Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103 (1985)
Heft: 45

Artikel: Intensive Tageslichtnutzung - Anwendung im Hochbau
Autor: Kiss, Miklos / Luginbühl, Rudolf
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75927

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Intensive Tageslichtnutzung – Anwendung im Hochbau

Von Miklos Kiss, Rudolf Luginbühl, Zürich

Die vorliegend beschriebene Forschungsarbeit befasst sich mit der intensiven Tageslichtnutzung (ITN) am Arbeitsplatz. Die Studie wurde vom Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) finanziert und umfasst vier Phasen: Systemvergleich, Modellversuche, Demonstrationsanlagen, Auswertung.
Büro- und Gewerbebauten bieten mit ihrem hohen Stromverbrauch für Beleuchtung viele Möglichkeiten für Verbesserungen. Beispiel: Werden in einem Bürobau mit 500 Arbeitsplätzen die Einschaltzeiten der Beleuchtung um 30% reduziert, so ergibt sich eine Einsparung von 250 000.– Fr. während der Lebensdauer der Beleuchtung (25 Jahre).
Zielsetzung dieser Forschungsarbeiten ist es, in Büro und Gewerbebauten im Arbeitsbereich 1–6 m vom Fenster entfernt, im Vergleich zu den heute üblichen Werten der Energiekosten für Beleuchtung, eine Verbesserung von mindestens 30% zu erzielen.
Die Resultate der Arbeiten zeigen, dass dieses Ziel erreicht und sogar übertroffen werden kann. Bei der intensiven Tageslichtnutzung kann, auch wenn ein Arbeitsplatz 3,75 m Abstand zum Fenster hat, das Kunstlicht während mindestens 60% der Arbeitszeit abgeschaltet werden. Heute ist noch eine Einschaltzeit der Beleuchtung von 1500 h pro Jahr üblich (bei einer Arbeitszeit von 2500 h). Bei Anwendung der ITN sollte die Einschaltzeit auf 1000 h oder weniger reduziert werden können. Neben der Energiekosteneinsparung ergibt sich so eine bedeutende Qualitätsverbesserung des Arbeitsplatzes infolge besseren Sehkomforts.

Kann die Tageslichtnutzung an Arbeitsplätzen verbessert werden?

Bedarf für die Tageslichtnutzung

Es gibt drei häufig auftretende Meinungen zu dieser Frage, die hier behandelt werden:

a) Tageslichtnutzung ist kein wichtiges Problem, da der Anteil der Beleuchtung an den Energiekosten gering ist.
b) Bessere Tageslichtnutzung wäre zwar wünschenswert, bei uns ist jedoch kein Potential für Verbesserungen vorhanden.
c) Obwohl eine gesteigerte Tageslichtnutzung möglich ist, kann diese mit wirtschaftlichen und praktischen Massnahmen nicht realisiert werden.

Diese Aussagen können – wie in folgenden Abschnitten beschrieben – widerlegt werden.

Kostenanteil Beleuchtung (Aussage a)

Der Kostenanteil der Beleuchtung beträgt bei Büro- und Gewerbebauten sogar 25%. Dies ist auf die lange Einschaltzeit der Beleuchtung zurückzuführen. Hingegen beträgt der Kostenanteil bei Wohnbauten nur etwa 5%. Heute übliche Werte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Es werden dabei folgende Annahmen getroffen: Installierte Leistung der Beleuchtung 20 W/m², Anwesenheit 7.40–17.40 Uhr oder 2500 h/a, keine automatische Lichtabschaltung. Die Tabelle zeigt, dass in 3,75 m Entfernung vom Fenster (angenommener Wert für unsere Messungen), das Kunstlicht nur während 40% der Zeit abgeschaltet werden kann.

Wenn nun im besprochenen Fall die Einschaltzeit um 30% reduziert werden könnte, so ergäbe sich, bei 500 Arbeitsplätzen während der Lebensdauer der Beleuchtung (25 Jahre), eine Einsparung von etwa 250 000.– Franken (Strompreis 0,2 Fr./kWh). Bessere Tageslichtnutzung würde somit beträchtliche Einsparungen bei den Energiekosten bringen.

Anwendung in den USA und in Europa (Aussage b)

In den USA sind viele Büro-, Gewerbe- und Schulbauten nach den Ideen der «Sonnenlichtnutzung» erstellt worden. Dabei kann hauptsächlich bei sonnigem Himmel die künstliche Beleuchtung ganz wesentlich reduziert werden. Die meisten Bürobauten mit Tageslichtnutzung in den USA weisen Gemeinsamkeiten auf (Bild 1):

- Nord-Süd-Orientierung der Fassaden → feste Beschattung
- Lichtbalken integriert im Sonnenschutz
- Klarglasfenster oberhalb des Lichtbalkens, evtl. Sonnenschutzglas unter dem Lichtbalken
- Grossräume mit hohen Decken
- Verwendung der Decke als Reflektor (evtl. schräge Decken)
- Ersatz der Allgemeinbeleuchtung durch Tageslicht (tagsüber)
- frei bewegliche Möbelzellen mit eingebauter Arbeitsplatzbeleuchtung
- automatische Ein- und Abschaltung der Beleuchtung
- bei Grossbauten werden Lichthöfe eingesetzt; die Beleuchtung der Büroräume erfolgt zweiseitig (Aussenfassade und Lichthof).

Bild 1. Beispiele für Tageslichtnutzung bei verschiedenen Gebäudenutzungen (USA)

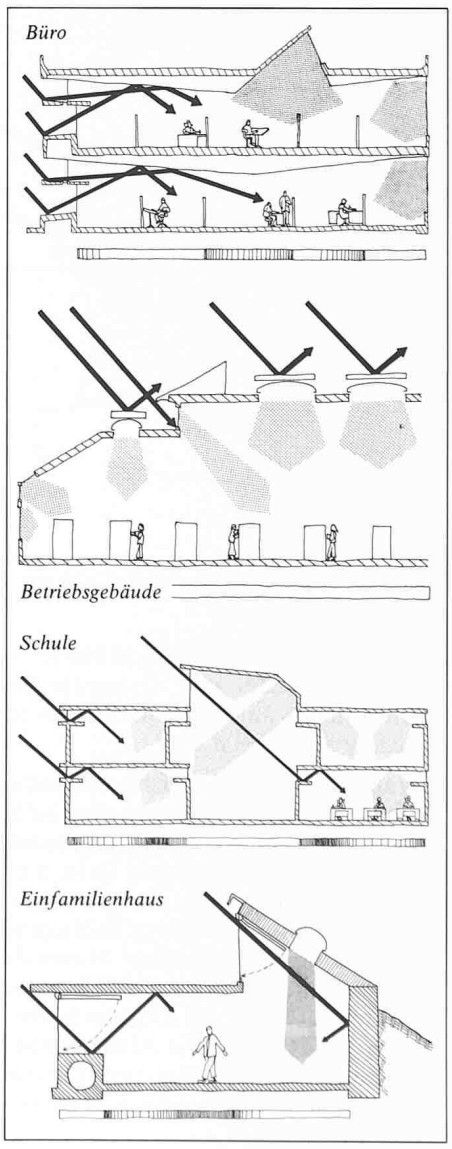


Tabelle 1. Heute übliche Werte

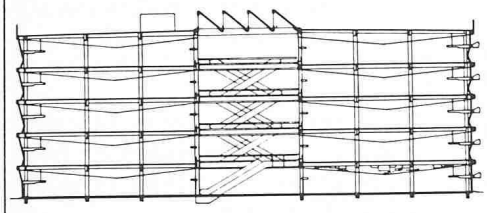
Arbeitsplatz Distanz vom Fenster m	*Tageslichtquotient* T* %	*Einschaltzeit b* h/a	*Energiebedarf E_b* kWh/m² · a
1,25	8	800	16
3,75	2,5	1500	30

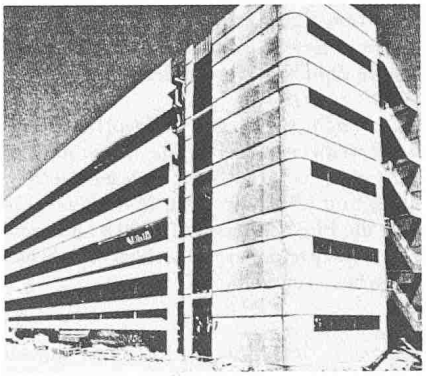
* Verhältnis Aussenlichtstärke/Lichtstärke im Raum bei bedecktem Himmel

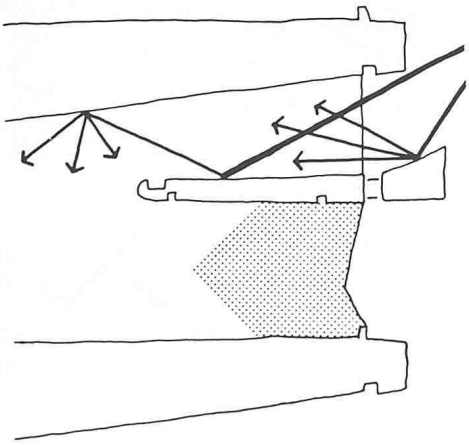
OBJEKT	: LOCKHEED BUILDING, SUNNYVALE, CALIFORNIA	Bild 2-7
BESCHREIBUNG	: Fünfgeschossiges Verwaltungsgebäude mit Atrium-Grossraumbüros, Bürofläche 50'000 m2	
BAUJAHR	: 1983	
ARCHITEKT	: Leo A. Daly	

SYSTEME :

Lichtbalken Lichthof Geneigte Decken grosse Raumhöhe







. Gebäudeachse Ost/West

. Südseite, innen- und aussenliegende Lichtbalken (oben Reflektor, unten Schattenspender, 3,6 m breit).

. Nordseite nur innenliegende Lichtbalken.

. Grosser Lichthof mit Glasdach.

. Geneigte Decken.

. Grosse Fenster, unterer Teil schwach reflektierend (Blendschutz) oberer Teil Klarglas.

Bild 2. Lockheed Building Sunnyvale, California

Im Lockheed-Gebäude mit 50 000 m² – ein Bürogebäude mit Grossräumen (Kalifornien) – sind folgende Resultate erreicht worden (Bild 2):

Während 73% der Arbeitszeit kann die Allgemeinbeleuchtung abgestellt werden. An einem klaren Tag kann an der Südseite die ganze Tiefe, d.h. 30 m mit Tageslicht ausgeleuchtet werden. Unter schlechten Bedingungen (Nordseite, bedeckter Himmel) können immer noch ein bis zwei Drittel der Tiefe mit Tageslicht versorgt werden. Für die Allgemeinbeleuchtung sind 10 Watt/m², für die Arbeitsplatzbeleuchtung 4 Watt/m² installiert.

Für eine Anwendung in Europa sind zwei wesentliche Unterschiede zu beachten. Erstens ist bei uns der bedeckte Himmel vorherrschend, so dass «Sonnenlichtnutzung» nicht oft möglich ist. Zweitens sind viele Bürobauten mit Zellenbüros und grossen Fenstern erstellt, womit die Beleuchtungsverhältnisse in Europa ohnehin besser sind, als in den USA. Ausserdem sollten die Bauten bei uns nach Möglichkeit nicht klimatisiert werden.

Messungen an ausgeführten Bauten zeigen, dass in Europa in vielen Fällen die angegebenen und an sich schon niedrigen Werte der Tageslichtquotienten nicht einmal erreicht werden. In einem Zellenbüro mit maximaler Fensterfläche wurde in 3,75 m Abstand vom Fenster ein Tageslichtquotient unter 1% festgestellt (anstelle von 2,5%). Dies ist auf die starke Beschattung durch umliegende Bauten zurückzuführen. In einem Grossraumbüro mit Lichthöfen und sehr grossen Klarglasfenstern sowie grosser Raumhöhe war an der Lichthoffassade in 3,7 m Entfernung vom Fenster der Tageslichtquotient trotz diesen Massnahmen unter 0,5%.

Somit wäre auch bei uns eine Verbesserung gegenüber der heute allgemein üblichen Bauweise notwendig. Unsere Untersuchungen haben nun gezeigt, dass die meisten der obigen Tageslichtelemente in abgewandelter Form auch bei uns eingesetzt werden können und bei bedecktem Himmel wirksam sind. Die im Abschnitt «Resultate des Forschungsprogramms ITN» beschriebenen Messungen an Modellen und an effektiven Bauten konzentrieren sich auf Verbesserungsmöglichkeiten bei bedecktem Himmel, dies in einem Arbeitsbereich bis 6 m vom Fenster entfernt. Im Gegensatz zu der in den USA üblichen «Sonnenlichtnutzung» sprechen wir von «Himmelslichtnutzung». Wesentlich ist dabei, dass bei bedecktem Himmel die Leuchtdichte in der Vertikalen etwa dreimal höher ist als in der Horizontalen. So gesehen wäre eine Beleuchtung von oben ideal. Dies ist schon in einem Architekturlehrbuch aus dem Jahr 1894 zu entnehmen. Die Güte des Arbeitsplatzes wird mit dem Anteil des sichtbaren Himmels bewertet. Verwendet wird dazu ein Raumwinkelmesser. Zitat:

> «Hierdurch erhält man auch sofort die Begründung für die günstige Wirksamkeit des hohen Seitenlichtes und findet es erklärt, dass ein Raum durch hohes Seitenlicht ganz entsprechend erhellt ist, obwohl dessen Fensterflächen nur 1/12 seiner Grundfläche betragen. Hierdurch erhält man auch Aufschluss darüber, dass Fenster, welche nach oben rechtekkig begrenzt sind, unter sonst gleichen Verhältnissen für die Raumerhellung vorteilhafter wirken, als die mittels Rundbogen abgeschlossenen. Der Raumwinkelmesser ist nicht nur ein geeignetes Instrument, um in bereits bestehenden Räumen den Erhellungsgrad zu prüfen; sondern das demselben zu Grunde liegende Princip lässt sich auch zur Anwendung bringen, um bei projectirten Neubauten sich von vornherein über die Erhellungsverhältnisse der geplanten Räume Aufschluss zu verschaffen. Man kann in einfacher Weise bestimmen, wie gross für eine bestimmte Stelle des zu schaffenden Raumes die Fenster- oder sonstige

Lichtöffnung sein muss, damit das Strahlenbündel des Himmelslichtes, welches auf jene Stelle erhellend wirken kann, einem reducirten Raumwinkel von bestimmter Mindestgrösse (z.B. 50 reducirten Raumwinkelgraden) entspricht.»

Wirtschaftlichkeit (Aussage c)

Ist eine gesteigerte Tageslichtnutzung wirtschaftlich möglich?

Die wirtschaftlich zulässige Investition für 30% Energiekosteneinsparung beträgt für unser Fallbeispiel - Bürogebäude mit 500 Arbeitsplätzen - 100 000.- Franken. Dabei wird ein Kapitaldienst und Unterhalt von 10% vorausgesetzt. Die erzielte Einsparung an Energiekosten beträgt etwa 10 000.- Fr./a. Obwohl nur am konkreten Beispiel gezeigt werden kann, ob diese Investition für die Massnahmen ITN ausreicht, ergeben unsere Schätzungen, dass für die in Bild 3 dargestellten Systeme die Wirtschaftlichkeit gut ist. Wir hoffen sogar, diese Investitionslimite bei den besten Systemen stark zu unterschreiten!

Das Interesse der Bauherren und Architekten an der Tageslichtnutzung ist sehr gross, weniger wegen der Wirtschaftlichkeit, sondern mehr wegen der Verbesserung der Arbeitsplatzqualität durch besseren Sehkomfort. Wesentlich dabei ist, dass im Betrieb keine zusätzlichen Probleme entstehen. In der Phase 3 der Untersuchungen werden Verschmutzung, Fehlbedienung, eventuelle Bauschäden besonders beachtet, indem in Demonstrationsprojekten die Eignung während einem oder mehreren Betriebsjahren getestet wird.

Resultate des Forschungsprogrammes ITN

Projektphasen

Die vorliegende Forschungsarbeit befasst sich mit der intensiven Tageslichtnutzung (ITN) am Arbeitsplatz. Diese Studie wurde vom Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) finanziert und umfasst vier Phasen: Systemvergleich, Modellversuche, Demonstrationsanlagen, Auswertung.

Zielsetzung dieser Forschungsarbeiten ist es, in Büro und Gewerbebauten im Arbeitsbereich 1-6 m vom Fenster entfernt, im Vergleich zu den heute üblichen Werten der Energiekosten für Beleuchtung, eine Verbesserung von mindestens 30% zu erzielen.

Zielsetzungen

Die Messungen bestätigen, dass die nachfolgenden detaillierten Zielsetzungen realistisch sind (Tabelle 2):

Annahmen: Installierte Leistung 12 W/m² (dieser niedrige Wert ist bei energiegerechter Ausführung erreichbar, wenn am Arbeitsplatz 400 Lux verlangt werden), automatische Abschaltung der Beleuchtung, Anwesenheit 2500 h/a.

Bei den Werten der vorangehenden Tabelle handelt es sich um Idealwerte. In der Praxis werden in einigen Fällen nur um 20% schlechtere Werte erreicht. Wenn diese Tabelle mit dem Ist-Zustand im Kapitel 1 verglichen wird, so ergibt sich, dass der Energieverbrauch für Beleuchtung auf 30% reduziert worden ist. Dieser grosse Erfolg setzt sich wie folgt zusammen (Einsparungen in Klammer gesetzt): Niedrigere installierte Leistung (40%), automatische Lichtabschaltung (15%), höherer Tageslichtquotient und niedrigere Schaltgrenze für das Ausschalten des Kunstlichtes infolge höherem Sehkomfort bei ITN (30 bis 40%). Kontrolle: 0,6 × 0,85 × 0,6 = 0,3.

Definition der intensiven Tageslichtnutzung

Wir reden dann von intensiver Tageslichtnutzung (ITN), wenn in einem Bürogebäude das Kunstlicht bei 1,25 m 80% der Zeit, bei 3,75 m 60% der Zeit ausgeschaltet wird. Anders formuliert: In einem Bürogebäude mit ITN soll im Durchschnitt der Arbeitsplätze eine Ausschaltquote von 70% erreicht werden. Dies entspricht b = 500 h/a in 1,25 m und b = 1000 h/a in 3,75 m Abstand. Es sind dazu Tageslichtquotienten von 12% bzw. 4% erforderlich. Diese Werte sind etwas schlechter als die Zielsetzung der Tabelle (siehe Zielsetzungen).

Zweck der vorliegenden Projektbeschreibung ITN ist nicht die Wiederholung der detaillierten Messresultate (es ist ein separater Bericht über Phase 1 und 2 vorhanden) [3], sondern für Bauherren und Architekten die wichtigsten planerischen Konsequenzen aus diesen Messungen zu erläutern.

Tabelle 2. Intensive Tageslichtnutzung

Arbeitsplatz Distanz vom Fenster m	*Tageslichtquotient T* %	*Einschaltzeit b* h/a	*Energiebedarf E_b* kWh/m · a
1,25	15	350	4
3,75	5	800	10

Messungen an Modellen

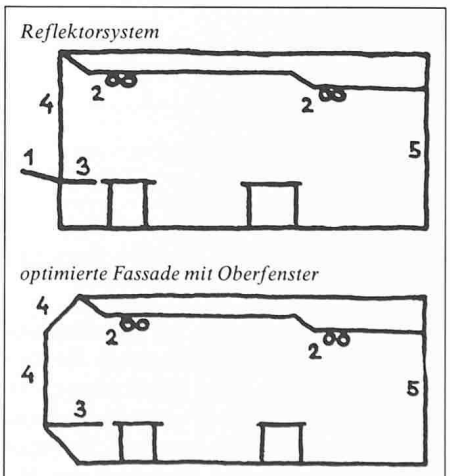
Die Messungen wurden an einem Modell 1:8 durchgeführt. Es sind jeweils drei Systeme bei verschiedenen Wetterverhältnissen und Umgebungsgestaltung miteinander verglichen worden. Aus dem gemessenen Verlauf der Innenbeleuchtungsstärke konnte für die wichtigsten Tageslichtkomponenten und -systeme (Bild 3) die Verbesserung der Tageslichtquotienten im Vergleich zu einem Referenzraum ohne ITN-Massnahmen ermittelt werden (Bild 4). Bei den empfohlenen Systemen ist eine Verbesserung von bis zu 100% erreicht worden. Die Wirksamkeit der ITN-Massnahmen ist bei ungünstigen Verhältnissen, d.h. starker Beschattung durch Nachbarsbauten, am grössten.

Gemessene Werte der Aussenbedingungen erlaubten dann mit einem EDV-Programm «ITN» die Einschaltzeit der Beleuchtung für verschiedene Bedingungen zu ermitteln. Während eines Jahres wurden in Zürich stündliche Messungen der Sonnenscheindauer und Aussenbeleuchtungsstärke durchgeführt. Tabelle 3 zeigt, dass bei 100% Verbesserung des Tageslichtquotienten (Vergleich bestes System mit Referenzfall) 30% Einsparung bei der Einschaltzeit zu erwarten ist und dass die Verbesserungen in der Hauptsache an bedeckten Tagen auftreten. Bei starker Beschattung des Fensters durch umliegende Bauten kann die Verbesserung des Tageslichtquotienten bis etwa 300% betragen.

Komponenten für ITN

Aus Bild 4 kann die Wirksamkeit der einzelnen Komponenten beim Reflektorsystem wie folgt geschätzt werden anhand des Einflusses auf Tageslichtquotient in 3,75 m Tiefe

Bild 3. Zwei der wichtigsten ITN-Systeme



1 Reflektor
2 Zwischendecke mit Aluminium matt
3 Fenstersims weiss
4 hohe, evtl. schmale Fenster, Klarglas
5 helle Wände

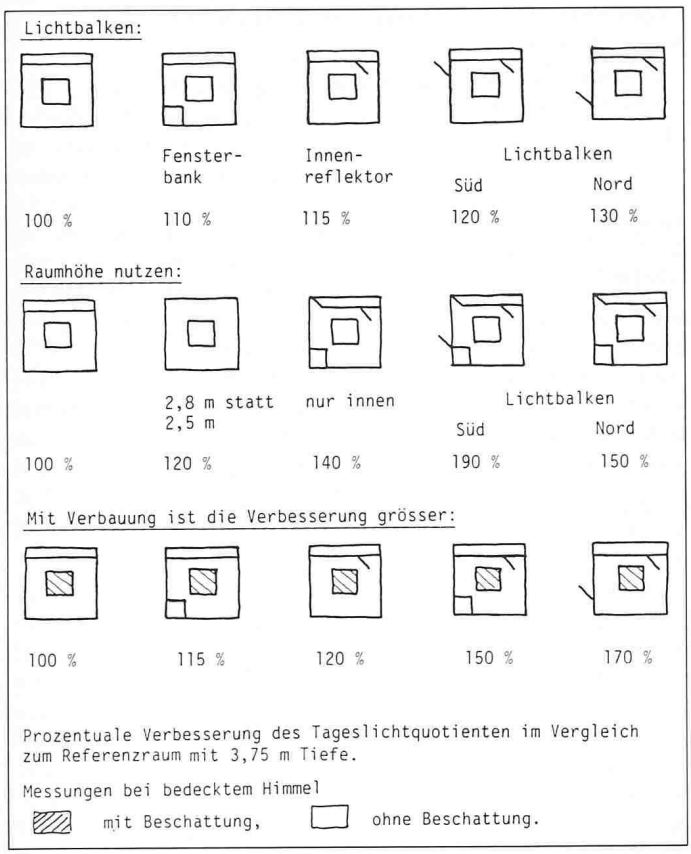


Bild 4a. Messresultate Tageslichtnutzung Büroraum, 2,5 m hoch, 6 m tief (100%: Tageslichtquotient für Basisfall)

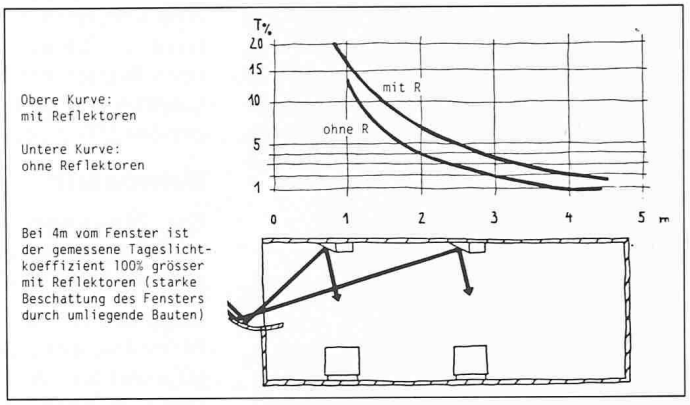


Bild 4b. ITN-Systeme mit in Fassade und Decke integrierten Reflektoren (Messresultate)

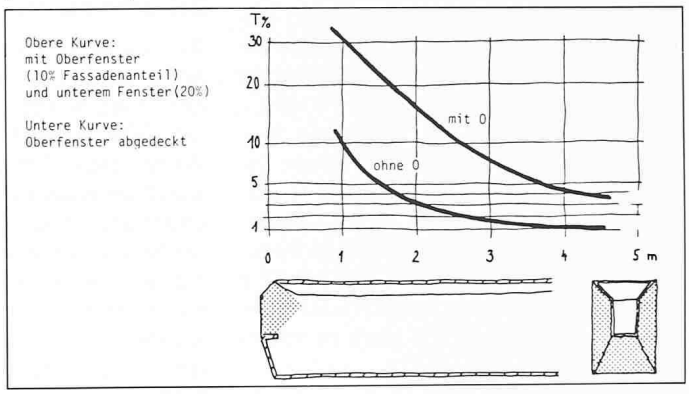


Bild 4c. ITN-Systeme mit optimierter Raum- und Fenstergestaltung

Tabelle 3a. Einschaltzeiten der Beleuchtung, optimales System (z.B. Bild 3, Reflektorsystem)

EINSCHALT-ZEIT BELEUCHTUNG 1,25 m

bei 50% Verbesserung gegenüber Referenzfall

EINSCHALTSGRENZE		400LUX	500LUX	600LUX	700LUX	800LUX
EINSCHALT-ZEIT (h)		411.6	493.4	577.3	650.6	725.9
STUNDEN	SONNIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	BEWÖLKT	13.7	17.4	25.9	31.4	41.6
	BEDECKT	398.0	476.1	551.4	619.2	684.3
T (%)	SONNIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T (%)	BEWÖLKT	11.0	10.8	10.8	10.7	10.2
T (%)	BEDECKT	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
T (%)	MITTEL	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0

EINSCHALT-ZEIT BELEUCHTUNG 3,75 m

EINSCHALTSGRENZE		400LUX	500LUX	600LUX	700LUX	800LUX
EINSCHALT-ZEIT (h)		964.8	1150.1	1335.2	1616.1	1924.7
STUNDEN	SONNIG	.7	6.8	34.9	149.3	294.5
	BEWÖLKT	101.7	173.3	267.3	386.6	504.7
	BEDECKT	862.4	970.0	1033.0	1080.2	1125.5
T (%)	SONNIG	4.8	4.4	2.4	2.2	2.0
T (%)	BEWÖLKT	3.5	3.3	3.0	2.8	2.7
T (%)	BEDECKT	3.8 *	3.8	3.8	3.7	3.6
T (%)	MITTEL	3.7	3.7	3.6	3.4	3.2

FENSTERTYP: NORMALFENSTER 2,5 m

ARBEITSTAGE: 250 IM JAHR

BÜROZEIT : 7 40 - 17 40

Reflektor aussen	20–30%	(50)
Fensterbank	10%	(15)
Deckenreflektoren	15%	(20)
Höhere Fenster	20%	(30)
Alle Massnahmen	50–100%	(100–200)

In Klammer: Werte bei Beschattung der Fenster durch umliegende Bauten. Bei Anwendung aller Massnahmen ergeben sich grössere Werte als die Summe der Einzelverbesserungen. Bei optimalem Winkel und Standort der Reflektoren und der Fensterbank verstärken sich die Massnahmen gegenseitig.

Zu der Interpretation der Messresultate ist folgende Bemerkung unerlässlich: Die Wirksamkeit der einzelnen Komponenten variiert sehr stark mit den Aussenverhältnissen (Bebauung, Reflektionsgrad) und ist ausserdem auch von den Innenverhältnissen (Raumgeometrie, Reflektionsgrad) abhängig. Deshalb gelten die angegebenen Verbesserungen von T strenggenommen nur für die gemessenen Verhältnisse. In der Praxis wird es oft erforderlich sein, in – billigen – Modellversuchen die tatsächlich optimalen Lösungen zu ermitteln und zu überprüfen.

Bild 5 zeigt die angenommene Wirksamkeit der verschiedenen Massnahmen. Es ist ersichtlich, dass die Optimierung des Projektes ganz wesentliche Verbesserungen erbringen kann.

Für eines der Systeme ist in Bild 6 ein typisches Messprotokoll der Modellmessung gegeben. Die Versuchseinrichtung ist in Bild 7 gezeigt.

Ergänzende Untersuchungen

Die Messresultate, welche am Modell erzielt worden sind, wurden durch EDV-Berechnung des Tageslichtquotienten für ausgewählte Fälle und durch eine grössere Anzahl von Messungen in möblierten Räumen überpüft. Es ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung.

EINSCHALT-ZEIT BELEUCHTUNG 1,25 m

bei 100% Verbesserung gegenüber Referenzfall

EINSCHALTSGRENZE		400LUX	500LUX	600LUX	700LUX	800LUX
EINSCHALT-ZEIT (h)		342.6	412.4	474.3	530.8	606.3
STUNDEN	SONNIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	BEWÖLKT	12.5	14.4	18.1	23.2	34.4
	BEDECKT	330.2	398.0	456.2	507.6	572.0
T (%)	SONNIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T (%)	BEWÖLKT	13.3	13.1	12.8	12.7	11.8
T (%)	BEDECKT	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
T (%)	MITTEL	14.0	14.0	14.0	13.9	13.9

FENSTERTYP: NORMALFENSTER 2,5 m

ARBEITSTAGE: 250 IM JAHR

BÜROZEIT : 7 40 - 17 40

EINSCHALT-ZEIT BELEUCHTUNG 3,75 m

EINSCHALTSGRENZE		400LUX	500LUX	600LUX	700LUX	800LUX
EINSCHALT-ZEIT (h)		888.0	987.2	1183.9	1480.4	1772.1
STUNDEN	SONNIG	.7	6.8	34.9	149.3	294.5
	BEWÖLKT	69.6	141.9	235.2	344.7	444.6
	BEDECKT	737.7	838.4	913.8	986.4	1033.0
T (%)	SONNIG	4.8	4.4	2.4	2.2	2.0
T (%)	BEWÖLKT	4.0	3.7	3.3	3.0	2.9
T (%)	BEDECKT	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
T (%)	MITTEL	4.9	4.8	4.6	4.3	4.0

Tabelle 3b. Einschaltzeiten der Beleuchtung, verbessertes System (z.B. Bild 3 optimale Fassade)

Referenzfall 100%

EINSCHALT-ZEIT BELEUCHTUNG 1,25 m

EINSCHALTSGRENZE		400LUX	500LUX	600LUX	700LUX	800LUX
EINSCHALT-ZEIT (h)		526.2	635.2	742.8	820.1	912.9
STUNDEN	SONNIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	BEWÖLKT	18.6	27.6	35.2	49.5	74.4
	BEDECKT	507.6	607.6	707.6	770.6	838.4
T (%)	SONNIG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T (%)	BEWÖLKT	8.4	8.2	8.3	8.3	8.1
T (%)	BEDECKT	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
T (%)	MITTEL	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

FENSTERTYP: NORMALFENSTER 2,5 m

ARBEITSTAGE: 250 IM JAHR

BÜROZEIT : 7 40 - 17 40

EINSCHALT-ZEIT BELEUCHTUNG 3,75 m

EINSCHALTSGRENZE		400LUX	500LUX	600LUX	700LUX	800LUX
EINSCHALT-ZEIT (h)		1180.4	1339.9	1552.4	1826.8	2116.3
STUNDEN	SONNIG	.7	6.8	34.9	149.3	294.5
	BEWÖLKT	146.8	235.0	358.4	493.8	619.6
	BEDECKT	1033.0	1098.1	1159.0	1183.7	1202.2
T (%)	SONNIG	4.8	4.4	2.4	2.2	2.0
T (%)	BEWÖLKT	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3
T (%)	BEDECKT	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
T (%)	MITTEL	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4

Tabelle 3c. Einschaltzeiten der Beleuchtung, Referenzraum (Bild 6)

Planungshinweise

Integrale Planung

Unser Haupteindruck nach Abschluss einer Studienreise in die USA war, dass einerseits sehr grosszügige Lösungen für Tageslichtnutzung gewählt worden sind, dass aber anderseits, während der späteren Projektierung oder Bauphase, Entscheide gefasst worden sind, welche mit der Tageslichtnutzung nicht abgestimmt waren. Wir stellten bei mehreren Bauten fest, dass die Tageslichtnutzung noch wesentlich verbessert werden könnte.

Wenn Tageslichtnutzung in Hochbauten ein Erfolg sein soll, muss eine vollständige Integration in das Bau-, Technik- und Betriebskonzept von Anfang an erfolgen. In den USA werden seit neuestem am Anfang der Planungsphase sogenannte Konzeptbesprechungen abgehalten. Diese erfolgen normalerweise an Ort und Stelle, evtl. in einem Wohnwagen. Es nehmen der zukünftige Benutzer, der Bauherr, der Architekt und alle erforderlichen Fachingenieure daran teil. An dieser Besprechung wird auch über Tageslichtnutzung diskutiert: Welche Möglichkeiten haben wir zur Auswahl, welche Ziele wollen wir verfolgen, welches sind die zu untersuchenden Varianten? So entstehen in gemeinsamer Arbeit gewisse Grundideen, d.h., das Energie- und das Tageslichtkonzept muss nicht noch dem Bauherrn und dem Architekt «verkauft» werden.

Bei uns wäre es zweckmässig, die Tageslichtnutzung bei der Durchführung des Energiekonzeptes zu berücksichtigen. In diesem Konzept wird Bau und Technik, Energiebedarf und Energiebedarfsdeckung frühzeitig und in Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, Architekt, Ingenieur optimiert. Erfahrungen mit zahlreichen Energiekonzepten zeigen, dass in dieser Phase ganz wesentliche Jahreskosten-Einsparungen erzielt werden können. Die Jahreskosten setzen sich aus Energie-, Wartungs- und Unterhaltskosten sowie Investitionen zusammen.

Faktoren mit Einfluss auf ITN

Wenn der Bauherr beschliesst, dass er ein Gebäude mit intensiver Tageslichtnutzung möchte, so greift das weitgehend in die bauliche Konzeption ein. Nachfolgend werden die wichtigsten sechs Faktoren besprochen: Orientierung, Tageslichtzonen, Raumhöhe, Fassaden, Decken, Büromöbel.

Eine Gebäudeorientierung mit Hauptfassaden nach Süden und Norden ist von Vorteil. Unter Umständen kann in diesem Fall eine feste Beschattung gewählt werden. Auch die passive Sonnenenergienutzung ist möglich.

Unter Tageslichtzonen verstehen wir Zonen mit einem Abstand von etwa 6 m vom Fenster (etwa 2mal die Höhe der Fensteroberkante). Der Anteil der Tageslichtzonen an der Gesamtnutzfläche sollte so hoch als möglich sein. Dies bedeutet möglichst wenig innere Zonen und möglichst wenig Untergeschosse.

Der Vorteil dieser Lösung ist auch, dass in vielen Fällen eine Fensterlüftung möglich ist; lufttechnische Anlagen

entfallen somit. Diese «nach aussen gerichtete» Bauweise hat auch ihre Grenzen: Der Wärmeenergiebedarf erhöht sich. Die Erhöhung der Gesamtenergiekosten, inkl. Wärme und Beleuchtung, kann, im Vergleich zu einem Kompaktbau, 15% betragen. In vielen Fällen wird man das Gebäude mindestens teilweise «nach innen ausrichten». Dies kann zum Beispiel durch offene oder gedeckte Lichthöfe erfolgen. Beim bedeckten Lichthof ist die Ausnutzung der winterlichen Sonnenenergiegewinne durch eine Wärmepumpe möglich.

Die Messungen in bestehenden Bauten zeigen, dass die Tageslichtnutzung bei grosser Raumhöhe ganz wesentlich verbessert wird. Neubauten mit ITN und tieferen Räumen sollten mindestens im Fensterbereich eine minimale Bauhöhe von 2,8 m haben. Dies bedingt eine besondere Gestaltung der abgehängten Decke, falls eine vorhanden ist. Diese erhöhten Räume sind besonders bei starker Beschattung durch Bauten in der Umgebung erforderlich.

Die Fenster sollten möglichst aus Klarglas und im oberen Bereich so gross wie möglich sein. Die erforderliche Fensterfläche variiert von Fall zu Fall; bei Räumen mit grosser Tiefe, d.h. für Arbeitsplätze in der 2. Reihe, sind grössere Fensterflächen zu wählen. Auch hier ist der Wärmeverlust zu berücksichtigen. In die Fassade integrierte Reflektoren und helle Fensterbänke und -simse sollten zunehmend verwendet werden.

Wenn eine abgehängte Decke erforderlich ist, so sollte sie hell, im Fensterbereich abgeschrägt und luftdurchlässig sein. Die Decke sollte eine individuelle Anordnung der Beleuchtung nach Arbeitsplätzen erlauben, besonders dann, wenn die Reflektoren für Tageslichtnutzung in die Leuchten integriert sind. Parallel zur Fassade liegende, grössere Installationen an der Decke sind möglichst zu vermeiden. Die Farbe der Dekke und der hinteren Wand sollte jedenfalls hell sein, evtl. kann eine Seitenwand als Farbakzent dunkler gewählt werden.

Die Arbeitsplätze sind möglichst nahe am Fenster zu wählen. Hohe Trennwände, parallel zur Fassade, sollten vermieden werden. Wenn möglich sollte der Korridor natürlich beleuchtet sein (hintere Wand im oberen Bereich transparent). Einige Elemente der baulichen Gestaltung sind in Bild 8 in einem Beispiel dargestellt.

Es ist eine möglichst vollständige Integration des Kunst- und Tageslichtkonzeptes anzustreben. Dies ist um so mehr möglich, als heute Kunstlichtsysteme mit den geeigneten Lichtfarben zur Verfügung stehen. Ein mögliches integriertes Konzept könnte wie folgt aussehen: Die künstliche Beleuchtung wird auf eine individuelle Arbeitsplatzbeleuchtung (zum Beispiel Tischlampen mit 10 Watt, welche 500 Lux ergeben) und einer Allgemeinbeleuchtung an der Decke, welche nur 300 Lux Leuchtstärke erzeugt, aufgeteilt. Bei diesem System kann die Allgemeinbeleuchtung weitgehend durch Tageslicht ersetzt werden und dies sogar bei Raumtiefen, welche über die normale Tageslichtzone von 6 m (von der Fassade) gehen. Wenn Reflektoren für Tageslichtlenkung verwendet werden, könnten diese auch für Kunstlicht eingesetzt werden - in Amerika werden Fluoreszenzröhren auf die Lichtbalken gesetzt.

Wie schon erwähnt, kann in Bauten mit einem grossen Anteil von Tageslichtzonen im Normalfall der Anteil von lufttechnischen Anlagen klein gehalten werden, da eine Fensterlüftung möglich ist. Es ist jedoch auf jeden Fall zu vermeiden, dass durch Tageslichtnutzung eine erhöhte Wärmebelastung auftritt. Deshalb muss jedes Tageslichtsystem unter Berücksichtigung des Sonnenschutzes geplant werden (z.B. Storen usw.).

Bemerkung: Es ist möglich, im Winter die Wärmegewinne der Sonneneinstrahlung durch gezielte Luftströmungen und evtl. Einsatz von Wärmepumpen zu Heizzwecken auszunützen. Solche kombinierten Tageslicht- und passiven Sonnenenergienutzungs-Anlagen sollten vermehrt geprüft werden.

Lichtabschaltung

In besonders hellen Räumen mit Tageslichtquotienten von 5% oder mehr am hinteren Arbeitsplatz, ist eine automa-

Bild 5. Vergleich verschiedener Systeme während verschiedener Optimierungsphasen der Planung

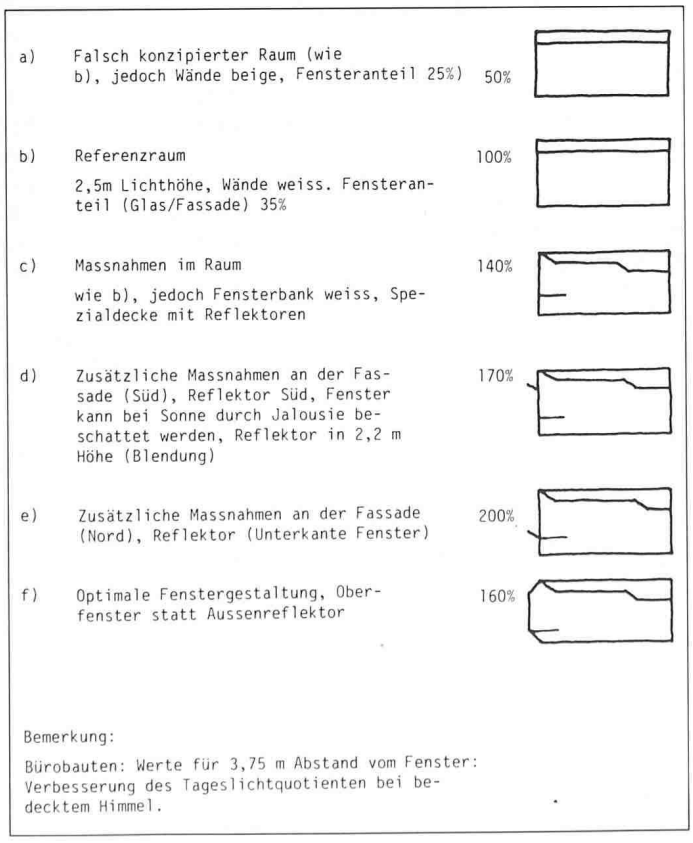
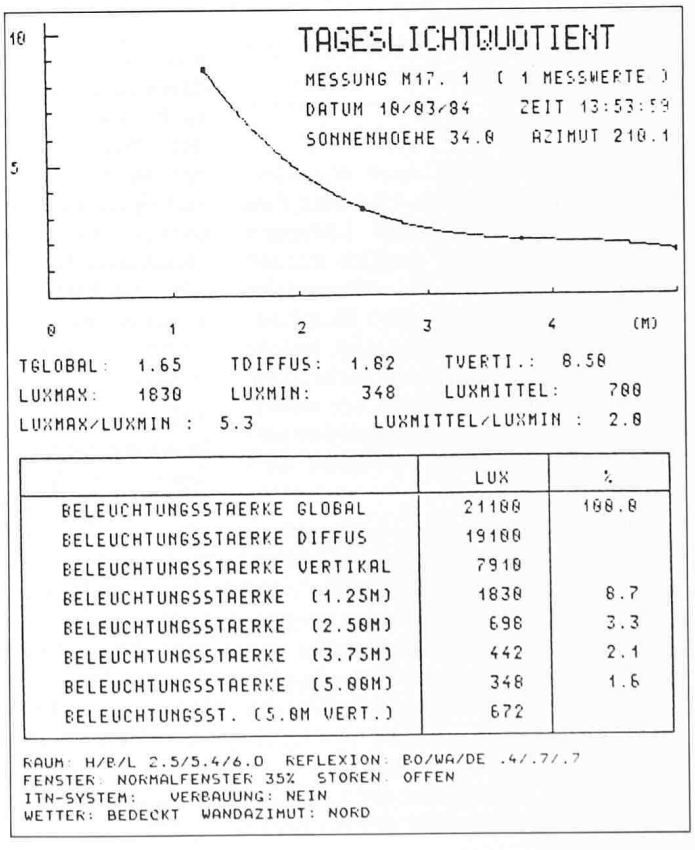


Bild 6. Messprotokoll



tische Abschaltung nicht unbedingt erforderlich. In allen anderen Fällen jedoch kann die erforderliche Abschaltung von 70% der Betriebszeit nur durch eine automatische Lichtabschaltung erreicht werden. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten: Kontinuierliche Lichtregelung oder Ein-Aus-Betrieb. Besonders in Fällen mit kleineren Tageslichtquotienten können durch eine kontinuierliche Lichtregelung gute Resultate erzielt werden. In der Praxis wird jedoch aus Kostengründen eher der Ein-Aus-Betrieb verwendet.

Wir schlagen ein individuelles System vor: Ein Fühler für Aussenhelligkeit pro Fassade, automatische Lichtabschaltung der ersten und zweiten Reihe der Beleuchtung, individueller, pro Raum einstellbarer Ausschaltpegel. Lichteinschaltung von Hand oder automatisch. Dieses System, welches eine Mehrinvestition von etwa 450.- Fr./Raum à 4 Personen erfordert, erlaubt eine räumlich individuell einstellbare Steuerung der Beleuchtungsabschaltung.

Die optimale Ausbildung der einzelnen Tageslichtelemente, Reflektoren, Oberfenster, Fensterbank, Farbgestaltung, Decke, muss für jeden konkreten Fall neu überprüft werden, evtl. sind sogar Versuche notwendig. Im Laufe des Energiekonzeptes wird es Aufgabe des Beraters sein, die optimalen Massnahmen zu bestimmen. Folgende Hinweise sind jedoch allgemein gültig.

Einsatzgebiete

ITN ist besonders attraktiv

- in Räumen mit Arbeitsplätzen, die etwa 1-4 m Abstand vom Fenster haben
- bei grösserer Beschattung durch Nachbarbauten.

Daraus folgt, dass in einem Bau die Räume unter individuell adäquaten Kriterien betrachtet werden müssen. Die grössten Verbesserungen sind in den beleuchtungsmässig ungünstigsten Räumen zu erwarten. Ausgeführte Beispiele zeigen, dass die Anwendung ITN sogar bei Sanierungen möglich ist. Allerdings sind die Verbesserungen kleiner als bei konsequenter Neuplanung.

Planungsprinzipien

- möglichst viel natürliches Licht in den Raum bringen (möglichst viel Einstrahlung von oben)

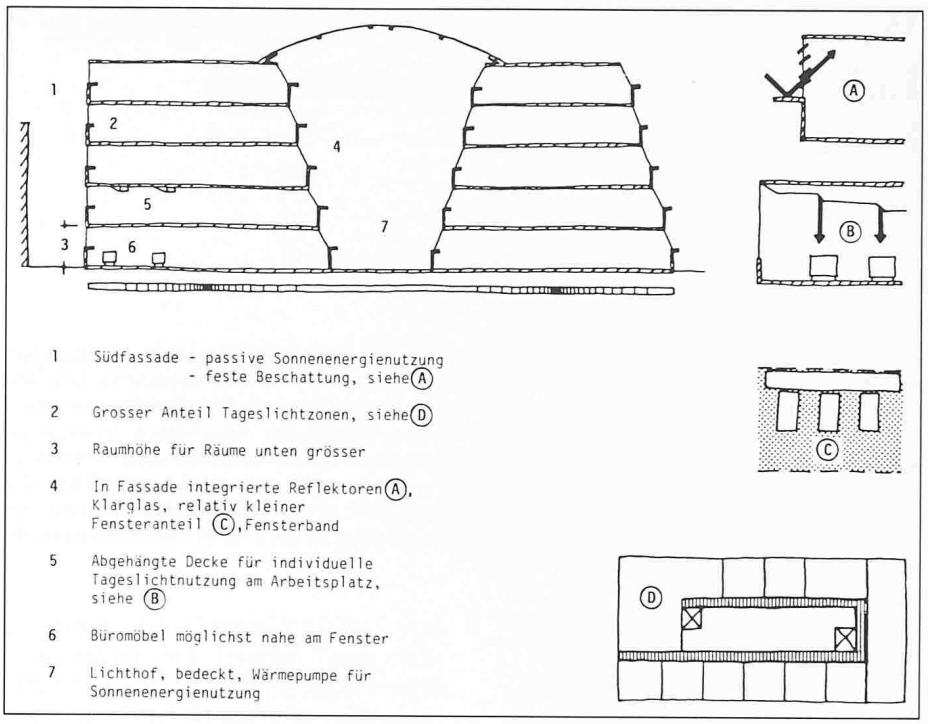


Bild 8. Beispiele für den Einfluss der baulichen Gestaltung auf die Tageslichtnutzung

- an die Decke reflektieren und nach hinten leiten (Fensterbank, geschlossene Decke)
- wieder auf den Arbeitsplatz umlenken (arbeitsplatzorientierte Tageslichtnutzung)

Weitere laufende Arbeiten

Zur Zeit wird an vier Objekten ein Demonstrationsvorhaben durchgeführt. In Geschäftsbauten einer Verwaltung, eines kommerziellen Betriebes, eines Generalunternehmens und eines Ingenieurbüros werden während eines Jahres Betriebserfahrungen gesammelt. Dazu gehören: Einschaltzeiten der Beleuchtung in Räumen mit ITN und in Referenzräumen, Einfluss der Verschmutzung und des Benutzerverhaltens. Dabei werden die einzelnen Elemente weiterentwickelt. So wird z.B. versucht, Fenstersonnenschutz und ITN-Reflektoren zu kombinieren.

Es wäre zu wünschen, dass in der nächsten Zeit möglichst viele Bauten nach den Prinzipien der intensiven Tageslichtnutzung konzipiert und konsequent realisiert werden.

Adresse der Verfasser: *M. Kiss*, dipl. El.-Ing. ETH und *R. Luginbühl*, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Bellerivestrasse 36, Postfach, 8022 Zürich.

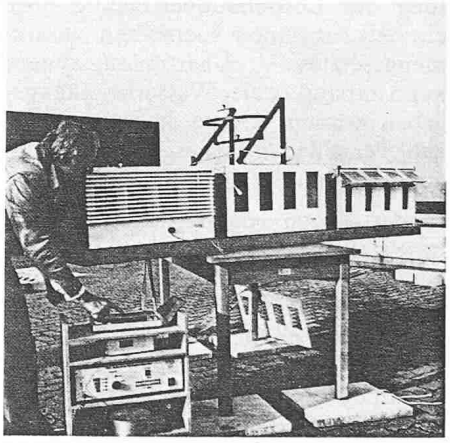


Bild 7. Messeinrichtung

Literatur

[1] «Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten, Phase 1, Systemvergleich». Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich 1984
[2] «Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten, Phase 2, Messresultate». Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich 1985
[3] *Keller M.*: «Tageslichtnutzung» (Grundlagen zur Berechnung von Energieeinsparungen). Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 39/1985, Zürich