lampen kann deren Einsatz durchaus rechtfertigen.

In allen Arbeitsräumen sollten die Lampen systematisch nach $\frac{4}{5}$ ihrer Lebensdauer ausgewechselt werden, einerseits, um damit sporadische, kostenaufwendige Wartungen zu verhindern und andererseits, um damit die vom Planer berechneten Werte zu garantieren.

Die ersetzten Lampen aus den Büroräumen können in zweitrangigen Räumlichkeiten wie Lagern, Untergeschossen, etc. weiterverwendet werden. Zur gleichen Zeit sollten auch Vorschaltgeräte geprüft und wenn nötig ersetzt werden.

■ Reinigung

Moderne Beleuchtungskörper sind meist mit Qualitätsreflektoren bestückt, deren Formen und Baustoffen detaillierte Studien zu Grunde liegen. Die Verstaubung dieser optischen Bauteile kann im schlimmsten Fall eine Verminderung des Wirkungsgrades um bis zu 30% bedeuten. So kann ein Beleuchtungskörper mit 80% Wirkungsgrad schon nach kurzer Zeit zu einem sehr mittelmässigen Modell werden. Die Reinigung wird am besten beim jeweiligen Lampenaustausch vorgenommen. Das systematische Ersetzen aller Lampen fördert somit auch eine systematische Reinigung der Beleuchtungskörper.

■ Wartung

Die Wartungskosten einer Beleuchtungsanlage beinhalten in der Regel alle Notwendigkeiten, die mit dem Unterhalt verbunden sind:

- Ersatzkosten der Lampen
- Ersatzkosten des Zubehörs
- Reinigungskosten



Diese Kosten werden auf ein Jahr umgerechnet und können dadurch von Variante zu Variante verglichen werden. Für das gewählte Beispiel basieren diese Kosten auf folgenden Annahmen:

- Betriebsstunden: 1800 Std./a
- Dauer für den Ersatz von Lampen und Vorschaltgeräten: 15 Min.
- Reinigung der Beleuchtungskörper alle 2 Jahre, jeweilige Dauer: 15 Min.

	Varianten	Anzahl Leuchten	Lebensdauer der Lampen [Std.]	Unterhaltskosten [Fr./a]
1	Direkt 2 x 36 W	6	8'000	112.–
2	Direkt 1 x 58 W	8	8'000	144.–
3	Direkt 4 x TC18 W	8	8'000	298.–
4	Dir./Ind. 2 x 36 W	8	8'000	142.–
5	Indirekt 2 x 36 W	10	8'000	178.–
6	Ständerleuchte HI 150 W	4	6'000	233.–

*Bild 5.2:
Mögliche Unterhaltskosten der verschiedenen Beispielvarianten
(Die Lebensdauer der Lampen entspricht hohen Schaltintervallen)*



5.4 Energieverbrauch

■ Stromverbrauch

Der Energieverbrauch von Beleuchtungsanlagen ist ein sehr wichtiger Faktor. Die Wahl von Lichtquellen mit hohem Wirkungsgrad ist von entscheidender Bedeutung, deren Einsatz aber nicht immer möglich. In gewissen Fällen muss aus Komfortgründen oder wegen Farbwiedergabeproblemen darauf verzichtet werden. Zwei Kriterien müssen dabei unterschieden werden:

- Funktion der Lampe (Farbwiedergabe-Index, Leistung, Ästhetik, etc.)
- Wirtschaftlichkeit (Wirkungsgrad der Lampe).

Natürlich hat auch das Steuerungssystem der Beleuchtungsanlage einen grossen Einfluss auf deren Energieverbrauch. Eine manuelle Lichtschaltung lässt sicherlich andere Resultate erwarten als eine automatisch regulierende Steuerung. Eine gute Tageslichtnutzung heisst automatisch auch, dass die künstliche Beleuchtung dementsprechend gesteuert werden sollte (sei das nun von Hand oder automatisch). Eine solche tageslichtabhängige Regulierung der Beleuchtung bedeutet für den Bildschirmbenutzer nicht nur Arbeitskomfort, sondern auch zusätzlich noch Energieeinsparung.

Tageslichtabhängige Regulierung mit elektronischen Vorschaltgeräten

Beim Regulieren von Fluoreszenzlampen mittels elektronischen Vorschaltgeräten verhält sich der Systemenergieverbrauch nicht proportional zur erzielten Beleuchtungsstärke.

Energieverbrauch von 36-W-Fluoreszenzlampen mit elektronischem Vorschaltgerät					
Beleuchtungsstärke [%]	100	75	50	25	10
Energie [%]	100	82	62	45	35

Einer der Vorteile eines solchen Systems liegt in der Tatsache, dass die Lebensdauer einer Lampe an einem EVG ca. 12'000–15'000 Stunden beträgt. Dies wiederum bedeutet eine Verringerung des Wartungsaufwands und etwas weitläufiger gesehen die Erhaltung gewisser Rohstoffe sowie eine kleinere Last für die Entsorgung.

In Verkehrszonen und selten genutzten Räumen kann sich eine Steuerung durch Bewegungsmelder als effizient und energiesparend erweisen. Zusammenfassend kann man also festhalten, dass der Energieverbrauch von folgenden Faktoren abhängt:

- Beleuchtungsstärke
- Wahl der Lichtquelle
- Wirkungsgrad der Leuchte
- Unterhalt der Leuchte
- Steuerungssystem



Der Energieverbrauch der verschiedenen Varianten kann also jetzt anhand von folgenden Kennwerten berechnet werden:

– kWh-Preis	0.20 Fr.
– Betriebszeit	1'800 Std./a
– Kapitalzinssatz	7%
– Lebensdauer der Anlage	15 Jahre
– Teuerung allgemein	5%
– Teuerung Strom	5%
– Annuitätsfaktor	0.11
– Mittelwertfaktor	1.42

	Varianten	Leistung gesamt [W]	Leistung installiert [W/m²]	Jahresenergiekosten [Fr./a]
1	Direkt 2 x 36 W	480	9.6	245.–
2	Direkt 1 x 58 W	480	9.6	245.–
3	Direkt 4 x TC 18 W	640	12.8	327.–
4	Dir./Ind. 2 x 36 W	640	12.8	327.–
5	Indirekt 2 x 36 W	800	16.0	409.–
6	Ständerleuchte HI 150 W	800	16.0	409.–

Bild 5.3:
Energiekosten der Varianten

	Varianten	Kapitalkosten [Fr./a]	Unterhaltskosten [Fr./a]	Energiekosten [Fr./a]
1	Direkt 2 x 36 W	271.–	112.–	245.-
2	Direkt 1 x 58 W	350.–	144.–	245.-
3	Direkt 4 x TC18 W	475.–	298.–	327.-
4	Dir./Ind. 2 x 36 W	325.–	142.–	327.-
5	Indirekt 2 x 36 W	406.–	178.–	409.-
6	Ständerleuchte HI 150 W	497.–	233.–	409.-

Bild 5.4:
Jahreskosten der Varianten



Die definitive Wahl soll wirtschaftliche Kriterien (Investition, Unterhalt, Energie) ebenso berücksichtigen wie den Komfort und die Ästhetik der Anlage.

Im gewählten Beispiel empfehlen wir Variante 1 mit elektronischen Vorschaltgeräten (Variante 1a) oder Variante 6. Aus praktischen Erfahrungen geht hervor, dass regulierte Anlagen mit elektronischen Vorschaltgeräten bis zu 60% weniger Energie verbrauchen als herkömmliche Beleuchtungssysteme. Für unsere Berechnung können wir somit eine Einsparung von 40% annehmen und damit eine zusammenfassende Tabelle aufstellen.

Auch die Variante 6 ermöglicht Energieeinsparungen durch bedarfsabhängiges, individuelles Schalten der Beleuchtungskörper. Die Erfahrung zeigt, dass effektive Einsparungen von bis zu 50% möglich sind, wenn das Verantwortungsbewusstsein und die Motivation eines jeden einzeln geweckt werden können. Für unser Beispiel nehmen wir eine Einsparung von 30% an.

	Varianten	Kapitalkosten [Fr./a]	Unterhaltskosten [Fr./a]	Energieverbrauch [kWh/a]	Energiekosten [Fr./a]
1	Direkt 2 x 36 W	271.–	112.–	864	245.–
1a	Direkt 2 x 36 W mit EVG	356.–	89.–	518	147.–
6	Ständerleuchte 150 W (100%)	497.–	233.–	1'440	409.–
6a	Ständerleuchte 150 W (70%)	497.–	187.–	1'008	286.–

Bild 5.5:
Jahreskosten und -energieverbrauch der bevorzugten Varianten

Wir empfehlen Variante 1a, obwohl sie weniger Flexibilität als die Variante 6a bietet. Dieser Schritt wird vor allem durch die um 14 Jahre geringere Pay-back-Zeit der Variante 1a bekräftigt.

■ Wärmelasten

Der thermische Aspekt der Lichtquellen, also die Wärmeabgabe der Lampen, beeinflusst die indirekten Kosten der verschiedenen Varianten.

Die optimalste Lösung besteht darin, die Beleuchtungskörper in den Abluftstrom einzubauen, d.h. die Abluft durch die Leuchten abzusaugen, um dadurch die Wärme direkt abzuführen und zu verwerten. Vom theoretischen Standpunkt aus ist diese Möglichkeit sicherlich die wünschenswerteste. Die Erfahrung zeigt aber, dass in solchen Anlagen die Beleuchtungskörper rasch verschmutzen, was natürlich den Wirkungsgrad der Leuchten negativ beeinflusst. Zudem sollte im Winter die Wärme eher in den Raum abgestrahlt werden und so die internen thermischen Gewinne erhöhen.



■ Zweitrangige Konsequenzen

Jetzt, da die technischen und wirtschaftlichen Kriterien unseres Projektes festgelegt sind, geht es darum, die Vor- und Nachteile des vorgeschlagenen Systems aufzulisten.

Obwohl die Güte des Sehkomforts nur schwer quantifizierbar ist, ist ihr grösste Beachtung zu schenken. Sie ist genauso wichtig wie die Beleuchtungsstärke oder die Energieeinsparungen. Ein mögliches Beurteilungswerkzeug stellt die Nutzwertanalyse dar, wie sie in den beiden Dokumentationen «Industrie» und «Verkauf» aufgeführt ist.

Die Anordnung und die Wahl der Beleuchtungskörper müssen den Gegebenheiten der zu beleuchtenden Fläche angepasst sein. Es ist eine erwiesene Tatsache, dass sich die Verminderung von visueller Ermüdung durch gesteigertes Wohlbefinden und Produktivität ausdrückt. Zusätzlich verringert sich dabei auch das Unfallrisiko. Ein gut geplantes und korrekt realisiertes Beleuchtungssystem kann für ein Unternehmen ein entscheidendes Werkzeug zur Produktivitätssteigerung sein.

siehe Beispiel in Heft «Industrie»

Der ästhetische Aspekt der Beleuchtung, sowohl bei Tag wie auch bei Nacht, ist nicht zu vernachlässigen, denn er verleiht dem Gebäudeinneren so wie auch dem äusseren Erscheinungsbild den firmaeigenen Charakter und ist somit ein wesentlicher Faktor des Images.

Wo immer möglich, soll Kunstlicht als Ergänzung zu Tageslicht installiert und auch so genutzt werden.

Das behandelte Beispiel wurde auf diese Art und Weise für den ersten Schritt gewissenhaft gelöst, denn das Projekt genügt den gestellten Anforderungen:

- Wirtschaftliche Beleuchtung
- Ästhetische Beleuchtung
- Stimulierende Beleuchtung

Eine systematische und gefühlvolle Bearbeitung und Untersuchung der anderen beiden Kriterien sollten dem Planer nun helfen, die hochgesteckten Ziele zu erreichen.



6 Checkliste

6.1 Checkliste Tageslicht

X = Wichtige Punkte bezüglich rationellem Energieeinsatz

Merkmal	JA	NEIN
Umwelt		
Wurden die klimatischen Bedingungen vorort berücksichtigt (Wolkendecke, Sonnenscheindauer)?	X	
Wurde die Beschattung bzw. Verbauung berücksichtigt?	X	
Wurde der aussenliegende Boden berücksichtigt (Reflexion, evtl. Spiegelung)?	X	
Wurde bei der Ausrichtung des Gebäudes auf die Aussicht der Benutzer geachtet?	X	
Baustoffe		
Sind die vertikalen Tageslichtöffnungen mit Klarglas versehen?	X	
Wurden die Nachteile reflektierender oder getönter Scheiben genügend beachtet?	X	
Wurde Fensterglas unterschiedlicher Farbtönung in ein und demselben Raum eingesetzt?		X
Wurde bei diffusem Glas darauf geachtet, dass es sich ausserhalb des Blickfeldes einer am Arbeitsplatz tätigen Person befindet? (Blendung)	X	
Wurde der Einsatz von «durchscheinenden» Baustoffen geprüft?	X	
Raumflächen		
Sind die Reflexionsgrade der Raumflächen hoch? (> 0.7 / 0.5 / 0.3 für Wände / Decke / Boden)	X	
Sind die Flächen in Fensternähe mit warmen Farben behandelt worden?	X	



Merkmal	JA	NEIN
Tageslichtsysteme		
Sind allfällige Tageslichtsysteme hell und eventuell spiegelnd?	X	
Sind allfällige Lichtschächte mit hellen und warmen Farben behandelt worden?	X	
Sonnenschutz		
Ist der Sonnenschutz aussen angebracht?	X	
Fixer Sonnenschutz		
Ist der Sonnenschutz während der gesamten warmen Jahreszeit gewährleistet?	X	
Kann im Winter Blendung durch direktes Sonnenlicht auftreten?	X	
Ist bei bedecktem Himmel genügend Tageslicht vorhanden?	X	
Ist genügend Sicht nach aussen vorhanden?	X	
Beweglicher Sonnenschutz		
Ist bei allfälligen Sonnenstoren aus Stoff der Gesamttransmissionsgrad < 15%?	X	
Können allfällige Lamellenstoren so bewegt werden, dass die Lamellen das Licht in den Raum reflektieren?	X	
Ist bei einer allfälligen Storensteuerung der manuelle Eingriff möglich?	X	
Sind die Einflüsse gross, wenn das Storensystem defekt ist?		X
Ist die manuelle Bedienung der Storen benutzerfreundlich?	X	
Entstehen thermische Probleme bei Nichtbenutzung des Sonnenschutzes?		X



Merkmal	JA	NEIN
Teilbeweglicher Sonnenschutz		
Ist eine Bedienung des Systems durch das Unterhaltspersonal möglich?	X	
Fassadenöffnungen		
Wird eine allfällige niedrige (< 50 cm) Brüstung durch eine interessante Aussicht nach unten gerechtfertigt?	X	
Wird bei einer allfälligen Standardbrüstung der Sims zur Reflexion des Lichtes benützt?	X	
Wenn ja, besteht die Sicherheit, dass dadurch keine störenden Blendungen entstehen können?	X	
Wurde bei allfällig hohen Brüstungen (> 150 cm) der Sims abgeschrägt?	X	
Wurde die Oberschwelle verkürzt bzw. abgeschrägt?	X	
Wurde bei allfällig dicken Mauern versucht, die Seiten der Öffnung abzuschrägen?	X	
Wurde die Hohldecke im Fensterbereich abgeschrägt?	X	
Dachöffnungen		
Wurde ein opaler Baustoff verwendet?	X	
Wurde die Höhe der Rundmauern auf die notwendige Minimalhöhe reduziert?	X	
Wurde an der Öffnungskante eine Abschrägung angebracht?	X	
Atrium		
Sind die Öffnungen über dem Atrium genügend gross dimensioniert?	X	
Hat das Atrium die Form einer kopfstehenden Pyramide?	X	
Sind die Durchgänge an den Wänden des Atriums angebracht?		X
Sind die Wände des Atriums hell?	X	



6.2 Checkliste Kunstlicht

X = Wichtige Punkte bezüglich rationellem Energieeinsatz

Merkmal	JA	NEIN
Raumbeleuchtung		
Beträgt die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke etwa 300 bis 500 Lux?	X	
Wurde die installierte Leistung der Beleuchtung auf das notwendige Minimum reduziert?	X	
Wurde die Möglichkeit der arbeitsplatzorientierten Beleuchtung geprüft?	X	
Ist das Verhältnis der vertikalen zur horizontalen Beleuchtungsstärke hoch?	X	
Ist die Leuchtdichteverteilung harmonisch?	X	
Ist die Lichtfarbe der eingesetzten Lampen neutral- resp. warmweiss?	X	
Wurde das Vorschaltgerät auf seine Energieeffizienz hin überprüft?	X	
Werden die Leuchten sektorenweise geschaltet?	X	
Direktstrahlende Leuchten: Sind diese parallel zur Fensterfront angeordnet?	X	
Ist eine tageslicht- oder zeitabhängige Steuerung vorhanden?	X	
Sind die Benutzer über die Steuerungsmöglichkeiten und den Unterhalt ihrer Beleuchtung informiert worden?	X	



Merkmal	JA	NEIN
Raumflächen		
Sind die Reflexionsgrade der Raumflächen höher als die vorgeschlagenen Grenzwerte?	X	
Hat es Lamellen- und/oder Stoffstoren?	X	
Ist es bei rechtwinklig aufeinandertreffenden Fensterfassaden möglich, reihenweise und unabhängig zu verdunkeln?	X	
Ist die Arbeitsoberfläche hell und matt?	X	
Hat es im Raum mobile Trennwände?	X	
Bildschirmarbeitsplätze		
Ist der Bildschirm so angeordnet, dass der Blick des Benutzers gegen einen sehr hellen Hintergrund gerichtet ist?		X
Können Spiegelungen von Beleuchtungskörpern oder Fenstern auf dem Bildschirm, der Tastatur, dem Dokument oder der Arbeitsfläche auftreten?		X
Ist der Bildschirm so angeordnet, dass der Benutzer von den Leuchten geblendet wird?		X
Ist der Bildschirm so angeordnet, dass die Blickrichtung des Benutzers parallel zu den Leuchtenreihen verläuft?	X	
Sind die Kontrastverhältnisse gut?	X	
Tritt auch bei eingeschalteter Beleuchtung kein Flimmern auf?	X	
Ist der Blick nach aussen auch vom Bildschirmarbeitsplatz aus gewährleistet?	X	



7 Literaturverzeichnis

- /1/ SUVA:
«Die Arbeit am Bildschirm»
Luzern, 1991
- /2/ SLG:
«Handbuch für Beleuchtung»
ecoméd Fachverlag, Bern, 1992
- /3/ SEV:
«Künstliche Innenraumbeleuchtung»
Zürich, 1977
- /4/ OMS:
«Terminaux à écran de visualisation et hygiène de travail»
Publikation Nr. 99, Genf, 1987
- /5/ BIT:
«Santé et sécurité dans le travail sur écran de visualisation»
Publikation Nr. 61
- /6/ E. Grandjean, Ed. Taylor & Francis:
«Ergonomics in computerized offices»
London, 1987
- /7/ SHC Task 12:
«ADELINE»
Broschüre der Internationalen Energie-Agentur
CUEPE Conches, 1992
- /8/ Conseil supérieur d'hygiène publique de France:
«Eclairage naturel et artificiel de complément dans l'habitat et les locaux de travail»
Section habitat, ministère chargé de la santé, 1990
- /9/ Association pour le développement d'hygiène et de l'épidémiologie en Bretagne:
«La lumière à l'ordre du jour»
Ministère chargé de la santé, 1990
- /10/ NEFF:
«Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten. Phase 1: Systemvergleich»
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1984
- /11/ Department of architecture:
«Designing for Energy Efficiency: A study of eight California State office buildings»
University of California, Berkeley USA, 1991
- /12/ IESNA:
«Recommended practice of daylighting»
New York USA, 1979
- /13/ IESNA:
«Office Lighting»
New York USA, 1982



- /14/ SEV 8911.1989:
«Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht»
Zürich, 1989
- /15/ C.-H. Herbst:
«Beleuchtungsplanung zwischen Ergonomie und Ökonomie»
Tagesdokumentation SLG Bern, 1992
- /16/ C.-H. Herbst:
«Licht und Arbeit»
Tagesdokumentation AFL Bern, 1990
- /17/ IESNA:
«Lighting handbook, reference and application volumes»
New York, 1987
- /18/ A. Piazza:
«Beleuchtung – Pilotprojekte, Fallstudien»
Projektstudie RAVEL 22.51c, Biel, 1992
- /19/ F. Benoit, J.-J. Meyer, D. Mondada:
«Un meilleur éclairage avec moins d'énergie – Bilan des améliorations UAP-Assurances»
Ravel-Studie 22.51, Bonnard et Gardel, Universität Genf, Lausanne/
Genf, 1992
- /20/ SLG:
«Computerprogramme für die Beleuchtungsplanung»
Wegleitung Nr. 350, Bern, 1994