Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 103 (1985)

Heft: 44

Artikel: Tageslichtnutzung: Grundlagen zur Berechnung von Energieeinsparungen

Autor: Keller, Max

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75921

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: 13.01.2026

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

Tageslichtnutzung

Grundlagen zur Berechnung von Energieeinsparungen

Von Max Keller, Zürich

Neben Massnahmen zur Reduktion des Wärmeenergiebedarfs von Hochbauten sollten zunehmend auch neue Methoden zur Reduktion des Elektroenergiebedarfs überprüft werden. Tageslichtnutzung stellt ein in dieser Hinsicht vielversprechendes Mittel dar, den Beitrag des natürlichen Tageslichts zur Innenbeleuchtung auch ausserhalb des eigentlichen Fensterbereichs zu steigern.

Einleitung

Mit der Tageslichtnutzung, d. h. dem Beleuchten von Räumen mit natürlichem Licht, werden im wesentlichen zwei Ziele verfolgt. Einerseits wird versucht, durch verbesserte Nutzung des Tageslichts die Elektroenergiekosten für die künstliche Beleuchtung zu reduzieren; anderseits wird eine Qualitätsverbesserung der Arbeitsplätze durch besseren Sehkomfort angestrebt.

Aus der Forderung des Energiesparens kann der Schluss gezogen werden, dass Tageslichtnutzung vor allem in Büro-, Gewerbe- und Industriebauten von Bedeutung sein wird, weil hier z. B. in einem energiegerechten, neuen Bürobau etwa 20% bis 30% der jährlichen Energiekosten für Kunstlicht aufgewendet werden müssen. Dass aber auch der Aspekt der Qualitätsverbesserung des Arbeitsplatzes von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist, folgt allein schon aus der Tatsache, dass Licht der wichtigste Umweltfaktor für die menschliche Tätigkeit ist und immerhin über 80% aller Sinneseindrücke visuell sind. Wenn Energieeinsparungen das einzige Kriterium in der Tageslichtnutzung wären, so wäre zweifellos ein fensterloses, unterirdisches Gebäude vom energetischen Standpunkt betrachtet die wirtschaftlichste Lösung.

Im Rahmen einer vom Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) finanzierten Studie wurde versucht, mit experimentellen und zum Teil theoretischen Methoden herauszufinden, welche Energieeinsparungen und Qualitätsverbesserungen mit speziellen Fensterformen und Lichtlenkungssystemen unter schweizerischen Verhältnissen erzielt werden können. Die Zielsetzung bestand dabei im wesentlichen darin, die schon seit Jahrzehnten von berühmten Architekten wie Alto und Le Corbusier praktizierte Tageslichtnutzung nicht mehr in einer intuitiven, sondern in einer wissenschaftlichen, aber dennoch praxisorientierten Art und Weise anzugehen.

An dieser Stelle sollen einige der eher theoretischen Erkenntnisse wiedergegeben werden, die im Rahmen dieser Studie gewonnen wurden. Für die praktischen Ergebnisse, d. h. insbesondere Verbesserungen und Einsparungen, welche in optimierten Tageslichtbauten im Vergleich zu konventionellen Gebäuden erzielt werden können, wird auf den Artikel «Intensive Tageslichtung» (Anwendung im Hochbau) in [5] oder auf den ausführlichen NEFF-Bericht verwiesen, der Anfang 1985 veröffentlicht wurde.

Modellversuche

Für die Beschreibung der Tageslichtverhältnisse im Innenraum wird in der Beleuchtungstechnik allgemein der sogenannte Tageslichtquotient (TLQ) verwendet. Er ist wie folgt definiert:

$$TLQ = \frac{E_i}{E_a} \cdot 100[\%]$$

E_i Beleuchtungsstärke am betrachteten Punkt im Raum, im allgemeinen auf einer horizontalen Arbeitsebene 85 cm über dem Boden gemessen.

E_a gleichzeitig vorhandene Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien bei unverbautem Horizont.

Der Tageslichtquotient sagt demnach aus, wieviel Prozent des Aussenlichts im Betrachtungspunkt im Raum noch vorhanden ist. Für seine Ermittlung bestehen eine ganze Reihe grafischer, rechnerischer oder auch experimenteller Verfahren, die von allzu stark vereinfachten und damit wertlosen bis zu äusserst komplizierten Methoden reichen. Im Unterschied zu den grafischen und auch rechnerischen Methoden, die in ihrer Anwendung im allgemeinen auf relativ einfache Gebäudeformen beschränkt sind, erlauben es experimentelle Modellversuche auch bei komplexen Gebäuden mit speziellen Fensterformen und Lichtlenkungssystemen, die Tageslichtverhältnisse zu ermitteln. Der Aufwand für solche Modellversuche ist zwar grösser, ist aber allein schon im Hinblick auf die bessere Anschauung durchaus gerechtfertigt.

Es wurde deshalb beschlossen, für die Untersuchung der Tageslichtverhältnisse drei Modelle im Massstab 1:8 zu bauen und auf dem Dach eines Gebäudes der Elektrowatt-Ingenieurunternehmung AG in Zürich auszumessen (Bild 1). Das Ausmessen von gleichzeitig drei Modellen hat den Vorteil, unmittelbar einen Vergleich zwischen den einzelnen Modellen zu gestatten. Zudem kann ein Modell jederzeit als Referenzmodell verwendet werden, wodurch auch bei veränderter Aussenbeleuchtungsstärke Quervergleiche möglich sind. Wegen der grossen anfallenden Datenmengen erfordert eine solche Anordnung allerdings einen höheren messtechnischen Aufwand. Es musste deshalb für die Erfassung der zahlreichen Messwerte eine spezielle elektronische Messeinrichtung gebaut werden, welche es erlaubte, praktisch gleichzeitig Beleuchtungsstärken an bis zu 22 verschiedenen Stellen zu messen. Gemessen wurde insbesondere die Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien (diffus und global) und die Beleuchtungsstärke innerhalb der drei Modelle in 1,25 m, 2,5 m, 3,75 m und 5,0 m Abstand vom Fenster. (Modellmassstab) 1,25 m Fensterabstand entspricht dabei einer typischen Distanz für die Anordnung der vorderen Lampenreihe und 3,75 m einem durchschnittlichen Wert für die zweite Lampenreihe zur Beleuchtung eines hinteren Arbeitsplatzes.

Als Sensoren für die Beleuchtungsstärkemessung wurden geeichte Si-Photoelemente der Firma PRC Krochmann GmbH in Deutschland verwendet. (Diese Fühler sind in der (λ)-Anpassung besser als Klasse A und in der *cos*-Anpassung besser als Klasse B.)

Durch systematische Messungen ist es so möglich, das Verhalten von ausgewählten Tageslichtnutzungssystemen durch Variation verschiedener Parameter experimentell zu überprüfen und insbesondere den Tageslichtquotienten für verschiedene Fensterabstände zu bestimmen.

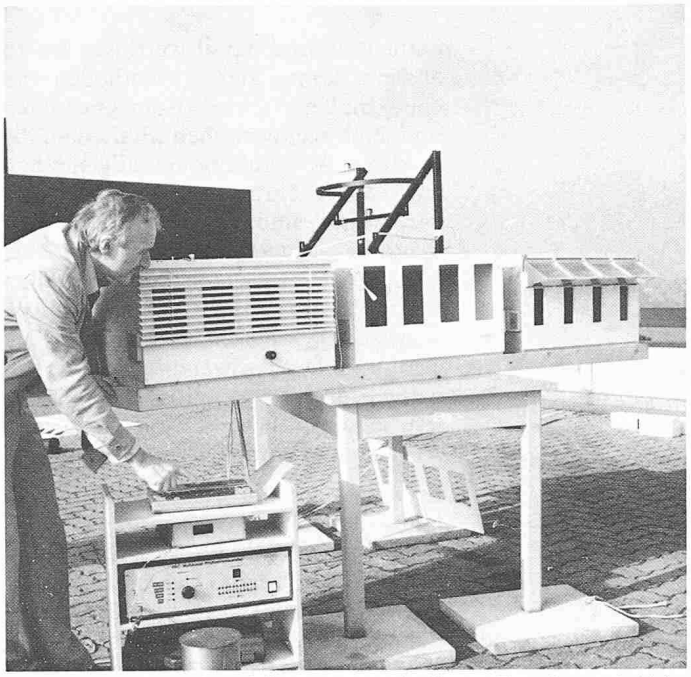


Bild 1 (oben). Versuchsmodelle mit auswechselbaren Fassaden und Lichtlenkungssystemen zur Untersuchung der Tageslichtverhältnisse

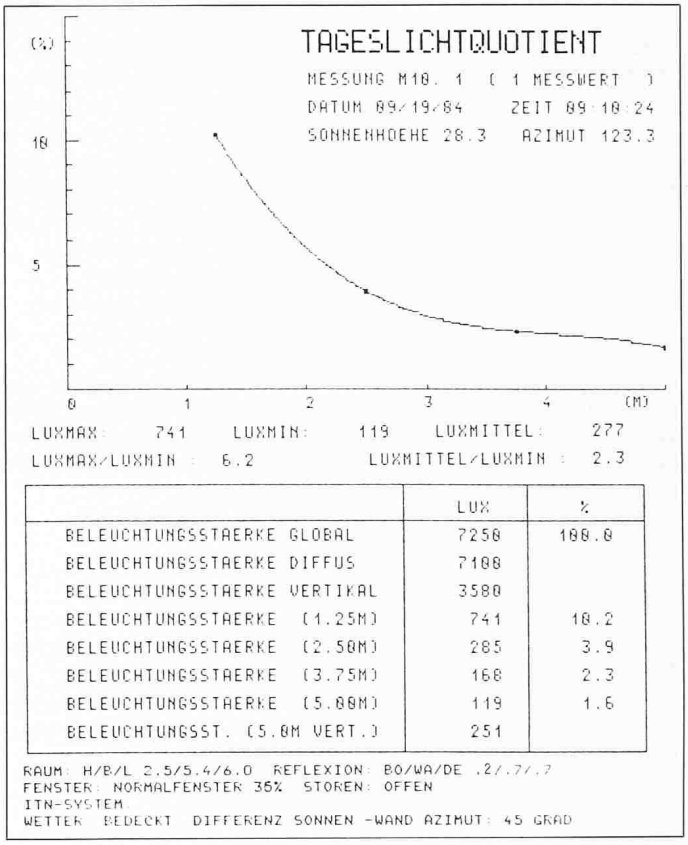


Bild 2 (rechts). Messprotokoll des mittleren Modells (siehe Bild 1) bei vollständig bedecktem Himmel

Messresultate

Als Illustration für die Informationen, die mit solchen Modellmessungen gewonnen werden können, sind in Bild 2 stellvertretend für die zahlreich durchgeführten Versuche, die Messergebnisse eines Einzelversuches wiedergegeben (mittleres Modell in Bild 1). Neben den gemessenen Beleuchtungsstärken in Lux und den entsprechenden Tageslichtquotienten sind in diesem Messprotokoll alle für das Modell relevanten gebäudespezifischen Daten über die Raumgeometrie, Reflexionsgrade von Boden, Wänden, Decken, Fensterform, Glasanteil und Art des Sonnenschutzes aufgeführt. Ebenso sind Angaben enthalten über das Wetter, das Datum und die Zeit der Messung. Alle diese Parameter haben einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse des Tageslichtquotienten und müssen deshalb bei Vergleichen unterschiedlicher Modelle berücksichtigt werden. Solche Einzelversuche geben die Tageslichtverhältnisse zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt wieder und sind deshalb im Prinzip nur für die in diesem Moment herrschenden Aussenbedingungen gültig.

Um auch Auskunft über den Lichteinfall zu anderen Tages- und Jahreszeiten und unter verschiedenen Meteobedingungen (Himmel klar, bewölkt, bedeckt) zu erhalten, ist es nötig, für jedes Modell mehrere solcher Einzelversuche durchzuführen. Am einfachsten kann dies dadurch geschehen, dass die drei nebeneinander aufgestellten Modelle an einem bedeckten und einem klaren Tag alle 10 min in azimutaler Richtung gedreht werden und so im Verlaufe eines Tages mit relativ wenigen Messungen der Lichteinfall für verschiedene Sonnenhöhen und Himmelsrichtungen erfasst wird.

Der Lichteinfall für ein bestimmtes Modell ist vor allem davon abhängig, wie die Leuchtdichteverteilung desjenigen Teils des Himmels aussieht, der von einem bestimmten Fensterabstand aus im Rauminnern gesehen werden kann. Während der bedeckte Himmel zumindest in der Theorie durch eine relativ einfache rotationssymmetrische Leuchtdichteverteilung mit einer grössten Leuchtdichte im Zenit charakterisiert ist (Bild 3), weist der klare Himmel eine bedeutend kompliziertere Verteilung mit einer grössten Leuchtdichte in Sonnennähe auf (Bild 4). Diese unterschiedliche Leuchtdichteverteilung, welche sich primär durch das Vorherrschen der diffusen Sonnenstrahlung im Fall des bedeckten Himmels, resp. der direkten Sonnenstrahlung im Fall des klaren Himmels ergibt, führt zu ganz unterschiedlichem Lichteinfall für diese zwei Wetterbedingungen.

Bei bedecktem Himmel ist der Lichteinfall unabhängig von der Sonnenhöhe und wegen der rotationssymmetrischen Leuchtdichteverteilung des Himmels auch unabhängig vom Sonnenazimut. Demgegenüber ergeben sich bei klarem Himmel, bedingt durch den Lauf der Sonne, ständig ändernde Leuchtdichteverteilungen und damit erheblich kompliziertere Verhältnisse. Hier ist der Tageslichtquotient ausser von der Sonnenhöhe auch stark vom Stand der Sonne relativ zur Orientierung der Fassade abhängig. Es ist deshalb zweckmässig, bei klarem Himmel die Tageslichtquotienten nicht nur in Abhängigkeit der Sonnenhöhe, sondern zusätzlich in Abhängigkeit der Differenz Sonnen-Wandazimut darzustellen (Bild 5). (Sonnenhöhe = Winkel zwischen der Sonnenrichtung und der Horizontalebene; Sonnen-Wandazimut = Winkel zwischen der Projektion der Sonnenrichtung auf eine Horizontalebene und der Normalen der Fassade.) Mit dieser Darstellung ist es möglich, für jede beliebige Zeit des Jahres den Tageslichtquotienten anzugeben und dadurch ein vollständiges Bild der Tageslichtverhältnisse für die beiden extremen Wetterbedingungen zu erhalten.

Bild 6 zeigt die gemessenen Tageslichtquotienten für den vollständig bedeckten und Bild 7 für den klaren Himmel. Aus den beiden Diagrammen ist schön das komplett unterschiedliche Verhalten des Tageslichtquotienten unter diesen zwei Himmelsbedingungen zu erkennen. Während bei bedecktem Himmel der Tageslichtquotient wie in der Theorie gemäss internationalem Normenhimmel für einen bestimmten Fensterabstand ungefähr konstant ist (auf

die Streuungen wird später eingegangen), ist bei klarem Himmel deutlich die vorher erwähnte Abhängigkeit von Sonnenhöhe und Azimut zu erkennen. Diese Abhängigkeit der Sonnenhöhe auf die Grösse des Tageslichtquotienten bei klarem Himmel ist vor allem für die der Sonne zugekehrten Fassaden ausgeprägt, während für Nordfassaden ohne direkte Sonneneinstrahlung kein grosser Einfluss mehr vorhanden ist.

Es muss beachtet werden, dass die Versuche in Bild 7 alle ohne Sonnenschutzeinrichtung durchgeführt wurden. In Wirklichkeit sind aber für besonnte Fassaden bei klarem Himmel mit überwiegender direkter Sonneneinstrahlung Sonnenschutzeinrichtungen notwendig, um einerseits die Wärmebelastung im Raum in Grenzen zu halten und anderseits Blendung zu vermeiden. Dadurch wird der Tageslichtquotient für solche Fassaden massgeblich auch vom Benutzerverhalten beeinflusst, indem je nach Stellung der Jalousie der Tageslichtquotient vom Wert ohne Sonnenschutzeinrichtung bis zu praktisch null (Jalousie ganz geschlossen) variieren kann. Diese willkürliche Komponente des Benutzerverhaltens ist rechnerisch schwer zu erfassen. Die Modellmessungen zeigen allerdings, dass der Tageslichtquotient auch für Fassaden mit direkter Sonneneinstrahlung etwa vergleichbar ist mit dem für Nord-Fassaden, unter der Voraussetzung eines vernünftigen Gebrauchs der Jalousie. Im Sinne einer Vereinfachung kann deshalb für den Tageslichtquotienten bei klarem Himmel in jedem Fall die unterste Kurve in Bild 7 mit $|a_s - a_w| = 135° - 180°$ verwendet und damit der Einfluss der Fassadenorientierung vernachlässigt werden.

Vergleich der Messresultate mit Computersimulationen

Seit längerer Zeit besteht an der Hochbauabteilung der HTL Brugg-Windisch ein Computerprogramm, das die Berechnung des Tageslichtquotienten an einem beliebig gewählten Punkt im Innenraum nach DIN 5034 erlaubt. Insbesondere kann mit diesem Programm für relativ komplizierte Geometrien der Lichteinfall von bis zu 15 beliebig geneigten Fenstern, allerdings ohne spezielle Lichtlenkungssysteme, simuliert werden. Berücksichtigt wird dabei die Leuchtdichteverteilung des vollständig bedeckten Himmels nach CIE (Commission Internationale de l'Eclairage).

Dieses Programm wurde uns freundlicherweise von Prof. *H. von Escher* für den Vergleich der unter realen Bedingungen durchgeführten Modellversuche zur Verfügung gestellt. Bild 8 zeigt die Ergebnisse dieser Computerberechnungen. Auch wenn zuwenig vergleichende Computersimulationen durchgeführt wurden, um ein abschliessendes Urteil zu erlauben, so darf doch die Übereinstimmung zwischen gemessenen (Bild 6) und gerechneten Werten (Bild 8) als recht gut bezeichnet werden, indem der Mittelwert der gemessenen Tageslichtquotienten sowohl in 1,25 m als auch in 3,75 m Fensterabstand denselben Wert wie die Computersimulation ergibt. Die relativ grossen Abweichungen der gemessenen Tageslichtquotienten vom Mittelwert, die sowohl positiv als auch negativ sein können, rühren daher, dass der wirkliche Himmel vom «CIE-Himmel» abweicht und je nach Wolkentyp, Art der Bedeckung, Trübungsfaktor usw. eine andere Leuchtdichteverteilung und damit ein anderes Verhältnis von Innen- zu Aussenbeleuchtungsstärke entsteht. Der natürliche Himmel bietet selten Gelegenheit zu einwandfreien Messungen. Deshalb sind in Wirklichkeit selbst bei vollkommen diffuser Strahlung wegen der zeitlich stark veränderlichen und ungleichmässigen Lichtzuflüsse aus verschiedenen Himmelszonen gewisse Variationen im Tageslichtquotienten unvermeidlich.

Die Modellmessungen zeigen klar, dass Aussagen über den Tageslichtquotienten aufgrund nur einer Einzelmessung zu grossen Fehlern führen können. Tageslichtnutzung ist infolge der ständig ändernden Wetterbedingungen ein dynamischer Vorgang und darf deshalb als solcher auch nur statistisch angegangen werden. Trotzdem scheint es möglich, mit relativ einfachen Computerprogrammen die Tageslichtverhältnisse treffend zu beschreiben. Wenn es gelingt, solche Programme noch für komplexere Lichtlenkungssysteme (Lichtbalken, Deckenreflektoren, Spiegel, Linsen- und Prismensysteme) und andere Himmelszustände (klarer Himmel) auszubauen, so wäre damit sicher ein in zunehmendem Mass wichtiger werdendes Instrument für Tageslichtberechnungen geschaffen.

Häufigkeitsverteilung der Beleuchtungsstärke im Freien

Für die Beurteilung der Beleuchtungsverhältnisse in Räumen benötigt man neben der Kenntnis der Tageslichtquotienten auch Auskunft darüber, während welchem Anteil der Arbeitszeit eine bestimmte Beleuchtungsstärke im

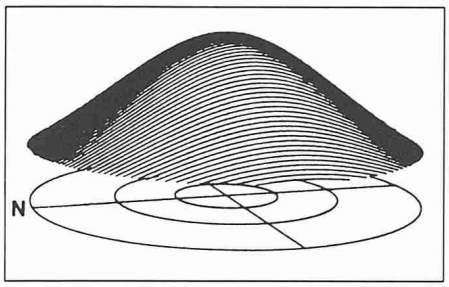


Bild 3. Leuchtdichteverteilung des vollständig bedeckten Himmels gemäss CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)

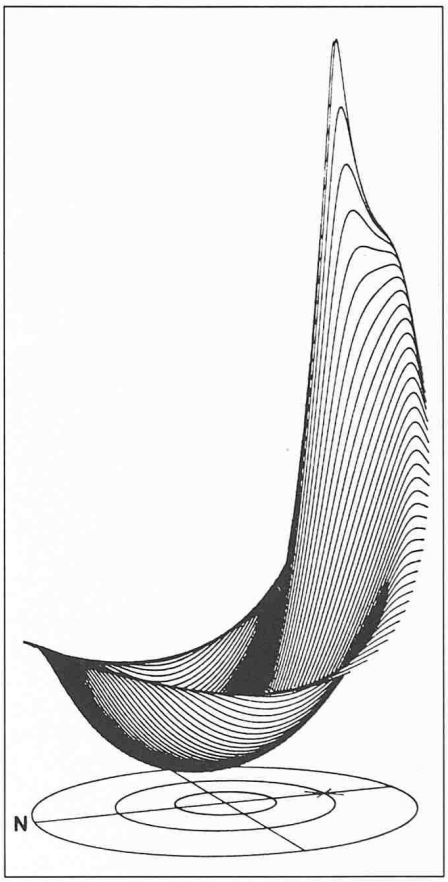
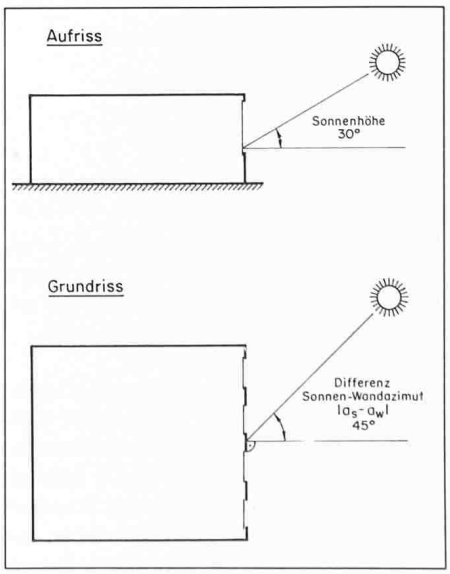


Bild 4. Leuchtdichteverteilung des klaren Himmels gemäss CIE für eine Sonnenhöhe von 30° und Sonnenstand im Süden

Bild 5. Darstellung der im Text beschriebenen Winkelbeziehungen



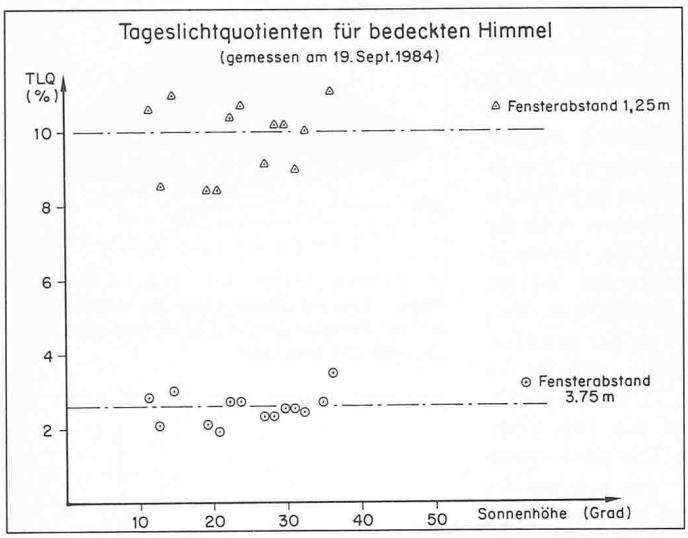


Bild 6. Gemessene Tageslichtquotienten des mittleren Modells (siehe Bild 1) bei vollständig bedecktem Himmel in 1,25 m und 3,75 m Fensterabstand in Abhängigkeit der Sonnenhöhe

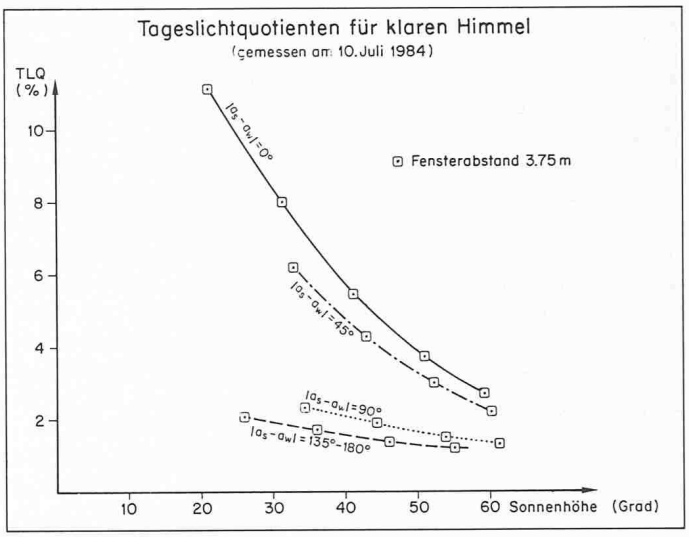
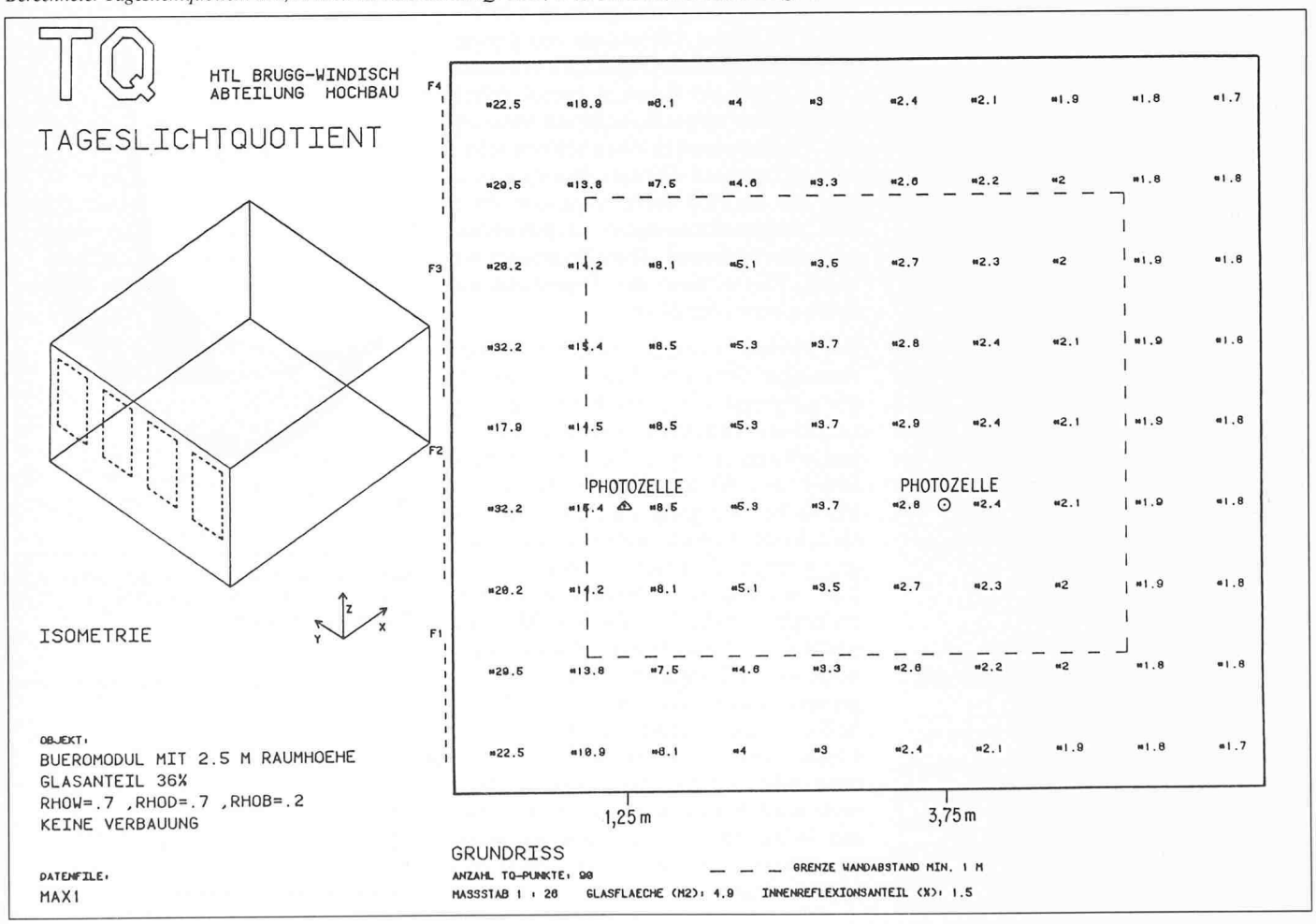


Bild 7. Gemessene Tageslichtquotienten des mittleren Modells bei klarem Himmel in 3,75 m Fensterabstand für verschiedene Winkel zwischen Sonnen- und Wandazimut (a_s = Sonnenazimut, a_w = Wandazimut)

Bild 8. Tageslichtquotienten des mittleren Modells, berechnet mit dem Computerprogramm der HTL Brugg-Windisch für den vollständig bedeckten Himmel. Berechneter Tageslichtquotient in 1,25 m Fensterabstand TLQ: 10%, in 3,75 m Fensterabstand TLQ: 2,6%



Freien erreicht oder überschritten wird. Dazu sind Daten über den zeitlichen Verlauf, Qualität und Quantität des natürlichen Lichtangebots erforderlich.

Solche Daten sind bis heute eher spärlich vorhanden. Für das Jahr 1982 konnte uns aber die Schweizerische Meteorologische Anstalt SMA freundlicherweise Messwerte für den Standort Kloten in Form von Stundenwerten zur Verfügung stellen. Neben den gemessenen Aussenbeleuchtungstärken für jede Stunde des Jahres wurden uns auch die entsprechenden Globalstrahlungswerte und die Sonnenscheindauer für die Auswertung überlassen.

Mit diesen Informationen ist es möglich, mit Hilfe eines einfachen Computerprogramms die Beleuchtungsstärke jeder Stunde einer entsprechenden Klasse (0–5000 Lux, 5000–10 000 Lux usw.) zuzuordnen und damit eine Häufigkeitsverteilung der Aussenbeleuchtungsstärke zu erstellen. Bild 9 zeigt ein solches Häufigkeitsdiagramm für eine Bürozeit von 2500 h pro Jahr (07.40–17.40 Uhr und 250 Arbeitstage) für den Standort Kloten. Das entsprechende Summenhäufigkeitsdiagramm, aus dem direkt die Anzahl Stunden abgelesen werden kann, während denen eine bestimmte Beleuchtungsstärke im Freien erreicht oder überschritten wird, ist in Bild 10 dargestellt. Auch wenn sich aus

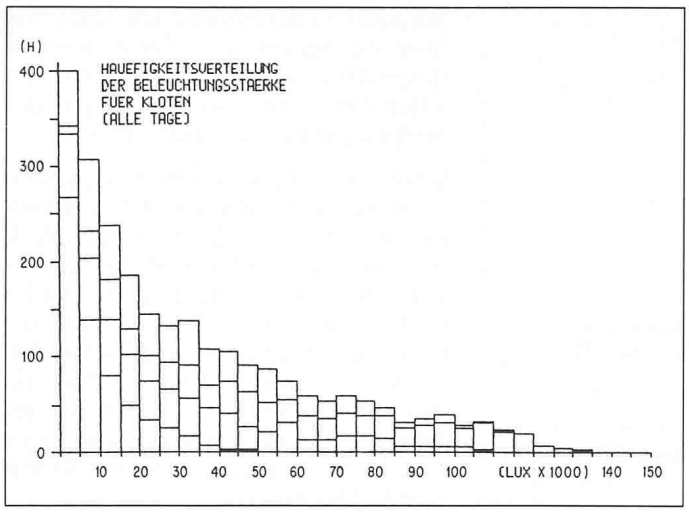


Bild 9. Häufigkeitsverteilung der Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien für Kloten im Jahre 1982 (Bürozeit 7.40–17.40 Uhr, 250 Arbeitstage)

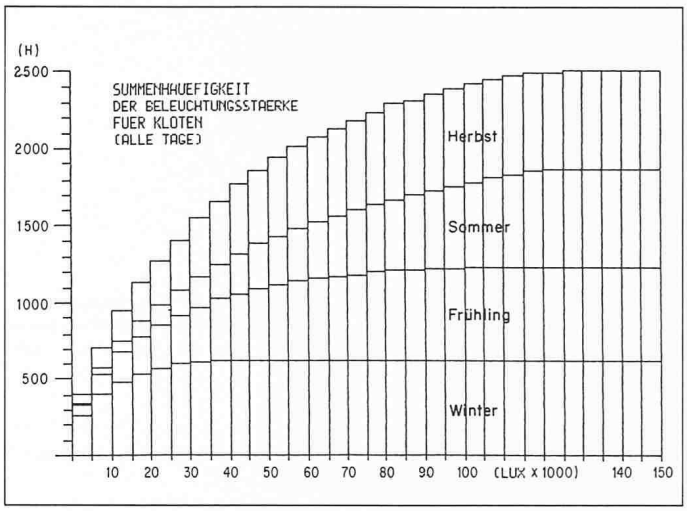


Bild 10. Summenhäufigkeit der in Bild 9 dargestellten Verteilung, aufgegliedert nach Jahreszeiten

der nur ein Jahr umfassenden Registrierung der Aussenbeleuchtungsstärke noch keine Mittelwerte im Sinne der klassischen Klimatologie ableiten lassen, so dürfte dieses Häufigkeitsdiagramm doch repräsentativ für Kloten sein, da die monatlichen und jährlichen Globalstrahlungswerte dieses Jahres recht gut mit dem langjährigen Mittelwert übereinstimmen.

Solche Häufigkeitsdiagramme können dank der Kenntnis der Sonnenscheindauer noch weiter auf die drei Himmelszustände (bedeckt, bewölkt, klar) aufgeteilt werden, indem beispielsweise postuliert wird, dass jene Stunden mit 0% Sonnenscheindauer dem bedeckten, jene mit 100% Sonnenscheindauer dem klaren und die Stunden dazwischen dem bewölkten Himmel zugeordnet werden. Dies führt dann zu Diagrammen wie in Bild 11, 12 und 13 dargestellt, wobei selbstverständlich die Summe dieser drei Diagramme wieder Bild 9 entspricht.

Die Problematik dieser Aufteilung besteht darin, dass für die rechnerische Erfassung der Auftretenswahrscheinlichkeit einer bestimmten Innenbeleuchtungsstärke neben den drei Häufigkeitsdiagrammen der Aussenbeleuchtungsstärke auch die entsprechenden Tageslichtquotienten bekannt sein sollten. Diese sind aber leider nur für den vollständig bedeckten und den klaren Himmel bekannt, weil ja beim bewölkten Himmel der Tageslichtquotient je nach Wolkenbindung praktisch jeden Wert zwischen diesen beiden Grenzwerten annehmen kann und damit nicht definiert ist. Der einzig gangbare Weg scheint deshalb darin zu bestehen, die bewölkten Stunden weiter auf die beiden extremen Himmelszustände aufzuteilen und so einen mittleren Himmel zu definieren, der nur aus klaren und vollständig bedeckten Stunden besteht.

Diese Aufteilung wird am einfachsten proportional zur Sonnenscheindauer der jeweiligen Stunde vorgenommen. Scheint also z. B. die Sonne in einer betrachteten Stunde während 20 Minuten, so wird diese zu ⅓ dem klaren und zu ⅔ dem bedeckten Himmel zugeordnet. Diese Gewichtung der Beleuchtungsstärke aufgrund der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit entspricht zwar, wie im übrigen auch die Annahme, 100% Sonnenscheindauer bedeute eine völlig klare Stunde ohne irgendwelche kurzzeitig vorüberziehende Wolkenfelder, nur annähernd der Wirklichkeit. Sie stellt aber dennoch eine für die Abschätzung der Einschaltzeiten der künstlichen Beleuchtung vernünftige Näherung dar. Mit Hilfe von zwei so modizierten Häufigkeitsverteilungen der Aussenbeleuchtungsstärke für den vollständig bedeckten und den klaren Himmel, zusammen mit den entsprechenden Tageslichtquotienten, ist es nun möglich, die Auftretenswahrscheinlichkeit einer bestimmten Innenbeleuchtungsstärke anzugeben. Diese wiederum erlaubt es, die Einschaltzeiten der künstlichen Beleuchtung für die

Bild 11. Häufigkeitsverteilung der Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien für Kloten im Jahre 1982 für die bedeckten Stunden mit 0% Sonnenscheindauer

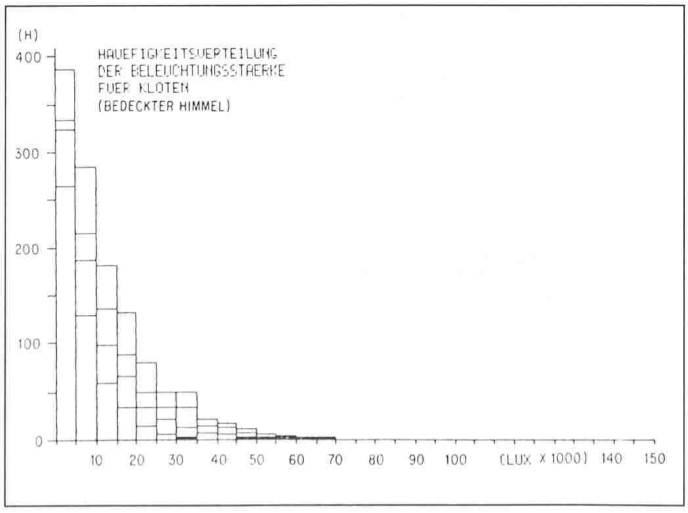
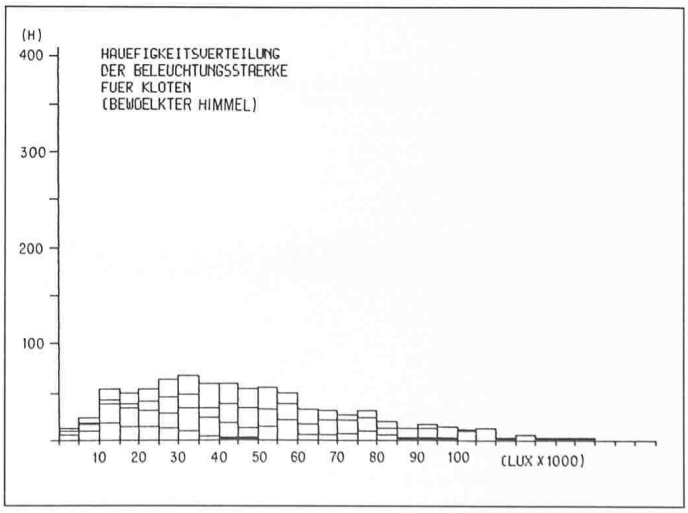


Bild 12. Häufigkeitsverteilung der Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien für Kloten im Jahre 1982 für die bewölkten Stunden mit > 0 und < 100% Sonnenscheindauer



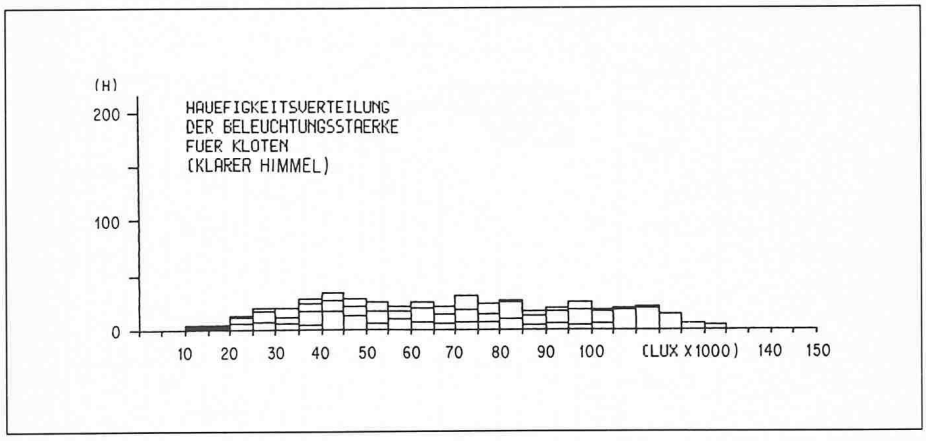


Bild 13. Häufigkeitsverteilung der Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien für Kloten im Jahre 1982 für die klaren Stunden mit 100% Sonnenscheindauer

vordere und die hintere Lampenreihe zu berechnen und damit Aussagen über die Energieeinsparungen zu machen, die mit verschiedenen Tageslichtnutzungssystemen erreicht werden können.

Die erzielbaren Einsparungen sind ausser von der geforderten Innenbeleuchtungsstärke hauptsächlich von der Art der Beleuchtungsregelung abhängig, wobei betont werden muss, dass wirkliche Energieeinsparungen wegen des Benutzereinflusses nur mit automatischen Regelungen erreicht werden können. Am einfachsten erfolgt dies beispielsweise mit einem photoelektrischen Schalter, der das Licht aus- oder einschaltet, sobald die Beleuchtungsstärke durch Tageslicht einen vorgeschriebenen Wert über- oder unterschreitet. Als weitere Möglichkeit kann die künstliche Beleuchtung auch in Abhängigkeit des Tageslichteinfalls schrittweise oder stufenlos auf einen bestimmten Wert geregelt werden.

Als Schlussfolgerung zu diesem Abschnitt kann gesagt werden, dass Daten über die Häufigkeit bestimmter Aussenbeleuchtungsstärken sehr nützlich sind, um Energieeinsparungen vorauszuberechnen, die mit verschiedenen Beleuchtungsregelungen erzielt werden können. Für zuverlässige Abschätzungen sind allerdings wegen der zum Teil grossen Variationen von Jahr zu Jahr mehrjährige Wetterdaten unerlässlich.

Photometrisches Strahlungsäquivalent

Auch wenn bis heute nur für wenige Standorte Tageslichtdaten verfügbar sind, so ist es trotzdem möglich, mit Hilfe des sog. photometrischen Strahlungsäquivalents der Globalstrahlung K_G solche Tageslichtdaten zu gewinnen. Das photometrische Strahlungsäquivalent stellt das Verhältnis des sichtbaren Teils der Globalstrahlung (0,4–0,8 µm) zum gesamten Spektrum der Globalstrahlung dar und ist wie folgt definiert:

$$K_G = \frac{\text{Aussenbeleuchtungsstärke}}{\text{Globalstrahlung}} \left[\frac{\text{Lumen}}{\text{Watt}}\right]$$

Wegen dieser Verknüpfung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Eigenschaften der Sonnenstrahlung können Globalstrahlungsdaten, die an den meisten meteorologischen Stationen in der Schweiz seit Jahren erfasst werden, in äquivalente Beleuchtungsstärken umgerechnet werden, vorausgesetzt, dass das photometrische Strahlungsäquivalent bekannt ist.

Sowohl die Aussenbeleuchtungsstärke als auch die Globalstrahlung standen uns, wie bereits erwähnt, von der SMA in Form von Stundenwerten für das Jahr 1982 zur Verfügung. So stellte auch die Berechnung des photometrischen Strahlungsäquivalents keine besonderen Probleme. Figur 14 zeigt die berechneten Werte für jede Stunde des Jahres in Funktion der Zeit und Figur 15 in Funktion der Sonnenhöhe für den Standort Kloten.

In beiden Diagrammen sind die grossen Schwankungen, denen das photometrische Strahlungsäquivalent unterworfen ist, unverkennbar. Diese Schwankungen sind zum Teil auf Messunsicherheiten zurückzuführen, vor allem für Sonnenhöhen unter etwa 5°, sind aber sonst vor allem durch tages- und auch jahreszeitliche Unterschiede in der Trübung der Atmosphäre verursacht. Dabei sind im allgemeinen die Zahlenwerte für das photometrische Äquivalent um so grösser, je höher die Luftfeuchtigkeit ist, da durch Wasserdampf Infrarotstrahlung absorbiert wird.

Der durchschnittliche Jahresmittelwert für das photometrische Strahlungsäquivalent beträgt für Kloten für das Jahr 1982 etwa 122 lm/Watt mit einem Minimum im Monat Februar von 114 lm/Watt und einem Maximum im Monat Juli von 126 lm/Watt. Selbstverständlich müssten auch hier noch weitere Jahre ausgewertet werden, um statistisch gesicherte Mittelwerte angeben zu können. Uns lag aber hier in erster Linie daran, die noch wenig bekannten Zusammenhänge zwischen Globalstrahlung und Beleuchtungsstärke aufzuzeigen.

Bild 14 Photometrisches Strahlungsäquivalent der Globalstrahlung für Kloten für das Jahr 1982 in Funktion der Zeit. Jeder Punkt stellt einen Messwert dar.

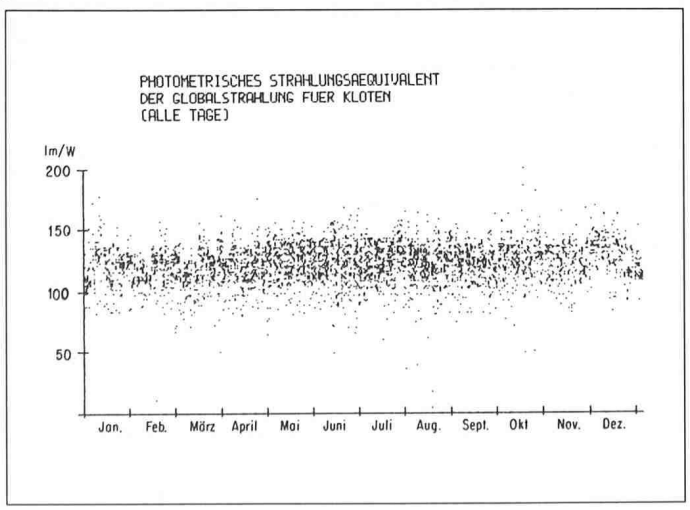
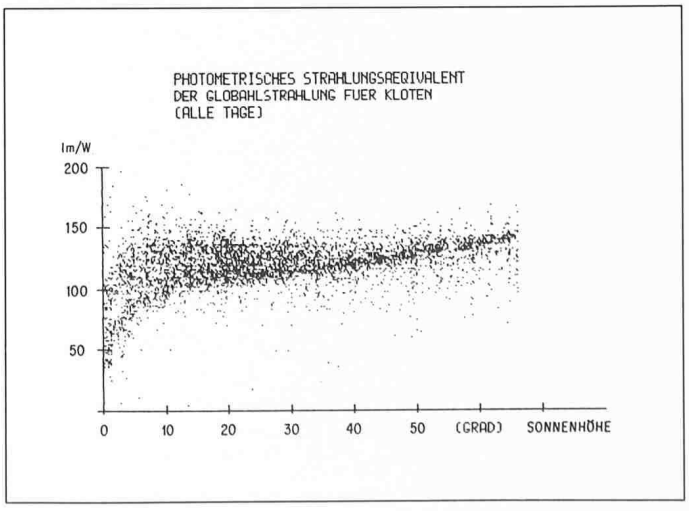


Bild 15. Photometrisches Strahlungsäquivalent analog Bild 14, jedoch in Funktion der Sonnenhöhe.



Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Artikel wurden einige theoretische, aber dennoch für die Praxis wichtige Aspekte der Tageslichtnutzung erwähnt. Insbesondere wurde gezeigt, wie mit relativ einfachen Modellmessungen Tageslichtquotienten bestimmt und mit Hilfe von wirklichen Wetterdaten Energieeinsparungen für verschieden Tageslichtsysteme berechnet werden können.

Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass in Wirklichkeit ein enger Zusammenhang zwischen der Tageslichtplanung und den raumklimatischen Belangen eines Gebäudes besteht. Je nachdem wie die Fenster zur Verwirklichung einer bestimmten Raumbeleuchtung disponiert werden, ergeben sich die unterschiedlichsten Auswirkungen im Winter- und Sommerbetrieb. Bei der Fensterplanung sind daher nicht nur die tageslichttechnischen, sondern ebenso auch die wärmeschutztechnischen Aspekte für den Sommer- und Winterbetrieb einzubeziehen.

Adresse des Verfassers: *M. Keller*, dipl. Bauing. ETH, M.S. Mechanical Eng. CSU, Abt. Alternativ-Energie, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.

Literaturverzeichnis

[1] *Aydinli S.*: «Availability of solar radiation and daylight». Institut für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin
[2] *Tregenza P.R.*: «Predicting daylight from cloudy skies». Departement of architecture, the University of Nottingham, Nottingham, England NG7 2RD
[3] «Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten, Phase 1, Systemvergleich» (NEFF-Projekt Nr. 252.1). Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich 1984
[4] «Intensive Tageslichtnutzung in Hochbauten, Phase 2, Messresultate» (NEFF-Projekt Nr. 252.1). Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich 1985
[5] *Kiss M., Luginbühl R.*: «Intensive Tageslichtnutzung», Anwendung im Hochbau. Schweizer Ingenieur und Architekt, H. 39/1985

Bauphysik der hinterlüfteten Fassade

Die konstruktive Gliederung der hinterlüfteten Fassade erlaubt eine funktionsgerechte Materialwahl für jedes Element. Während die Aussenschale den Schutz vor Schlagregen und andern Ausseneinwirkungen übernimmt, hängt der Feuchtigkeitshaushalt der tragenden und isolierenden Innenwand wesentlich von den gewählten Materialien und der Gestaltung der Hinterlüftungskanäle ab.

Eine kürzlich von der Handelsgenossenschaft des Schweiz. Baumeisterverbandes organisierte Tagung beleuchtete verschiedene Aspekte der hinterlüfteten Fassade. Ein Referat von Prof. Dr. *Ch. Zürcher* (ETHZ) fasste die bauphysikalischen Zusammenhänge in einer Übersicht zusammen.

Der folgende Überblick konzentriert sich auf die zweischalig-mehrschichtige Konstruktion mit leichter, hinterlüfteter Vorsatzschale. Dieser Wandaufbau erlaubt das Lostrennen der Wetterschutzschicht vom Wärmedämmstoff und verhindert dank der Luftströmung im Spalt einen Feuchtigkeitsstau in der inneren, tragenden Wandschale (Tabelle 1).

Eine Aussenwand mit belüfteter Vorsatzschale stellt für den konstruierenden Architekten und Ingenieur eine spezielle, aber interessante Herausforderung dar, die unter anderem auch eine bauphysikalische Beurteilung solcher Wandkonstruktionen voraussetzt.

Die Aussenwand

Neben der Aufgabe, das Gebäude tragen zu helfen, hat die Aussenwand die Aufgabe als Puffer- und Übertragungssystem zwischen Innen und Aussenklima zu wirken. Im Winter muss sie das Gebäudeinnere gegen zu grosse Wärmeverluste, im Sommer gegen zu starke Erwärmung infolge Sonneneinstrahlung schützen. Eine weitere Aufgabe der Aussenwand ist der Schutz gegen Schlagregen und Feuchte, Lärm, Schmutz und Staub. Diese Funktionen wurden bei alten Wandkonstruktionen meist nur von einem oder von wenigen Baumaterialien übernommen. Mit der heute zur Verfügung stehenden Vielfalt an Baustoffen und den ungezählten Wandkonstruktionsvarianten lässt sich heute mit der Auftrennung der Funktionen jede Aufgabe einem einzelnen, dafür speziell geeigneten Baustoff zu übertragen. Es bieten sich dabei verschiedene Ausführungsformen wie einschalig-einschichtige Wände, einschalig-mehrschichtige Wände, zweischalig/mehrschalig-mehrschichtige Wände an. Liegt die Wärmedämmung innen, so ergibt sich der Nachteil, dass sie nur freiliegende Wandflächen erfasst, kaum aber Wärmebrücken, und dass meist das Anbringen einer innenseitigen Dampfsperre notwendig wird. Aussendämmungen weisen den Vorteil auf, dass die Dämmmassnahme praktisch auf der gesamten Gebäudehülle wirkt und dass vorhandene Wärmebrücken minimalisiert werden können.

Bauphysikalische Aspekte

Eine vorgehängte, belüftete Aussenschale ist in einem Abstand vor der tragenden Gebäudewand montiert und dient primär als Wetterhaut. Die Vorsatzschale hat meist keine Wärmespeicherfähigkeit und keine Wärmedämmeigenschaften. Ihrem bauphysikalischen Aufbau entsprechend ist sie mit einem Kaltdach zu vergleichen.

Tabelle 1. Vor-und Nachteile verschiedener Aussenwandkonstruktionen

	Kompaktfassade	*Hinterlüftete Fassade*	*Wärmedämmputz*
Vorteile	Bezogen auf die erzielte Verbesserung rel. preisgünstig	Bauphysikalisch einwandfreie Konstruktion	Einfache Anwendung, geringe Probleme mit Anschlussdetails
Probleme	Aussenputz der vollen thermischen Belastung ausgesetzt. Keine nachträgliche Befestigungen möglich. Anfällig auf Beschädigungen	Aufwendige Anschlussdetails. 30–50% teurer als Kompaktfassade	Wärmeleitfähigkeit λ doppelt so gross wie bei reinen Dämmstoffen, genügt deshalb meist nicht als alleinige Wärmedämmung. Ab 10 cm Verputzdicke problematisch