

**Neuer
Komfort mit
Tageslicht**

***La lumière
naturelle à bon
escient***



Bundesamt für Konjunkturfragen

**Office fédéral
des questions conjoncturelles**

Impressum

Impressum

Projektleitung:

Reto P. Miloni, Dipl. Architekt ETH SIA
5400 Baden

Autoren:

Urs Büttiker, Dipl. Architekt ETH SIA
4057 Basel

Marc-Henri Collomb, Architecte EPFL SIA
FAS, Atelier CUBE
1001 Lausanne

Dr. Raphael Compagnon, Laboratoire
d'Énergie Solaire et de Physique du
Bâtiment, EPFL, Ecublens,
1015 Lausanne

Yves Golay, Architecte EPFL, Institut de
Technique du Bâtiment, EPFL,
Eglise Anglaise 12
1006 Lausanne

Jürgen Kleinwächter, Dipl. Physiker, Bomin
Solar Holding AG
6302 Zug

Klaus Buntkiel-Kuck, Dipl. Ing., Siemens AG
D-8225 Traunreut

Beat Kunz, Dipl. Ing., Agero AG
8255 Schlattigen

Reto Miloni, Dipl. Architekt ETH SIA
5400 Baden

Dr. Franz Mühlethaler, Dipl. Phys.
Infraconsult AG,
3006 Bern

Prof. Dr.-Ing. Helmut Müller, Institut für
Licht- und Bautechnik, Fachhochschule
D-5000 Köln 21

Bernard Paule, Architecte, CUEPE
Université de Genève,
1231 Conches-Genève

Prof. Paule Rey, Unité de Médecine du
Travail et d'Ergonomie,
Université de Genève
1200 Genève

Trägerschaft:

SIA Schweiz. Ingenieur- und
Architektenverein

Beratende Projektgruppe:

Charles Weinmann, Physicien, Dr. ès sc.
Weinmann Energies SA
1040 Echallens

Karl Wellinger, Dipl. Masch. Ing. ETHZ
Weinmann Energies SA
1040 Echallens

Prof. Jean-Louis Scartezzini
CUEPE, Université de Genève,
1231 Conches-Genève

Design:

Rodolfo Sacchi, SGD
8001 Zürich

Satz und Produktion:

Education Design Sepp Steibli, Bern
Mediatec Bernard Landolt, Worb

Übersetzung ins Französische:

Susanne Riser
Université de Genève, CUEPE
1231 Conches-Genève

Copyright:

Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK)
3003 Bern
Auszugsweiser Nachdruck mit
Quellenangabe erlaubt

Bezugsquellennachweis:

Zu beziehen bei:
Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale
Best.-Nr. 724.306 d/f
A commander au-près de:
Programme d'action
Construction et énergie
Daniel Notter, LESO-EPFL
Case Postale 12, 1015 Lausanne
Best.-Nr. 724.306 d/f

Inhalt

Table des matières

Komfort	
Transparenz, Komfort und Energie-Effizienz	4
<i>Lumière naturelle, architectes et spécialistes</i>	6
Besser wahrnehmen durch Tageslicht	8
ABC der Ergonomie am Bildschirmarbeitsplatz	10
Thermischer Komfort hinter Glas	14
<i>Lumière naturelle et projet d'architecture</i>	18
Planungshilfsmittel	
Systemevaluation im Planungsteam	20
<i>Nouveaux outils de conception: ciel artificiel et simulation</i>	22
Dynamische Gebäudesimulationen mit Echtwetter-Daten	24
Aide-mémoire für «Neuen Komfort mit Tageslicht»	26
Systemhinweise	
Sonnenschutz - Funktion, Systeme und Trends	28
Optimale Arbeitsbedingungen mit Tageslichtsystemen	32
TWD als innovative Applikation für Fenster	34
Natürliche Beleuchtung mit lichtlenkenden Hologrammen	36
Lichteinspiegelung in fensterferne Zonen	38
<i>Déviateurs de lumière naturelle en façade</i>	40
<i>Comparaison de systèmes</i>	42
Analysen	
<i>Synthèse des cours RAVEL</i>	46
<i>Synopsis des objets analysés</i>	48
<i>Atria dans deux bâtiments d'administration</i>	52
<i>Ateliers avec ouverture zénithale</i>	54
<i>Coursives et protection solaire</i>	56
<i>Eclairage latéral</i>	58
Verbesserungsvorschläge	
<i>Propositions d'amélioration</i>	60
<i>Impact d'une réduction des menuiseries</i>	62
<i>Influence de la position d'une coursive</i>	64
<i>Apport de lames extérieures translucides</i>	66
<i>Aménagement d'un atrium par déflecteurs</i>	68
Background	
Tageslicht im Werk von Louis I. Kahn	70
Publikationen des Impulsprogrammes RAVEL	74

Transparenz, Komfort und Energie-Effizienz

Die zunehmende Sensibilität gegenüber der Ressource «Tageslicht», der Trend zum energiebewussten Entwurf und die Notwendigkeit - aus Komfort- und Energiegründen - den Kunstlichteinsatz zu senken, verlangen nach neuen Verhaltensweisen seitens der Gebäudeentwerfer. Architekten können mit konzeptionellen Mitteln einen Beitrag leisten, die sich konkurrierenden Ansprüche der Tageslichteinstrahlung, Blendungsbegrenzung mit der Forderung nach Wärmespiegelung und Aussicht auf einen Nenner zu bringen.

Entkoppelung der Funktionen

Die Anwendung elementarer Prinzipien der Tageslichttechnik war während Jahrhunderten für Architekten eine Selbstverständlichkeit. Damit Gebäude natürlich belichtet - und belüftet - werden konnten, wurden bis im 19. Jahrhundert Gebäudetiefen von mehr als 25 Metern vermieden - entsprechende Bebauungsmuster sind in historischen Stadtstrukturen noch heute erkennbar. Das Zusammentreffen von kostengünstig massenproduziertem Floatglas mit - dank Strom - «künstlich» erzeugtem Beleuchtungs- und Raumklimakomfort ermöglichte eine freie Gliederung von Volumen, Grundriss und Schnitt. Der in der Moderne einsetzende «Siegeszug der Glasarchitektur» führte zu Bauformen, welche die Funktion des Trennens in der Gebäudehülle von der Tragfunktion entkoppelte.

Transparenz und Lichtautonomie

Transparente Fassaden bedeuten noch kein Ausschalten des Kunstlichtes - im Gegenteil: aus Blend- und Sonnenschutzgründen angebrachte Spezialgläser, Sonnenschutzkomponenten und Blendschutzeinrichtungen verhindern vielerorts den Tageslichteintritt. Sei eine Vorhangfassade noch so grosszügig - sie muss trotzdem beschattet werden. Beleuchtung, Belüftung und Klimatisierung sind in diesen Fällen nur mit erheblichem Energiebedarf möglich. Im Arbeitsalltag bemängeln viele Gebäudebenutzer ungenügenden Tageslichtkomfort und zu häufigen Kunstlichteinsatz.

Ungünstige Lichtverteilung im Raum

Zuviel Tageslicht in Fensternähe, zuwenig in der Raumtiefe, störende Blendung und eine für die aufzubringende Sehleistung schlechte Kontrastbildung sind häufige Klagen am Büroarbeitsplatz. Wenn bei Sonnenschein die Storen geschlossen werden müssen, kommt unnötiger Kunstlichteinsatz hinzu. Bei Bildschirmtätigkeit ist eine befriedigende Fenster- und Sonnenschutzdisposition kaum zu bewerkstelligen.

Simple Seitenfenster sind schon problematisch, wenn quantitativ und qualitativ eine günstige Tageslichtverteilung im Raum und hinreichende Blendungsbegrenzung erwünscht ist.

Ist Tageslichtmilieu vorausgeplant?

Während der Projekt-Ausarbeitung wird die Tageslichtnutzung selten vorausgerechnet. «Klassische» Planungsinstrumente (Grundriss, Schnitt, Fassaden) geben in dieser Situation auch nur lückenhaft Aufschluss bezüglich zu erwartendem Komfort und Energieverbrauch.

Noch bezahlen Bauherrn die Zeche!

Eine Voraussage darüber, welcher Seh- und Raumklimakomfort in einem Bau mit entsprechenden Mitteln in der Realität einmal erreicht werden wird, wäre bereits im frühen Projektstadium möglich. Dem Bauherrn könnten hohe Energierechnungen und dem Nutzer spätere Enttäuschungen über unzureichenden Komfort erspart werden.

Hilfsmittel für Architekten

Die unter dem Thema «Neuer Komfort mit Tageslicht» durchgeführten Kurse im Rahmen der Konjunkturförderungsprogramme RAVEL zeigen Zusammenhänge im Bereich Energie, Ergonomie und visuellem Komfort am Arbeitsplatz auf.

Es werden Ansätze zu einem zeitgemässen Umgang mit «Licht als Baustoff in der Hand des Architekten» gezeigt. Eine Synthese besuchter Fallbeispiele sowie EDV-gestützte Computersimulationen machen deutlich, dass Tageslichtsituationen konzeptionell verbessert werden können und gute Architektur nicht im Widerstreit mit energie-effizienten Lösungen zu stehen braucht.

Die vorliegende Dokumentation macht interessierte Architekten mit den Prinzipien des natürlichen Tageslichtkomforts vertraut. Sie gibt Hinweise über konventionelle und innovative Fassadensysteme und erläutert heute zur Verfügung stehende Planungshilfsmittel.

Energieeinsparungen bis zu 70% durch sinnvolle Beleuchtung und Fensteranordnung sind möglich, wenn Gebäude gezielt positioniert, dimensioniert, das Tageslicht moduliert wird. Vorteilhaft konzipierte Fassaden wie hier im «Stockley Park» steigern überdies den Komfort (Architekt: Iain Ritchie, London)



Des économies d'énergie de l'ordre de 40 à 70% peuvent être atteintes grâce à l'utilisation intensive de l'éclairage naturel (exemple: Stockley Park à Londres, architecte: Iain Ritchie).

Sonnenlicht selektiv nutzen!

Gezeigt wird auch, wie die Tageslichtmodulation in der Fensterebene durch den Einsatz selektiv wirksamer «Tageslichtsysteme» erfolgversprechend angegangen werden kann: etwa durch Plexiprismen, welche direkte Sonnenstrahlen reflektieren, während sie diffuses Tageslicht hereinlassen und die Fensteröffnung entblenden oder durch Neuentwicklungen wie etwa das «Anidolische Fenster».

Umdenken tut not!

Die Zukunft ist zwar nicht – wie durch den Blick in die Kristallkugel – voraussehbar. Einiges deutet indessen daraufhin, dass Fassadenkonzeptionen in Zukunft aufwendiger werden – und die Haustechnik einfacher! Dies im Interesse energie- und auch (folge-)kostenbewusster Bauherren und komfortorientierter Nutzer. Eine komplexere Funktionalität im Gebäude ist aber nur möglich, falls Elemente wie «Sonnenschutz», «Tageslichtöffnung», «Ausblick und Entblendung» oder «Lüftung» zonal und funktional entkoppelt werden. Architekten mit erweitertem Entwurfsverständnis haben in diesem neuen Markt echte Chancen. Voraussetzung für ihr erfolgreiches Produkt wäre: «energy-conscious-building design». Dieses Buch vermittelt einige Denkanstöße dazu.

Quellenhinweise:

- 1) «Concepts and practice of architectural daylighting», Fuller Moore, Van Nostrand Reinhold Company, New York 1985
- 2) «Photovoltaik und Architektur» Othmar Humm und Peter Toggweiler, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin 1993
- 3) «Ritter hatten keine Kühlprobleme» Klaus Daniels, NZZ Nr. 145/1991

Outils d'aide à la conception en éclairage naturel

● Les cours du programme d'impulsion RAVEL, intitulés «Lumière naturelle à bon escient» sont soutenus par la SIA. Ils ont pour objet de montrer les liens étroits existant entre énergie, architecture et confort visuel ou thermique à la place de travail.

Ce manuel indique quelques-unes des solutions qui permettent d'aboutir à une conception énergétique optimale du bâtiment, en donnant notamment des indications précieuses sur les possibilités d'utilisation de la lumière naturelle, matière première des architectes.

Ce document contient une série d'exemples et d'études en éclairage naturel réalisées sur ordinateur; il a pour objectif de montrer les possibilités d'amélioration en éclairage naturel sur la base de cas concrets. Il montre, par ailleurs, à quel point l'économie d'énergie est synonyme de bonne conception architecturale.

Objectif premier: améliorer le confort par la lumière naturelle

● Ce document a pour but de familiariser les architectes avec les principes essentiels de l'utilisation de la lumière naturelle. Il donne des indications fondamentales concernant, notamment, les performances de systèmes d'éclairage naturel latéral de type conventionnel ou de conception avancée; il présente un aperçu des possibilités offertes par les outils nouveaux de conception et d'études en éclairage naturel. On y montre, par ailleurs, comment la gestion de la lumière naturelle peut être rendue plus efficace par l'utilisation de systèmes d'éclairage naturel appropriés: les dispositifs prismatiques, qui permettent de rejeter le rayonnement solaire direct, tout en transmettant la lumière diffuse, ou les systèmes anidoliques, issus des développements récents de la recherche qui permettent de guider la lumière, comme des projecteurs de lumière naturelle, sont deux exemples de tels systèmes.

Un «must»: réviser les vieux concepts!

● Lors de la conception d'une façade, il ne s'agit désormais plus de trouver un élément «passe-partout» censé remplir toutes les fonctions attribuées à la fenêtre, mais de séparer plutôt chacune d'elles (protection solaire, transmission de la lumière naturelle, vue vers l'extérieur et éblouissement): on rend ainsi celle-ci plus efficace.

Une autre nécessité: trouver des solutions nouvelles!

● Les brises-soleil accrochés à la devanture des fenêtres, peuvent faire office de protections solaires; les éléments protégeant contre l'éblouissement doivent être orientables en fonction de la place de travail, et facilement maniables par l'utilisateur. La vue vers l'extérieur peut être assurée par des percements en façade; la lumière du jour (principalement sa composante diffuse) doit être amenée à l'intérieur du bâtiment, par l'intermédiaire d'ouvertures en partie haute. Le cas échéant, de véritables systèmes de gestion de lumière naturelle doivent être intégrés en façade.

Ces façades et locaux d'un nouveau genre, engendrent une perception nouvelle de l'espace et une relation plus intense de l'utilisateur avec l'environnement extérieur. Leur réalisation ne pourra, toutefois, pas être menée à bien sans l'apprentissage de connaissances préalables de la part des architectes et des autres acteurs de la construction. C'est le cas, en particulier, des mécanismes de perception visuelle et des techniques d'économies d'énergie.

Lumière naturelle, architectes et spécialistes

Autrefois, filtrée par une architecture de maçonnerie épaisse, la lumière révélait des zones bien délimitées, isolées l'une de l'autre à l'intérieur d'un grand et même volume intérieur. Le moine du moyen âge disposait sans doute son pupitre à enluminures près d'une fenêtre parcimonieusement creusée et «spatialisée» dans l'épaisseur d'un mur de forteresse. Il se déplaçait dans la pénombre entre les zones naturellement illuminées, et il se servait d'une chandelle pour accéder aux ouvrages classés dans la bibliothèque : l'espace était généreux et les zones utilisables restreintes.

Tenté par les possibilités immenses contenues dans les techniques et les sources d'énergie modernes, notre siècle nous a conduit peu à peu vers une exploitation maximale des surfaces du point de vue de la rentabilité.

On a aligné les besoins d'éclairage à cette nécessité qui exige des performances définies et constantes dictées par une vision des choses où l'être humain est considéré avant tout pour ses performances de mécanique très sophistiquée.

Dans ce cadre, toute influence aléatoire, tout superflu, toute variation a été considérée comme un indésirable élément parasite - perturbant les performances idéales à atteindre et à garantir.

La technologie efface les phénomènes sensoriels

Dans cette première période des temps modernes la technologie a donné le meilleur d'elle-même pour effacer toutes les variations des phénomènes sensoriels.

Dans un domaine parallèle, celui des nuisances auditives, pareille attitude a conduit à rendre les bâtiments hermétiques à toute variation de bruit extérieur, en amenant de plus en plus de gens à ne plus recevoir les communications du monde ambiant. Chacun connaît ces volumes sourds à leur environnement où il a fallu réintroduire, par des canaux artificiels, les bruits atténués qui nous rassurent en permanence et règlent presque inconsciemment notre rythme tout au long de la journée. Le traitement de la lumière dans les bâtiments de notre époque a évolué de façon moins manifeste, mais équivalente, même si les résultats sont aussi perturbants pour l'être vivant. A grand renfort de lumière artificielle, on a peu à peu effacé toutes les sensations provenant de l'extérieur qui agrémentent heure par heure notre lieu de travail ou de repos en l'illuminant d'un accompagnement kaléidoscopique d'effets changeants. Entretemps, le coût écologique de l'éclairage artificiel et de ses implications s'est accru jusqu'à provoquer une mise en

question de leur utilisation trop généralisée.

Espaces d'interventions limitées

Comme pris entre les deux cylindres d'un laminoir des conceptions, celui de la rentabilité de la moindre parcelle d'étage, et celui d'un apport de lumière aussi abondant et stable que possible, l'espace d'intervention sur la lumière naturelle s'est réduit à la couche la plus mince, celle de la peau de la façade entourant le bâtiment. Il en est résulté une sorte d'ambiance neutralisée et homogénéisée à grand renfort de correcteurs d'éclairage artificiel et de filtres, menant à une situation de neutralité et d'indifférence vis-à-vis de la lumière provenant de l'extérieur. Rares ont été alors les architectes et les spécialistes qui ont échappé à cette vision réductrice des besoins de l'esprit humain limitée aux résultats des mesures.

Se servir de la liberté offerte?

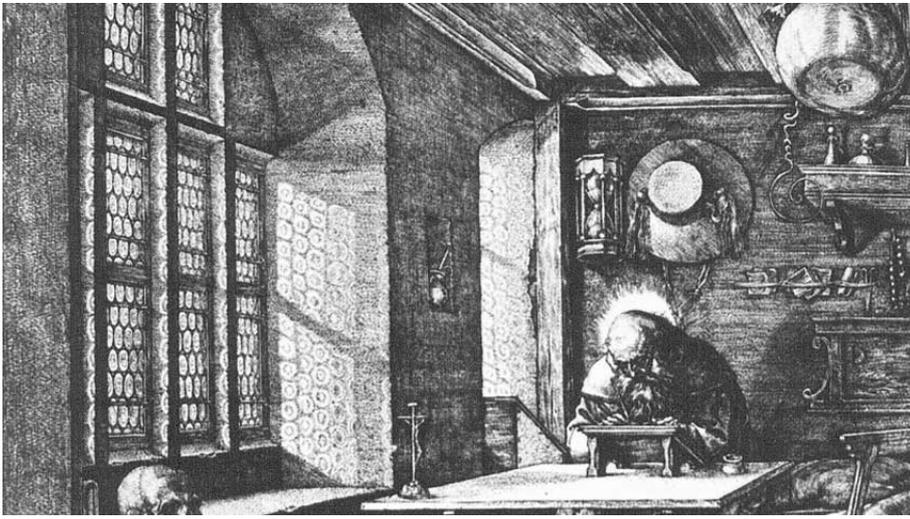
Se servant alors de la liberté offerte par la palette des techniques à disposition, ces pionniers ont risqué des «manifestes construits» utilisant une échelle de valeurs où l'être humain retrouvait un bâtiment taillé sur mesure autant pour ses activités que pour la satisfaction de son besoin de se sentir immergé dans l'environnement, moyennant bien sûr, un degré de protection adéquat.

Appui des meilleures techniques - et spécialistes

Depuis la prise de conscience de ces expériences bénéfiques, il devient toujours plus utile de pouvoir compter, dès le premier stade de la planification, de l'appui des meilleures techniques et de l'érudition la plus étendue de spécialistes passionnés par l'éclairage naturel.

Ces spécialistes se sont en effet convaincus du besoin psychologique de l'utilisateur de se connecter le mieux possible au ciel météorologique, même dans les endroits traditionnellement les plus délaissés des bâtiments.

Marc-Henri Collomb
Architecte EPFL SIA FAS
Atelier CUBE, Lausanne



Saint Jérôme dans sa cellule (Albrecht Dürer, 1514). Aujourd'hui, c'est plutôt l'inverse que l'on voudrait pour l'utilisation de la lumière à chaque place de travail: des zones utilisables plus élargies dans un espace plus restreint ...

Maîtriser les moyens «passifs»

Technicien de l'effet lumineux heureux, maîtrisant les moyens dits «passifs», le spécialiste sait adopter une attitude ouverte, en fournissant aux divers intervenants les renseignements qui influencent à leur tour leurs disciplines, et en proposant au chef de projet les méthodes «douces» qui lui permettront de parvenir aux effets recherchés.

Mieux gérer les sources d'énergie

La nécessité actuelle de mieux gérer les différentes sources d'énergie a ravivé l'intérêt pour les utilisations les plus caractéristiques de la lumière naturelle dans l'architecture. Les solutions obtenues autrefois par la seule foi dans les intuitions de leurs inventeurs recueillent aujourd'hui la confirmation de notre époque grâce au savoir du spécialiste en lumière naturelle.

Avec son appui, l'architecte repartira à la conquête de la coupe des immeubles et de leurs plans jusqu'aux noyaux les plus reculés, réunissant désormais deux mondes jusqu'ici trop séparés, en élargissant au maximum la bande trop étroite bénéficiant de la lumière du jour située juste derrière la façade, et en récupérant bon nombre des surfaces arrières encore trop

souvent abandonnées à un flot de lumière artificielle.

Dipositifs d'accompagnement de lumière naturelle

C'est à ce prix que les heures du jour et de la nuit, les saisons, leurs couleurs, le chatoiement de leurs éclairages rétabliront une dimension de vécu irremplaçable dans l'usage quotidien des constructions en limitant plus précisément la fixité de l'éclairage artificiel aux seuls endroits strictement nécessaires, pour le meilleur équilibre psychique de l'utilisateur. La dynamique incluse dans notre condition d'êtres vivants exige cette mise en place de dipositifs d'accompagnement de la lumière extérieure aussi étendus que possible vers le coeur des immeubles.

«Code génétique» des bâtiments?

Pour une mise en place réussie de ces notions dans une construction, il faut qu'elles soient intégrées dès les premiers coups de crayon définissant le projet, afin qu'elles y résident durablement, comme une sorte de «code génétique»- garantissant un résultat final cohérent et équilibré.

Tageslichtnutzung anno dazumal («Hieronimus im Gehäuse», Albrecht Dürer, Kupferstich 1514)

● Gebäude sind «taub» geworden

Dank dem Einsatz einer komplexen Haustechnik wird in Gebäuden unserer Zeit ein künstliches Ambiente erzeugt. Die Gebäude sind zum Preis erhöhten Energieeinsatzes gewissermassen «taub» geworden für die vorherrschenden Aussenbedingungen: von Aussenklima, Tageslichtverhältnissen und Geräuschen sind sie weitestgehend abgekoppelt.

● Verlust sensorischer Reize

Benutzer wurden damit einzelner sensorischer Reize beraubt: Kontakt zur Natur vermittelt allenfalls noch eine Zimmerlinde oder ein bunter Kalender. Im vom Aussenlärm schallisolierten Gebäude wird ein minimaler Geräuschpegel durch «rosa Rauschen» via Lautsprecher simuliert. Das Raumklima wird künstlich konditioniert und beleuchtet werden tieferliegende Räume künstlich.

● Anachronismus «High-Tech»

Die ökonomischen, energetischen und ökologischen Konsequenzen hochtechnisierter Gebäude passen nicht mehr in eine umweltbewusste Zeit.

● Ressource Tageslicht: «DNA-Print» eines modernen Gebäudekonzepts?

Der sinnvolle Umgang mit Tageslicht im Gebäude könnte hier zu einer Art «genetischem Code» für den zeitgemässen Umgang mit natürlichen Ressourcen werden. Von den ersten Bleistiftskizzen für das Projekt bis zu seiner baulichen Realisierung wäre er Massstab für ein kohärentes, energieeffizientes und ausgewogenes Gebäudekonzept, das lebenswerte Wohn- und Arbeitsbedingungen bis in die Tiefen bislang dunkler, künstlich konditionierter Zonen schafft.

Heute sind die Wände dünn, die Fenster grosszügig und Tageslicht dringt auf breiter Front in den Raum (Büro des Architekten Richard Rogers in London)



Besser wahrnehmen durch Tageslicht

Am Arbeitsplatz sollen günstige Randbedingungen für eine optimale Arbeitsleistung geschaffen werden. In dieser Absicht werden Möbel nach ergonomischen Erkenntnissen gestaltet, ansprechende Akustik und Raumklima mit viel Aufwand bereitgestellt. Individueller Komfort hat ein Ziel: Der Benutzer soll nicht durch Reize in seiner Konzentration gestört werden. Wie soll im Bereich der Beleuchtung dieser Maxime nachgelebt werden? Mentale Belastungen durch falsche Beleuchtung lassen sich schlecht erfassen – und werden oft stillschweigend toleriert. Dem Problem jedes visuellen Komforts vorgelagert ist die visuelle Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen. Vom Auge werden photometrische Signale registriert, wenn ein von einer Quelle abgestrahlter Lichtstrom von einer Bezugsfläche reflektiert wird.

Menschen brauchen Sonnenlicht

In Innenräume bringt direktes Sonnenlicht Leben, Schattenspiele und Kontraste – auch durch die langsame Bewegung der Strahlen, welche Sinn für den Tagesablauf vermitteln. Auf direkte Sonneneinstrahlung ist nie völlig zu verzichten. Im Winter ermöglicht die Sonne eine willkommene Erwärmung der Innenräume, welche die Transmissionswärmeverluste teilweise kompensiert. Oft aber hat direkte Sonnenstrahlung mehr Nachteile als Vorteile: Überhitzung im Sommer, Blendung, zu grosse Kontraste. Darum ist das simultane Studium von Öffnung und Sonnenschutz wichtig.

Himmelslicht und Architektur

Innenräume brauchen ein genügendes Quantum an diffusem Licht. Den Bewohnern und Benutzern eines Gebäudes zu ermöglichen, störungsfrei, regelmässig und unter Tageslichtbedingungen ihre Aktivitäten im Raume in den besten Konditionen auszuführen, ist – ungeachtet gesetzlicher Vorschriften – eine moralische Pflicht für Architekten! Auch bringt der gekonnte Umgang mit Tageslicht im architektonischen Werk eine besonders gelungene Atmosphäre mit sich: Licht ist eine der wichtigsten künstlerischen Komponenten der Architektur und der Umgang mit Licht ist eine nie versiegende Inspirationsquelle.

Augen strukturieren Licht

Reflektiertes Licht, das durch das Material auch die beobachtende Person bestrahlt, wird als Leuchtdichte erfasst. Die Leuchtdichte vermittelt somit den Helligkeitseindruck und ist Voraussetzung jedes Sehvorganges. Unreflektiertes Licht einer Lichtquelle ist für sich allein informationslos – ausser die Lichtquelle treffe die Netzhaut direkt. Das Gehirn erfasst die Invarianten in der Struktur des umgebenden Lichtes (z.B. Helligkeit, Farbe, Form).

Dunkle Farben - mehr Licht

Psychologisch gesehen ist eine bestimmte Beleuchtungsstärke austauschbar: Um den gleichen Helligkeitseindruck zu erreichen, erfordert eine dunkle Reflexionsfläche im Vergleich zu einer helleren Fläche mehr Licht. Indem eine höhere Beleuchtungsstärke einen grösseren Lichtstrom und damit bei Kunstlicht eine höhere Lampenbestückung mit entsprechendem Stromverbrauch erfordert, zeigt sich hier ein Ansatz zur Energieeinsparung: dunkle Farben auf Böden, Wänden, Bezugsstoffen sind also «indirekte Energiefresser»!

Leuchtdichte und Sehschärfe

Die Zunahme der Leuchtdichte verläuft nicht linear zur Zunahme der Sehschärfe: Bei geringen Leuchtdichten steigt die Sehschärfe progressiv an, während bei höheren Intensitäten, z.B. Tageshelligkeiten, eine Zunahme der Sehschärfe in Abhängigkeit von der Leuchtdichte kaum noch wahrnehmbar ist: Die Empfindlichkeit unserer Netzhaut ist bei geringen Intensitäten sehr gross, während sie bei hohen Intensitäten kleiner wird. Um helle Arbeitsplätze zu erreichen, ist deshalb die Materialwahl wichtiger als die Beleuchtungsstärke.

Der Mensch – ein «Augentier»

Um eine Szenenbeschreibung, wie sie von unserem visuellen System geliefert wird, zu erreichen, bedarf es interpretativer Vorgänge. Wir glauben bei unserer Betrachtung einer visuellen Szenerie, einer von unserem Gehirn als sinnvoll erfassten Assoziation. Dabei ist uns kaum bewusst, dass wir Farben, Abstände, Kanten, Formen und Abläufe ermitteln und diese zu mehrdimensionalen Eindrücken zusammensetzen, für welche wir auf modellhafte Vorstellungen aus dem Gedächtnis zurückgreifen. Sehen als «hypothesengesteuerter Prozess» läuft dabei unbewusst ab. Rund 80–90% unserer Informationen werden optisch aus der Umwelt wahrgenommen.



Durch die Wahl heller statt dunkelblauer Polsterstoffe (Reflexionsfaktor: 0,8 statt 0,2) in dieser Halle könnte die Beleuchtungsstärke um das dreifache herabgesetzt werden (von $E = 750 \text{ lx}$ auf 200 lx). Die Wahrnehmung wäre dieselbe ($L = 50 \text{ cd/m}^2$). Der Betreiber könnte $\frac{2}{3}$ Strom sparen (Flughafen München II)

La consommation d'électricité du hall de l'aéroport (Münich II - Franz Joseph Strauss) a été réduite de 30%, grâce à un choix de couleurs claires (facteur de réflexion de 0.8, au lieu de 0.2).

Konstanz als Wahrnehmung

In einer ersten Wahrnehmungsebene werden bestimmte Komponenten der visuellen Verarbeitung gleichzeitig und automatisch für das gesamte Gesichtsfeld aufgenommen. In einer zweiten Ebene wird gerichtete Aufmerksamkeit benötigt, etwa als ob ein «geistiger Scheinwerfer» Position für Position beleuchtete: Gegenstände zeigen sich trotz verschiedener Entfernung in wirklicher Größe (Größenkonstanz). Formen entsprechen der Wirklichkeit (Formkonstanz) und Farben werden trotz des veränderlichen Spektrums des Tageslichtes «farbecht» wahrgenommen. Betrachtet man beispielsweise am Arbeitsplatz einen Bildschirm, so richtet sich unser geistiger «Scheinwerfer der Aufmerksamkeit» auf diesen. Er bekommt als Gegenstand seine Identität: sein Bildinhalt wird identifiziert und damit bewusst. Dieser Vorgang wird individuell verstärkt durch das Mass der Wiedererkennung, die bei jedem Menschen unterschiedlich gespeichert ist.

Störungen sind Verluste

Die Verarbeitungskapazität, welche für die Wahrnehmungsleistung notwendig wird, ist begrenzt. Entstehen durch «labile Wahrnehmungsabläufe» wie Blendung oder im Aufmerksamkeitsbereich gegenläufige Leuchtdichte- oder Materialzuordnungen, dann wird mehr «Rechenkapazität des Hirns» notwendig. Reicht die Wahrnehmungsleistung nicht aus, so vermindert sich die Aufmerksamkeit: die Entscheidungsfähigkeit und damit die Bewusstseinsbildung schwindet. Die Wahrnehmungskapazität wird vom Aufmerksamkeitschwergewicht weg zugunsten dieser «Fehlreize» verlagert. Beim Ueberschreiten der freien Gehirnkapazität weist dieser Informationsvorgang verlorene Informationen auf: der mental belastete Mensch ermüdet, fühlt sich unwohl oder schaltet geistig ab.

Utiliser les mécanismes de perception visuelle afin d'économiser l'énergie

● *Les mécanismes de perception visuelle (adaptation, accommodation) sont extrêmement dynamiques: l'oeil s'adapte à une quantité quasi infinie de situations d'éclairage. Une tâche visuelle peut être assurée (écriture, lecture, etc.) même sous un éclairage modéré, pour autant qu'un équilibre des luminances soit assuré. La nature et la structure de certains matériaux (peinture mate, mobilier satiné etc.) permettent d'atteindre cet équilibre des luminances; la perception de l'espace s'en trouve généralement aussi améliorée.*

Atténuation des reflets gênants grâce au choix de matériaux appropriés

● *La capacité de perception visuelle est altérée en cas d'éblouissements gênants, induit par une luminance trop élevée (réflexion des rayons solaires par ex.). Lors de l'avant-projet du bâtiment, il est donc important de tenir compte d'éventuelles situations d'éblouissement. Les réflexions gênantes, directes ou indirectes, peuvent être atténuées si un soin particulier est porté au choix des matériaux et des couleurs utilisés; ce choix influence, par ailleurs, la pénétration de la lumière naturelle, et par là, la consommation d'électricité des locaux.*

Economies d'énergie grâce à la hiérarchisation de l'espace

● *L'éclairage d'une pièce doit être différencié selon son utilisation: des zones de circulation seront moins éclairées que les places de travail, occupées en permanence. Etant donné que les places de travail effectives ne correspondent, dans le cas d'un bâtiment administratif, qu'à 1/6 de la surface de plancher totale, les possibilités d'économie d'énergie, qui peuvent être réalisées grâce à cette différenciation, sont substantielles.*

Economies d'énergie grâce à un choix approprié des facteurs de réflexion des parois

● *L'utilisation de lumière artificielle entraîne toujours une dissipation de chaleur inutile dans les locaux: celle-ci influence négativement le confort thermique des usagers et a pour conséquence de solliciter de façon excessive les installations techniques du bâtiment (rafraîchissement, production de froid). En utilisant des matériaux à haut pouvoir de réflexion, on accroît généralement les niveaux d'éclairage naturel et artificiel. La lumière réfléchiée par les matériaux influence aussi les mécanismes de perception visuelle. Les propriétés photométriques des matériaux constitutifs des parois doivent donc être prises en compte: les facteurs de réflexion des planchers, des parois et des plafonds doivent atteindre 30%, 50% et 70%.*

Economies d'énergie grâce au choix approprié de la teinte de la lumière

● *La perception subjective de la luminosité dépend de la longueur d'onde de la lumière observée: l'oeil humain perçoit mieux la couleur jaune (555 nanomètres de longueur d'onde). Une couleur de lumière, à dominante jaune, permet de réduire le niveau d'éclairage grâce à cette caractéristique particulière de la perception lumineuse: une diminution de la consommation d'énergie en résulte. L'utilisation de cette propriété n'est toutefois possible, en pratique, que dans des grandes halles (sources au sodium).*

Quellenhinweise:

- 1) «Tageslicht im Büro», Christian Bartenbach, Deutsche Bauzeitung (db) 10/1988
- 2) «Der Einfluss des Lichtes auf den arbeitenden Menschen», Deutsches Lichtinstitut, VWEW, Frankfurt, 1970

ABC der Ergonomie am Bildschirm-Arbeitsplatz

Sehbeschwerden und Augenbrennen sind häufige Gesundheitsstörungen.

Diese treten durch falsche Beleuchtung bei der Bildschirmtätigkeit auf, da diese Arbeit bereits vorhandene Sehprobleme an den Tag bringt. Verstärkt werden die Nachteile künstlicher Beleuchtung durch konzeptionelle Mängel der Gebäudeplanung oder der Beleuchtungstechnik. Künstliche Beleuchtung kann nie ein vollwertiger Ersatz für Tageslicht sein. Aus energetischen wie ergonomischen Gründen wird darum empfohlen, Arbeitsplätze und Arbeitsräume nach dem Tageslicht auszurichten.

Beat Kunz
Dipl. Ing. Ergonome
Agero AG Schlattingen

Prof. Paule Rey
Unité de Médecine du Travail et
d'Ergonomie
Université de Genève
Genève

A Adaptation als Teil der Sehleistung

Die Leuchtdichte der natürlichen Umwelt variiert zwischen $1/10'000$ cd/m^2 bei bewölktem Nachthimmel bis $10'000'000$ cd/m^2 bei hellem Sonnenschein. Das visuelle System des Menschen passt sich der Variationsbreite der natürlichen Umweltleuchtdichte an.

Die Adaptation erfolgt bei schnellen Blickwechseln durch Pupillenänderungen. Akkommodation – Scharfstellung im Auge – erfolgt durch Änderung der Linsenkrümmung.

B Blendung – psychologische oder physiologische

verursacht unangenehme Gefühle und führt zu psychischen Störungen und Leistungsminderung. Betroffene nehmen Blendung meist nicht bewusst wahr. Psychologische Blendung tritt immer vor der physiologischen Blendung auf. Die physiologische Blendung setzt die Sehfunktion herab. Kontrastblendungen aufgrund von Leuchtdichteunterschieden zwischen hellem Fenster und Bildschirm können in der Größenordnung von 1:1000 liegen. Ältere, auf Blendung empfindlich reagierende Leute werden bei Bildschirmarbeit eher gestört.

C Chromatische Eigenschaft menschlicher Augenoptik

Farbsehstörungen sind häufig und werden vererbt (Männer 6 bis 10%, Frauen 0,4%). Licht grünelber Wellenlänge wird scharf auf die Netzhaut abgebildet. Für rot ist das Auge übersichtlich und für blau kurzsichtig.

Die richtige Lichtfarbe für den Arbeitsplatz liegt im Bereich warmweisser Lichtfarben. Blendschutzvorrichtungen sollten Tageslichtfarben nicht verändern.

D Dauerbelastung ermüdet und beeinträchtigt

Die Funktionstüchtigkeit des optischen Systems wirkt sich durch Dauerbelastung

auf das zentrale und vegetative Nervensystem negativ aus. Besonders wichtig sind Art und Intensität der Beleuchtung, sowie Farb- und Helligkeitskontraste. Bei Überschreiten der maximalen Leuchtdichteunterschiede nimmt die Sehschärfe ab und das Blendempfinden zu. Vorzeitige Ermüdung wird vermindert, wenn Leuchtdichteunterschiede zwischen Arbeitsfeld und Umfeld von mehr als 10 : 1 vermieden werden.

E Ergonomie (griechisch Ergo = Werk; nomia = Lehre)

Die Ergonomie befasst sich mit dem arbeitenden Menschen. Sie vereinigt Technik, Physiologie und Psychologie und zielt auf eine optimale Anpassung des Arbeitsplatzes, dessen Umgebung, der Arbeitsmittel sowie Abläufe an die Natur des Menschen. Ergonomie fördert Effizienz, Qualität und Produktivität und minimiert Ausfälle durch Krankheit und Unwohlsein.

F Fenster als Raumöffnungen sind Bezugssystem

Es ist wünschbar und sinnvoll, die visuelle Bezugssituation nach aussen zu erhalten. Forschungsarbeiten belegen, dass etwa 20% der genutzten Bodenfläche als Ausblicksöffnung genügen - auch um dem menschlichen «Fluchtbedürfnis» gerecht zu werden.

G Günstige Blickwinkel in den Bildschirm

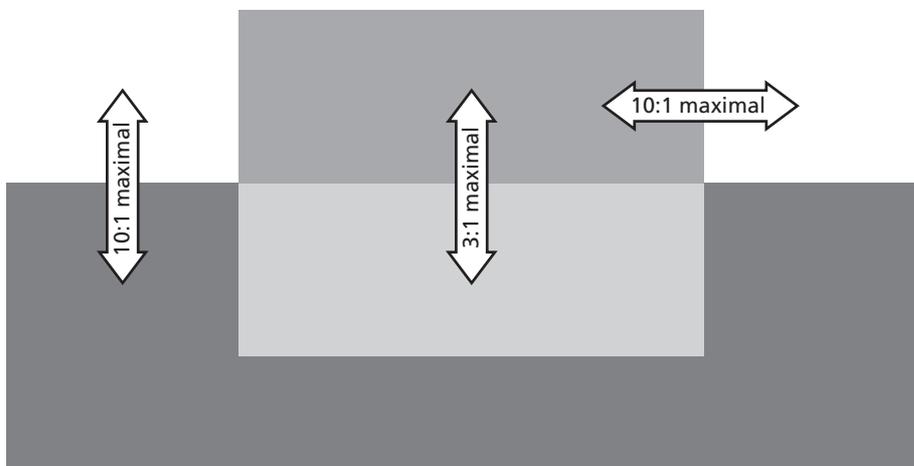
Bildschirme sind heute oft mit Gelenken ausgerüstet. Diese sollten nicht dazu benutzt werden, um störende Reflexe und Schatten zu beseitigen, da mit veränderten Beobachtungswinkeln Ablesefehler zunehmen und zu frühzeitiger Ermüdung oder Verkrampfung führen.

H Hitzeschutz durch Sonnenschutz

Der beste Hitzeschutz ist ein vor dem Fenster angeordneter Sonnenschutz, welcher die Sonnenstrahlung zurück-

Beschränkte Leuchtdichtekontraste im Gesichtsfeld erleichtern die visuelle Wahrnehmung. Im Infeldbereich ist der maximale Leuchtdichtekontrast 3 zu 1; im Umfeldbereich 10 zu 1.

Des contrastes modérés dans le champ de travail (maximum: 1 à 3) et dans le champ visuel en général (maximum: 1 à 10), sont synonymes d'un bon confort visuel.



reflektiert. Auch am Fenster montierte spezielle Schutzrollos können als Filter vor Überhitzung schützen und im Raum Bildschirmstörungen reduzieren.

I Ideal angeordnete Bildschirm-Arbeitsplätze

Eine ideale Bildschirmaufstellung kann Reflexbildung verhindern (z.B. bei rechtwinklig zur Fensterebene positionierten Bildschirmflächen).

Dies ist dort nicht realisierbar, wo lange Fensterfronten, Fenster auf mehr als einer Seite des Raumes oder eine funktionsbedingte Ausrichtung des Bildschirms notwendig ist.

Selbst bei senkrecht zur Fensterfront platzierten Bildschirmen ist über eine längere Tagesperiode mit Reflexblendungen zu rechnen. Bei völlig entblendeten Fenstern ist die Bildschirmaufstellung frei wählbar.

J Jalousien verursachen streifenartige Reflexbilder

Die Leuchtdichte der raumseitigen Oberfläche von Lamellen ist selbst bei geschlossenen Lamellen für die Bildschirmarbeit zu hoch (6)!

Fest montierte textile Beschattungen oder innenliegende Vertikallamellen sind aus blendschutztechnischer Sicht ungeeignet. Die unerwünscht starke Reduzierung des Tageslichts in der Raumtiefe durch Jalousien erfordert oft die Zuschaltung von Kunstlicht.

K Kneifen der Augen bei Absolutblendung

Kneifen der Augenlider als natürlicher Schutzreflex gegen zu hohe Leuchtdichten (Absolutblendung) schränkt das Sehen ein. Kneifen ist unangenehm und setzt die Sehfunktion herab. Neben der Sonne blenden auch der bedeckte Himmel und nicht entblendete Fenster sowie künstlichen Lichtquellen.

L Licht als hochwertige Energie

Das Verhältnis von Lichtmenge zu anfallender Abwärme ist bei Tageslicht am besten. Künstlich beleuchtete Räume heizen sich auf und steigern zusammen mit der Abwärme elektronischer Apparate die Raumüberhitzung.

L Leuchtdichten (Flächenhelligkeiten) grösserer Flächen

Im Gesichtsfeld sollten die Flächenhelligkeiten möglichst von gleicher Grössenordnung sein. Als Regel gilt: In den mittleren Partien des Gesichtsfeldes (Mittelfeld) sollte der Kontrast der Flächenhelligkeiten ein Verhältnis von 3:1 nicht überschreiten. Eine gleichmässige Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld bzw. geringfügig dunklerer Peripherie gegenüber dem zentralen Gesichtsfeld ergibt die beste Sehschärfe. Die Belastung bei gemischter Büro-tätigkeit (Lesen einer Vorlage und Eingabe am Bildschirm) ist unterschiedlich, da die Maxima der relativen Sehleistung für die beiden Sehaufgaben auf verschiedenen horizontalen Beleuchtungswerten liegen: Mit zunehmender Beleuchtungsstärke nimmt der Zeichenkontrast ab, da sich die Hintergrundleuchtdichte des Bildschirms erhöht.

M Muskelarbeit des Auges bei intensiver Arbeit

Bis zu 30'000 Blickwechsel pro Tag an Datensichtgeräten können das Auge stark ermüden.

N Natürliches Tageslicht – positiv für die Gesundheit

Tageslicht ist in seiner Qualität nicht durch Kunstlicht ersetzbar, spart Energie und fördert das Wohlbefinden.

O Optimale Beleuchtungsstärke für Bürotätigkeit

Gemäss dem subjektiven Urteil einer repräsentativen Gruppe liegt die optimale Beleuchtungsstärke im Bereich von

300 Lux. In Fensternähe herrschen fast immer zu hohe und in der Raumtiefe zu tiefe Beleuchtungsstärken vor. Wird der Sonnenschutz geschlossen, so liegen die Beleuchtungswerte in der Raumtiefe durchwegs zu tief, so dass das Kunstlicht zugeschaltet werden muss. Andererseits ist eine zu hohe Tageslichtmenge insbesondere an Bildschirmarbeitsplätzen zu kontrollieren.

P Pausen als arbeitsmedizinisches Prinzip

Pausen sind während der Arbeit zu empfehlen. Zur Pause gehört auch der Kontakt mit der Aussenwelt. Dazu ist freie Sicht nach draussen unabdingbare Voraussetzung.

Die meisten Sonnenschutz-Systeme – so auch Paravents – verhindern den visuellen Kontakt zur Umwelt. Der Blick in die Ferne sollte zur Entspannung der Augen stets beibehalten werden können.

Q Qualitativ und quantitativ richtig verteiltes Licht

Für die Arbeit mit einem visuellen Medium wie dem Bildschirm ist richtig verteiltes Licht entscheidend. Schlechte Beleuchtung beansprucht den Akkommodationsapparat unnötig und kann zu Veränderungen der Sehschärfe führen (asthenopische Beschwerden, Wechselwirkungen mit dem Zentralnervensystem etc.).

R Reflexe als hauptsächlichste Blendungsquellen

Kontrastverluste durch Reflexe auf Bildschirmen wirken störend, da sie sowohl die Leuchtdichte des Zeichens, wie auch des Hintergrundes auf dem Bildschirm überlagern. Reflexe werden am besten durch Abschirmen der Fenster mit Rollos und Jalousien sowie durch geeignete Leuchtenwahl vermieden.

Während bei der künstlichen Beleuchtung Bildschirmarbeitsplatzleuchten längst zum Standard geworden sind, gehören Spiegelungen und Blendungen durch unzureichend entblendete Fenster nach wie vor zu den häufigsten Störungen an Bildschirmarbeitsplätzen. Zur Blendungsbegrenzung müssen Stores geschlossen werden – und danach wird das Kunstlicht angezündet.

Des fenêtres, dépourvues de stores intérieurs mobiles, peuvent induire des éblouissements importants.



S Sehschärfe als Fähigkeit, Konturen getrennt wahrzunehmen

Durch Scharfeinstellung auf der Netzhaut (Linsenverformung) wird die Fähigkeit erreicht, Konturen wahrzunehmen. Die Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut hängt von der Pupillenöffnung ab, die von der Iris eingestellt wird.

Der Pupillendurchmesser liegt zwischen 2 und 8 mm. Er wird im Alter kleiner. Die Pupillenöffnung passt sich der Helligkeit des Gesichtsfelds an: Mit zunehmender Leuchtdichte nimmt sie ab und verbessert die Tiefenschärfe. Pupillenreaktionen erfolgen langsam und laufen oft weiter, wenn der Anreiz dazu bereits aufgehört hat. Die Sehleistung wird durch erhöhte Leuchtdichtekontraste im Gesichtsfeld heraufgesetzt, was besonders für ältere Personen mit eingeschränkter Akkommodation hilfreich ist.

S Spiegelungen und störender Glanz

Diese Störungen können z.B. durch Tageslichtfilter oder Innenvorhänge reduziert werden. Dadurch wird die Leuchtdichte des einfallenden Lichtes herabgesetzt, die Kontraste zwischen Gesichtsfeld und Umfeld gemindert. Der spiegelnde Glanz wird reduziert.

S Schwarzweiss-Sehen - und Farbsehen

Die Netzhautgrube des menschlichen Auges enthält ausschliesslich Zapfen, die für das farbempfindlichere Tagessehen verantwortlich sind. Mit den Stäbchen wird bei wenig Licht – selbst bei Dämmerung und in der Nacht – ohne Farbu Unterscheidung gesehen. Der randständige Augenbereich enthält fast ausschliesslich Stäbchen. Die spektralen Hellempfindlichkeitsgrade des menschlichen Auges hängen von der Wellenlänge, vom Helligkeitsniveau (Adaptationsleuchtdichte) und der Gesichtsfeldgrösse ab.

T Trockene Augen – ungenügender Tränenfilm

Exzessive Bildschirmarbeit führt zu Beschwerden, die daheim oder an frischer Luft unterbleiben: Bei anstrengender Bildschirmarbeit nimmt die Lidschlagfrequenz ab und der schützende Tränenfilm trocknet aus. Ueber 40% von Bildschirmarbeitern weisen einen defekten Tränenfilm auf.

V Virtuelle Bilder und störende Reflexe durch Beleuchtung

Reflexe auf konvexen Oberflächen von Bildschirmen führen zu verminderter Sehleistung und Ablesefehlern. Oberflächenreflexionen, die überwiegend auf gerichteter Reflexion basieren, werden als «Glanz» bezeichnet. Glanz vermindert Helligkeitskontraste zwischen den Zeichen und ihrem Hintergrund. Zusätzlich überlagern reflektierte Bilder die Wiedergabe. Das reflektierte – virtuelle – Bild erscheint weiter entfernt als die Zeichen auf dem Bildschirm. Es übt auf das Auge einen Akkommodations- und Fusionsreiz aus: Unwillkürlich stellt sich das Auge auf die Entfernung des virtuellen Bildes ein. Die Augenachsen richten sich so, dass ein Doppelbild vermieden wird. Die eigentliche Sehaufgabe wird dadurch unscharf oder doppelt gesehen. Die Sehleistung wird herabgesetzt während der «Akkommodations- und Fusionswettbewerb» als unangenehm empfunden wird. Bildschirmgerechte Beleuchtung und blendungsbegrenzte Fenster reduzieren derartige Reflexe.

V Vorschriften, Normen, Richtlinien

- Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR 6/1) «Raumtemperaturen», 1976, ASR 7/1 «Sichtverbindung nach aussen», 1976, ASR 7/3, «Künstliche Beleuchtung», 1979
- DIN 5034 «Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht», 1969

- DIN 66234 «Bildschirmarbeitsplätze» (Ergonomische Gestaltung des Arbeitsraumes Beleuchtung und Anordnung), Teil 7, 1984;
- SUVA-Merkblatt 11037: «Die Arbeit am Bildschirm»
- SLG-Wegleitung für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen

W Wahrnehmung durch Kontrasterkennung

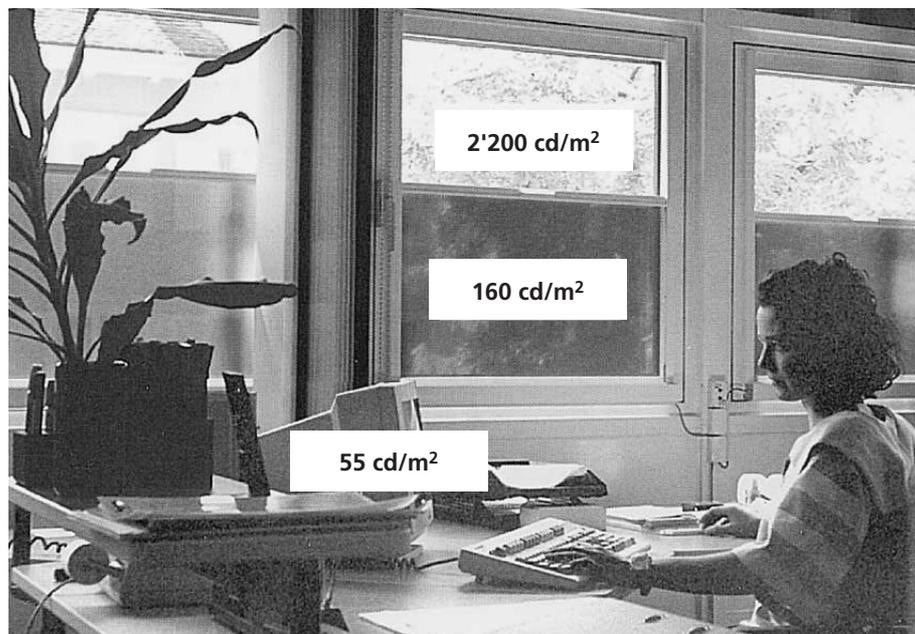
Der Unterschied der Leuchtdichten benachbarter Objekte bestimmt deren physikalischen Kontrast. Mit Hilfe farbiger Kontraste werden Gegenstände voneinander besser unterschieden.

Z Ziliarmuskeln des Auges im Ruhezustand

Der optische Sehapparat ist im Ruhezustand auf eine Entfernung von etwa 2 Metern eingestellt. Bei der Kontraktion des Ziliarmuskels nimmt die Krümmung der elastischen Linse und damit die Brechkraft zu (Sehentfernung wird kleiner). Der Akkommodationsbereich wird durch den Nah- und Fernpunkt begrenzt und ist vom Alter und der Beleuchtungsstärke abhängig. Im Alter ab 50 Jahren rückt der Nahpunkt vom Auge ab – der Akkommodationsbereich wird kleiner. Die Fernpunktlage ändert sich nicht. Arbeiten bei beschränkter Umwelthelligkeit wird ermüdend, weil sich bei sinkender Beleuchtungsstärke und sich öffnender Pupille Nah- und Fernpunkt nähern und die Sehschärfe sinkt – insbesondere wenn im Nahbereich häufig umakkommodiert werden muss. Älteren Personen wird deshalb das Sehen durch höhere Beleuchtungsstärken erleichtert.



An einem tageslichttechnisch optimierten Bildschirmarbeitsplatz wird der untere Fensterbereich bei bedecktem, hellem Himmel beschattet – mit Pflanzen (oben) oder Rollos (unten). Die Aussicht wird erhalten. Durch unbeschattete Zonen gelangt Tageslicht in den Raum – z.B. in Oberlichtpartien. Die Leuchtdichtekontraste zwischen entblendetem Fensterbereich und Bildschirm werden kleiner als 1 zu 3 gehalten (unten (160 cd/m² bzw. 55 cd/m²). Ziel: Helligkeit im Sehbereich innerhalb der DIN-Norm 66234 (<400 cd/m²).



Certains stores intérieurs, de transparence réduite, permettent d'atténuer la luminance d'un ciel couvert, relativement lumineux, jusqu'à rendre celle-ci acceptable même en cas de travail à l'écran. Cette protection n'est toutefois pas suffisante en présence du soleil.

● **En ergonomie, le confort visuel dépend**

- de la tâche et du niveau de performance requis
- de l'environnement lumineux
- des aptitudes visuelles des opérateurs, qui se modifient avec l'âge et la présence de défauts visuels

● **Mesure de l'astreinte visuelle**

- par la finesse des détails à percevoir
- le contraste objet-fond
- l'usage d'aides optiques
- la cadence de travail,
- la durée globale du travail

● **Conditions lumineuses favorables à la performance visuelle**

- un niveau d'éclairage suffisant
- bon contraste objet-fond élevé
- renforcement des couleurs
- répartition homogène de la lumière
- absence de reflets
- absence de papillotement

● **La lumière du jour procure un rendement optimal de l'œil**

- par son abondance
- sa continuité spectrale, large bande passante et son absence de vibration
- sa grande dimension des sources

● **Pour l'architecte, la réalisation du confort visuel des personnes au travail suppose**

- l'utilisation de la lumière naturelle
- le contrôle des luminances
- le choix des matériaux et revêtements en fonction de leur couleur et de leur pouvoir de réflexion
- la prise en compte de l'orientation du bâtiment et de son environnement

Quellenhinweise:

- 1) «Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros 1990»; Ergonomisches Institut für Arbeits- und Sozialforschung: Licht und Gesundheit
- 2) «Augenbelastung am Bildschirm» Tagungsband «Tag des Auges»; Huber-Spitz, V.; Salzburg 1991
- 3) «Wegleitung für die Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen»; Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft; Dok.No. 450/84; Zürich 1984
- 4) «Im rechten Licht»; Prahl, P.; Stolzenberg, K.; Maschinenmarkt 2/1986)
- 5) «Farben am Arbeitsplatz»; Arbeitsärztlicher Dienst des BIGA; Arbeitsmedizinische Informationen Nr.32/1989
- 6) «Wegleitung: Tageslichtbeleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen», Agero AG, Schlattingen

Thermischer Komfort hinter Glas

Der Mensch hält sich noch etwa 10% seiner Zeit an frischer Luft in freier Natur auf. Der Wunsch, zuhause oder am Arbeitsplatz Verbindung zur Natur zu halten, der Drang nach möglichst uneingeschränktem Tageslicht, nach Kontakt mit Pflanzen, Sonnenstrahlen und blauem Himmel ist verständlich. Grossflächig verglaste Häuser gehören darum ins Bild heutiger Architektur. Wie aber ist thermischer Komfort hinter Glas überhaupt möglich? Kann Behaglichkeit im «Glashaus» je geschaffen werden? Wie steht es um den Hitze-, Blend- und Wärmeschutz hinter transparenten Fassaden? Was empfindet unser Körper als angenehm? Wann fühlen wir uns behaglich?

Optimaler Raumklimakomfort trägt viel zum Wohlbefinden und zur Gesundheit des Menschen bei, da ein ausgewogenes Strahlungsgleichgewicht zwischen Körper und Umgebung eine Voraussetzung für die Gesundheit jedes Organismus ist. Glasbauten, die in gewissen Sinne Ersatz für «die Natur» liefern, in der sich der Mensch wohl fühlen sollte, gewährleisten dieses Gleichgewicht nicht a priori.

Wärmeaustausch mit der Umgebung

Bei jeder Form von Arbeit wird bloss etwa ein Drittel der mit der Nahrung aufgenommenen Energie vom Körper in Bewegung umgesetzt – das meiste wird als Überschusswärme abgegeben. Bei der Verbrennung gibt jede einzelne Körperzelle Wärme ab, die durch Strahlung, Konvektion und/oder Verdunstung vom Körper an die Umgebung abgeführt wird. Dieser Wärmemetabolismus läuft bei jedem Menschen unterschiedlich ab. Jeder Gegenstand – und so auch die menschliche Hautoberfläche – strahlt abhängig von der Temperatur Wärme ab. Umgekehrt strahlt die Umgebung auch auf den Körper ein. Im Rahmen dieses Energieaustausches – welcher praktisch unabhängig von der Umgebungstemperatur der Luft erfolgt – kann beispielsweise trotz warmer Umgebungstemperatur Strahlungswärme an kalte Wände abgegeben werden. Im umgekehrten Fall wird trotz kalter Umgebungsluft Infrarotstrahlung (z.B. Sonne) aufgenommen. Falls die Umgebungsluft kälter ist als die Hautoberfläche, wird durch Konvektion Wärme abgeführt, wobei dieser Übergang sich verstärkt, sobald die Luft sich bewegt, d.h. die Wärme weggeführt wird.

Wärme-Regulativ «Schwitzen»

Kann der Mensch nicht genug Wärme durch Strahlung oder Konvektion abführen, muss er schwitzen! Steigt die Temperatur der Umgebungsluft über 36° an, und ist die Einstrahlung höher als die Abstrahlung, wird Wärme aufgenommen, die zusätzlich abzuführen ist. Solange die

Umgebungsluft trocken ist, steht einer Wärmeabgabe durch Verdunstung (Schwitzen) nichts entgegen. Problematisch werden für den menschlichen Wärmehaushalt erst «tropische» Verhältnisse (hohe Luftfeuchtigkeit: Treibhausklima!). Temperaturen von über 30 °C bei Tropenfeuchtigkeit sind längerfristig selbst bei körperlicher Ruhe bedenklich. Derartige Zustände sind in verglasten Bürobauten mit hohen internen Wärmelasten und ungünstigem Sonnenschutzdispositiv im Sommer keine Seltenheit.

Mögliche Folge: Bluthochdruck!

Durch entsprechende Regulationsmechanismen kann unsere Körpertemperatur konstant gehalten werden (durch Erweiterung oder Verengung der Blutgefässe oder Schwitzen). Dies stabilisiert die Körpertemperatur wirkungsvoll. Wenn jedoch der Wärmeregulationsmechanismus dauernd beansprucht wird, verhärtet sich die Gefässmuskulatur und die Durchblutung wird beeinträchtigt. Mögliche Folge ist: Blutdruckerhöhung!

Ideales «Ambiente» ermöglichen

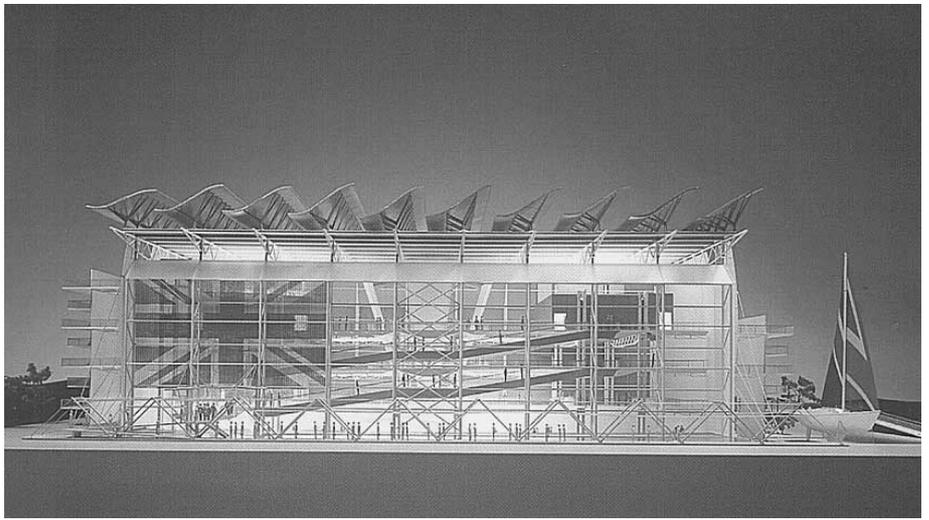
Bei hoher Strahlungstemperatur der Umgebung und niedriger Lufttemperatur liegen für den Menschen ideale klimatische Verhältnisse vor: Man stelle sich z.B. einen kühlen, sonnendurchfluteten Laubwald vor – ein klimatisch traumhafter Ort für den Körper, welcher sich konvektiv an der Luft abkühlen kann. Die Durchblutung der Haut, der Gewebe und der Muskeln wird erhöht, die Gefässmuskulatur entspannt. Diese ideale klimatische Exposition wäre – bei entsprechender Auslegung – auch hinter Glasfassaden in bepflanzten Innenräumen, verglasten Atrien oder Wintergärten denkbar.

Aufgepasst bei «Wärmefallen»

Wenn Sonnenenergie als elektromagnetische Strahlung zur Erde gelangt, dringt sie – mehr oder weniger ungehindert – durch Verglasungen ins Gebäude ein. Dabei wird sie noch nicht direkt wärme-

Komfort beim britischen Pavillon in Sevilla durch klimamoderierende Mittel: PV-bestückte Sonnensegel beschatten das Dach, wassergefüllte Schiffscontainer schaffen Trägheit, eine vollverglaste Fassade wird durch einen Wasservorhang adiabatisch gekühlt (Architekt: Nicholas Grimshaw, London)

Certains stores intérieurs, de transparence réduite, permettent d'atténuer la luminosité d'un ciel couvert, relativement lumineux, jusqu'à rendre celle-ci acceptable même en cas de travail à l'écran. Cette protection n'est toutefois pas suffisante en présence du soleil.



wirksam. Selbst «Sonnenschutzgläser» lassen noch viel Wärmestrahlung durch. Erst im Innenraum wandelt sich die eingedrungene Strahlung in Wärme um und wird nur teilweise wieder gegen aussen abgestrahlt. Diese «Wärmefalle» droht, da diese Sekundärstrahlung in für Glas nicht mehr durchlässigen Wellenlängenbereichen erfolgt.

Rezept: Sonnenschutz, Speichermasse und Nachtauskühlung

Dem Wärmegewinn moderner Glasbauten kann durch Sonnenschutz (Protektion), Lüftung (Konvektion), Wärmeleitung (Transmission) oder Wärmedämmung (Isolation) in bestimmten Grenzen begegnet werden. Wichtigste Massnahme ist ein aussenliegender Sonnenschutz. Fest montierte oder nicht verstellbare Sonnenschutzvorkehrungen sind selten empfehlenswert. Bei heute bereits gut gedämmter Aussenhülle ist die Wärmedämmung nicht mehr allzu wichtig. Hingegen ist genügend Speichermasse zu schaffen, um den Temperaturanstieg zeitlich und amplitudenmässig zu dämpfen: man vergleiche dies bezüglich die Trägheit eines gläsernen Skelettbau mit einer massiven Basilika! Letztlich sind natürliche Lüftungsöffnungen grosszügig anzuordnen. Dabei sollte Nachtauskühlung – am besten bei tiefen Aussen Temperaturen – möglich sein. Luft ein- und -auslässe sollten an schattigen und kühlen Stellen und – zur Erhöhung der Temperaturgradienten – möglichst weit auseinander liegen.

Quellenhinweise:

- 1) «Intelligente Fassaden für umweltgerechtes Bauen»; Andrea Compagno in Fassade - Façade, SZFF, Dietikon Nr. 1/1994
- 2) «Thermoregulation des Menschen - warum Schweissperlen allein nicht kühlen»; Helmut Krueger, NZZ Nr. 145/1991

● **Corps humain et environnement**

L'exécution de travaux mécaniques est possible pour le corps humain, grâce à l'énergie fournie par l'alimentation. Seul un tiers de cette énergie est, toutefois, utilisée pour cela; la plus grande partie est dissipée en chaleur, permettant au corps humain de maintenir une température pratiquement constante de 37.5 °C. En «brûlant des calories», chaque cellule fournit une certaine quantité de chaleur, qui sera finalement dissipée à la surface du corps par rayonnement, convection et/ou évapo-transpiration. Le corps humain émet, comme tout corps physique, un rayonnement infrarouge, qui dépend fortement de sa température; celui-ci lui permet d'échanger de la chaleur avec son environnement (parois d'un local, vitrages, etc.), indépendamment de la température de l'air ambiant. L'environnement émettant lui aussi de la chaleur par infrarouge, cet échange conduit à une perte de chaleur pour l'être humain, si la température de l'environnement est inférieure à celle de la peau (vitrages en hiver, p. ex.) et à un gain, dans le cas contraire (toile de store chauffée par le soleil, p. ex.).

● **Transpiration: effet de régulation**

Lorsque l'échange par rayonnement et par convection (courants d'air par ouverture de fenêtres) ne suffisent plus à dissiper la chaleur excessive, les mécanismes d'évapo-transpiration entrent en jeu (dès 28–30 °C en général). Ces derniers permettent au corps de dissiper efficacement de la chaleur excessive, en utilisant celle-ci pour évaporer de la sueur. La présence d'une humidité relative élevée (climat tropical p. ex.) diminue l'efficacité de cet échange et accroît encore la sensation d'inconfort provoquée par la température ambiante. On rencontre, plus fréquemment que l'on croit, cette situation sous nos latitudes dans des bâtiments vitrés, démunis de protections solaires efficaces (bâtiments administratifs) ou en présence de sources de chaleur interne

trop importantes (par exemple dans les surfaces de vente).

● **Vitrages et «effet de serre»**

Les vitrages ont pour principal avantage d'être transparents au rayonnement solaire; la lumière et le rayonnement infrarouge proche qui composent celui-ci traversent ce dernier pratiquement sans être atténués.

Ce rayonnement est absorbé à l'intérieur du local (sol et parois), pour être réémis sous forme de rayonnement infrarouge, par le même mécanisme décrit précédemment (échange par rayonnement). Le verre absorbe presque totalement ce type de rayonnement infrarouge (infrarouge moyen): l'énergie solaire est ainsi «piégée» à l'intérieur des locaux. C'est ce que l'on appelle «l'effet de serre».

● **Recette : protection solaire, inertie thermique et ventilation nocturne**

L'utilisation de protections solaires pour contrôler la pénétration du rayonnement solaire (principalement en été) est indispensable, en particulier si le bâtiment est abondamment vitré. Mise à part une isolation thermique suffisante de l'enveloppe (SIA 180/1 et 380/1), il est indispensable de donner au bâtiment une inertie thermique suffisante. On pourrait distinguer le cas de la toiture (isolation et masse) pour obtenir une atténuation et un déphasage suffisant et façades/murs pour obtenir une atténuation des fluctuations de température. En générale une construction massive (plots de ciment, dalle, etc.) est préférable à une construction légère: les variations de température, en cas de fort rayonnement solaire, s'en trouvent atténuées.

L'utilisation de la ventilation nocturne pour rafraîchir le bâtiment en période estivale est recommandée. Elle permet de tirer profit de la fraîcheur de la nuit et d'abaisser la température matinale de l'air du bâtiment, en prévision des apports solaires de la journée.



Als Gegenbild des Klimas, welches man üblicherweise hinter sonnenbeschienenen Glasfassaden vorfindet, mag das Beispiel eines lichtdurchfluteten Waldes dienen. Dieser würde klimatisch ein ideales Ambiente für den Menschen bieten: hier herrschen moderate Strahlungstemperaturen bei niedriger Lufttemperatur vor. Angenehm wird das Klima im Wald empfunden, da sich der Körper konvektiv gegenüber der Luft abkühlen kann. Die Strahlungsexposition ist reduziert. Die Durchblutung der Haut, der Gewebe und der Muskeln wird erhöht, die Gefäßmuskulatur entspannt. Wie durch einen leistungsfähigen Sonnenschutz dringen durch das Blätterdach bloss rund 15% des Sonnenlichtes bis zum Boden und werden nach allen Seiten reflektiert. Das Auge stellt sich durch Adaption schnell auf reduzierte Leuchtdichten ein.

A l'opposé du climat que l'on rencontre d'habitude derrière nos façades vitrées et inondées de soleil, on peut évoquer l'image d'une forêt à la lumière tamisée. Au plan climatique celle-ci représente un milieu presque idéal pour l'homme: ce sont des températures de rayonnement modérées avec température de l'air basse. Le climat dans la forêt est ressenti comme agréable parce que le corps peut se rafraîchir de façon convective par rapport à l'air. L'exposition au rayonnement infrarouge est réduite. Comme si elle était filtrée par une protection solaire efficace, seulement une fraction de la lumière solaire passe à travers le feuillage (15%); qui réfléchit les rayons solaires de tous les côtés; l'oeil peut s'adapter rapidement au niveau réduit de l'ambient lumineux. L'irrigation de la peau, des tissus et des muscles est améliorée: les vaisseaux se détendent: On se sent à l'aise.

Gelungene Tageslicht-Integration im Architekturprojekt ist ein Attribut, das in zweckmässiger Form direkt auf eine Reduktion des Energieverbrauchs in Gebäuden zielt – und dabei höheren Benutzerkomfort bewirkt. Renommierete Architekten verstehen es, die Chancen zur besseren Tageslichtnutzung bewusst wahrzunehmen. Im Airport Terminal Stansted, England, sorgen z.B. Oberlichter von nur 4% der Bodenfläche zusammen mit hellen Materialien für weitestgehende Tageslichtautonomie (Architekt: Sir Norman Foster and Partners, London)

L'intégration appropriée de la lumière naturelle dans le projet d'architecture conduit à une amélioration des conditions de confort des usagers et à une diminution de la consommation d'électricité du bâtiment. Le succès de cette intégration dépend de la volonté du maître d'oeuvre, responsable des choix fondamentaux en ce qui concerne le projet. Des architectes de réputation internationale ont compris cela depuis longtemps et mettent en pratique cette règle. C'est le cas, par exemple, de Norman Foster et de ses associés, responsables du projet de l'aéroport de Stansted en Angleterre: grâce à la création d'ouvertures zénithales suffisantes (indice d'ouverture 4%) et à un choix de revêtements de teintes claires, ils ont contribué à la réalisation d'une halle d'aéroport, caractérisée par une autonomie importante en éclairage naturel.



Lumière naturelle et projet d'architecture

Les critères visant à une bonne utilisation de la lumière naturelle sont de nature psychologique en améliorant la qualité spatiale, l'agrément et le confort d'utilisation: ils sont également de nature physiologique en évitant les problèmes d'inconfort visuel, d'éblouissement et de surchauffe estivale et sont finalement de nature économique en améliorant la pénétration de la lumière dans la profondeur des bâtiments pour diminuer la consommation de lumière électrique.

La lumière naturelle est matière au même titre que les autres matériaux de construction. Par ailleurs, il est essentiel de considérer que la qualité de la lumière est plus importante que sa seule quantité. La qualité de la lumière – caractérisée au niveau physique par sa couleur – les contrastes qu'elle crée et par l'éclairage requis, dépend en architecture essentiellement de la disposition et de la dimension des ouvertures; nous y associons ainsi les critères de vue et de spatialité.

L'éclairage requis

L'éclairage requis pour une activité est très variable et dépend du degré de précision du travail. L'éclairage varie évidemment fortement en fonction de la saison, de l'heure, de l'environnement, de la dimension et de la position de l'ouverture ainsi que du coefficient de réflexion des revêtements intérieurs. Pour maîtriser la quantité de lumière, il est nécessaire de connaître le facteur de lumière du jour qui permet d'établir la répartition de la quantité de lumière dans un espace en fonction de l'éclairage extérieur. Il est possible ainsi d'apprécier l'éclairage de manière permanente.

L'ambiance lumineuse

L'ambiance lumineuse dépend aussi du choix des couleurs des revêtements intérieurs et extérieurs et de l'agencement mobilier. La température de couleur est la grandeur physique qui qualifie une ambiance chaude ou froide. Il est admis que le niveau d'éclairage peut être plus bas dans une ambiance «chaude» que «froide». Cela s'explique par le fait que de tout temps, l'homme est habitué à une lumière froide par fort éclairage (éclairage naturel durant la journée) et à une lumière chaude par faible éclairage (éclairage au moyen d'une flamme de bougie la nuit).

Le confort visuel pour une tâche dépend des contrastes perçus. Ceux-ci varient en fonction de l'aménagement intérieur (matériau et couleur), de l'orientation du

regard et de la disposition des ouvertures. Les recommandations actuelles dans le domaine du travail admettent des rapports de contraste variable selon le champ visuel ($1/50 - 1/10 - 1/3$).

La vue à l'extérieur

La vue ou relation intérieur-extérieur dépend d'aspects ergonomiques en fonction de l'âge (adulte ou enfant) et de l'activité (position debout, assise ou couchée). En position assise, les contre-cœurs habituels situés à 90 cm du sol ne permettent qu'une vue horizontale sur l'extérieur empêchant une vision contre en bas. Par ailleurs, la disposition des menuiseries peut s'avérer parfois gênante.

La spatialité

La spatialité dépend du rapport établi entre les pleins et les vides, tant pour les plans verticaux que pour le plan horizontal; les dispositifs constructifs retenus permettent plus ou moins de libertés selon que l'enveloppe est porteuse ou non. Un scénario «lumière» définissant la manière dont les surfaces doivent être éclairées permet d'obtenir des spatialités bien précises.

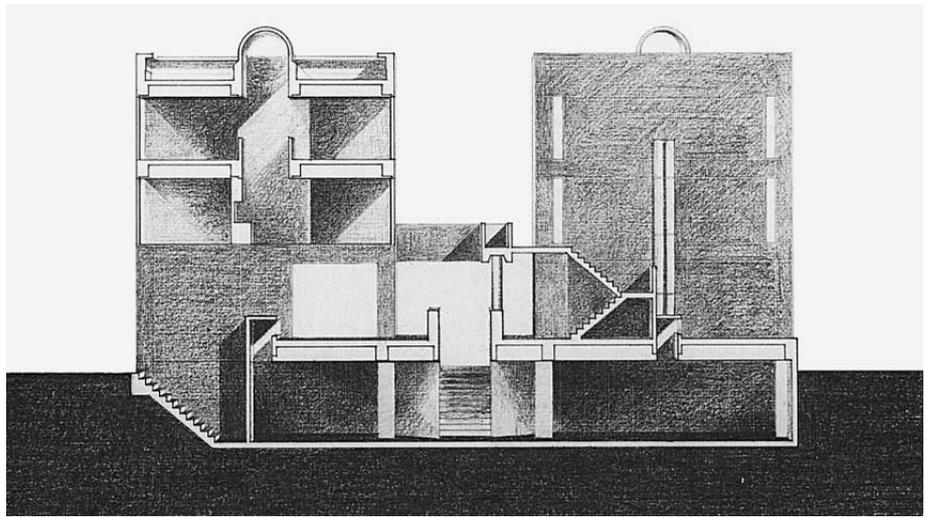
La lumière naturelle variable

L'éclairage global horizontal varie fortement en fonction des saisons et de la nébulosité (7'000 Lux en hiver par ciel couvert – 100'000 Lux en été par ciel clair). Partant de là, un système de protection efficace est indispensable, si l'on veut profiter au maximum de la lumière naturelle pendant la période la plus défavorable (éclairage suffisant et contraste admissible) et de ne pas souffrir en été d'un excès de chaleur et de lumière.

Yves Golay
Architecte EPFL
Institut de Technique du Bâtiment
(ITB) EPFL
Lausanne

Le travail en coupe dès le début est essentiel: Coupe du Projet «Tour et Plaza» (Tadao Ando, 1976)

Die Schnittparbeit ist bereits im frühen Projektstadium für die Tageslichtnutzungsqualitäten entscheidend (Projekt «Tour et Plaza» von Tadao Ando, 1976)



Deux types de ciel

En rapport avec le projet, il est nécessaire de bien différencier deux types de lumière:

- *un ciel couvert ou un ciel clair atténué par une protection solaire procure une lumière calme ou homogène caractérisée par une moindre intensité, une couleur plus froide et des contrastes moins prononcés.*
- *un ciel clair ensoleillé procure une lumière dynamique caractérisée par une intensité élevée, une couleur plus chaude et des contrastes élevés. Cette lumière exprime au mieux la variation du temps en fonction de l'heure et de la saison.*

«Cahier des charges lumière»

Pour chaque projet d'architecture, il est souhaitable d'établir un «cahier des charges lumière» qualitatif et quantitatif en caractérisant l'éclairage souhaité pour chaque espace du projet.

Le travail de la coupe

Pour une bonne maîtrise de la lumière, il est nécessaire d'établir des scénarios de lumière liés au concept architectural; ces scénarios se travaillent en coupe. Le choix d'une ouverture latérale ou zénithale se fera en fonction de multiples critères comme le concept d'implantation dans le site, la morphologie des bâtiments et leur affectation. Des ordres de priorités doivent être définies pour affiner les choix des ouvertures quant à leur emplacement, dimension et nombre. Ces choix dépendent à la fois d'aspects conceptuels, esthétiques, constructifs, économiques et fonctionnels. Le bien-être de l'utilisateur est ainsi en jeu.

● Variationsbreite der Einstrahlung

Je nach Standort, Bewölkung, Jahreszeit und Verbauungsgrad variiert die Himmelsleuchtdichte stark. Der Unterschied von direkter Sonne zu blauem, bedecktem Himmel ist punkto Leuchtdichte erheblich.

● 5% Tageslichtquotient genügen

Unter dem zu über 50% bedeckten durchschnittlichen Schweizer Himmel genügt ein Tageslichtquotient von 5%, um während 50% der Büroarbeitszeit mit 500 Lux am Arbeitsplatz arbeiten zu können. Ohne tageslichttechnisch und photometrisch gezielte Massnahmen (hoher Fensteranteil, helle Farben) sind Tageslichtquotienten von mehr als 2% ab 3 Meter Raumtiefe nicht erreichbar.

● Tageslichtnutzung im Raum

Neben quantitativen hat Tageslichtnutzung im Raum auch qualitative Aspekte zu berücksichtigen. Insbesondere psychologische, physiologische (Blendung, Kontraste, Farbgebung) und ökonomische Kriterien (Tageslichtautonomie, Energiekosten) sind neben Aussichtsfragen interessant (siehe auch «ABC der Ergonomie am Bildschirmarbeitsplatz»).

● Seiten- und Oberlicht

Das natürliche Licht kann prinzipiell durch Seiten- und Oberlichter in Innenräume gelangen. Bei erdgeschossigen Gebäuden hängt die Wahl der Lichtführung in erster Linie von der Tiefe des Gebäudes und seinem Zweck ab. Oberlichter sind «lichtergiebiger» als Seitenfenster – sie dürfen bei gleichem Tageslichtgewinn ungefähr fünf mal kleiner sein! Ein mehrgeschossiges Gebäude kann allerdings nur im obersten Stockwerk mit Oberlichtern belichtet werden – es sei denn, der Architekt führe Tageslicht über Kanäle oder durch kostspielige Innenhöfe oder Atrien in untere Räume ein. Normalerweise ist Seitenlicht in untere Stockwerke lateral einzuführen.

● Das Vorprojekt ist entscheidend!

Die Entscheidungen über das Tageslichtkonzept müssen im Vorprojekt getroffen werden. Nachher ist es zu spät, da nach ausgefertigtem Vorprojekt lediglich die Öffnungen verschoben, grösser oder kleiner gemacht werden können. Man kann nur noch partiell verfeinern.

● «Tageslicht-Pflichtenheft»

Architekten, ihre Bauherren und Fachingenieure könnten ihre Vorstellungen bezüglich Tageslichtnutzung frühzeitig in einem Projektstudium im Rahmen eines «Pflichtenheftes Tageslicht» (Raumprogramm) umschreiben. Denn heute ist es möglich, in Schnittstudien, Modellversuchen und Simulationen bereits frühzeitig quantitative und qualitative Aussagen über den Tageslichtkomfort und die erzielbare Tageslichtautonomie zu machen (siehe auch «Nouveaux outils de conception»).

System- evaluation im Planungsteam

Bei der Auslegung der Gebäudestruktur und der haustechnischen Systeme und ihrer Regulierung heisst Sparen nicht Verzicht, sondern sorgfältiger und intelligenter mit Energie umgehen. Dies frühzeitig und konsequent bereits im Entwurf. Der Architekt - als Generalist - soll im Schulterschluss mit Haustechnikern und Spezialisten für Tageslichtplanung sowie Sonnenschutz die Benutzerbedürfnisse ermitteln und in der Layout-Phase Betriebsmittel und Raumzonen optimal gruppieren. Er kann dabei methodisch neue Hilfsmittel wie Simulationen oder Energieszenarien einsetzen. Dies hilft ihm, beim Systementwurf frühzeitig wichtige Nahtstellen zwischen einzelnen Gewerken, Komponenten und Systemen zu erkennen.

Energiesparen heisst nicht einfach «Gürtel-enger-schnallen»

Oft herrschen seitens Bewilligungsbehörden, Architekten, Fachplanern und Bauherren erhebliche Investitionsunsicherheiten. So bewirken etwa Unklarheiten bezüglich des thermodynamischen Verhaltens von Gebäuden oder bezüglich der Effizienz von Sonnenschutzsystemen und der Notwendigkeit allfälliger Sommerkühlungen (Klimatisierungen) oft überdimensionierte, teure Anlagen.

Profimässige Systemauslegung

Wenn Architekten und Fachkoordinatoren um Zentimeter bei der Dimensionierung von Deckenhohlräumen und Steigschächten für Kanäle feilschen, wenn Bauherren die «teure Haustechnik» beklagen, ist dies ein Vorgang, der durch eine effiziente Systemevaluation vielleicht gar nicht nötig wäre.

Energie-Effizienz ist die Folge einer dynamischen Systemauslegung

Kombiniert man bei modernen Arbeitsplätzen die Menge des variabel vorhandenen Tageslichtes mit einem regulierbaren Anteil des künstlichen Lichtes, ergeben sich Beleuchtungskonzepte mit hoher Benutzerakzeptanz. Anstelle von statischen Installationen stellen dynamische Systeme die richtige Lichtmenge zur richtigen Zeit zur Verfügung. «Intelligente» Gebäude ergeben kostengünstige Strukturen, Systeme, Service und Management. Sie helfen Bauherren, Liegenschaftsverwaltungen und Benutzern, ihre Investitionsziele zu verwirklichen. Und sie erreichen bei erhöhtem Komfort beachtliche Energieersparnisse.

Gute Struktur statt «Pflästerli»

Viele Systeme werden sich im Laufe der Nutzungsdauer eines Gebäudes verändern. Wenn Steigschächte zu eng sind, falls das Kühlsystem ungenügend ist, sind dem Ausbau Grenzen gesetzt. Die Baustuktur, das Tragwerk und die Gebäudehülle bleibt aber in aller Regel

bestehen. Wichtig ist darum die Orientierung sowie die Konstruktion der Gebäudehülle (Boden, Dach Wände, Öffnungen). Der Umgang mit dem Tageslicht ist entscheidend. Bei einem intelligenten Gebäudeentwurf wird die Tageslichtnutzung sich nicht in einer optimalen Lichtausbeutung erschöpfen, sondern die potentiellen Auswirkungen auf die Bildschirmtätigkeit (Blendungsrisiken) miteinschliessen.

Grundsatzbetrachtungen

Geschosshöhen sind Schlüsselgrössen. Hohlböden oder Innenanstriche sollten nicht nur unter ästhetischen Betrachtungen, nicht nur aufgrund ihrer Ableit- oder Reinigungsfähigkeit, sondern auch hinsichtlich ihres Lichtreflexionsvermögens beurteilt werden.

Zu beachtende Grundsätze wie kompaktes Bauvolumen, Himmelsorientierung, Puffer- und Kernzonen, adäquate Isolation, leistungsfähige Sonnenschutzsysteme, natürliche Lüftung und auch Masse-Speicherfähigkeit der verwendeten Baumaterialien finden mehr und mehr Beachtung.

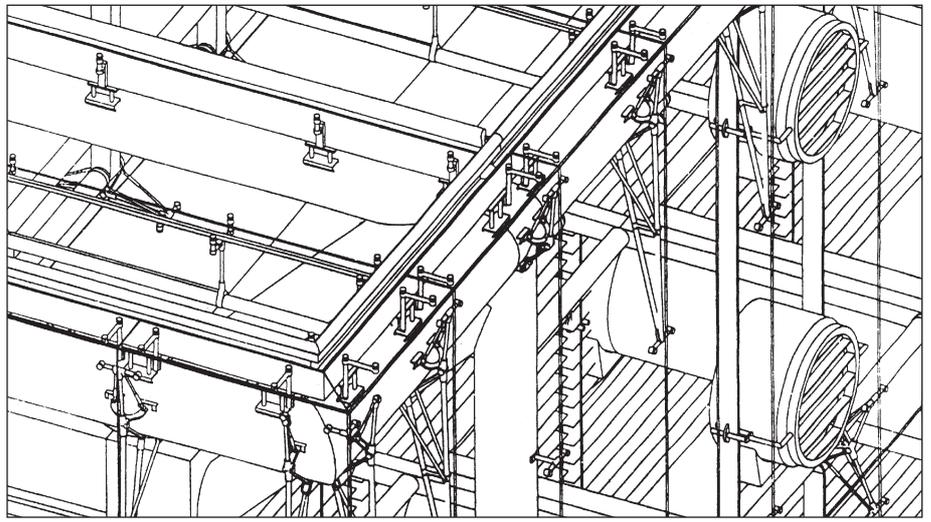
Beim Gebäudeentwurf – ob Baueingabe oder Wettbewerb – wird die Energie oft noch als «Stiefkind» behandelt. Man tut sich schwer mit dem rechnerischen Nachweis gemäss SIA-Empfehlung 380. Energiesparendes Bauen und gute Architektur schliessen sich indessen nicht aus.

Architekten: Auf zu neuen Ufern!

Die Architekten sind längstens gefordert: Beschattungseinrichtungen, Solar-Elemente und energieverbrauchsreduzierende Raumkonzepte können einem Bau nicht im Nachgang verpasst werden. Sie sollten im gedachten Ansatz bereits den ersten Wurf befruchten. Denn gute gestalterische und konzeptionelle Lösungen sind heute gefragt, um nicht später – in einer verflochtenen ArchitekturLandschaft – mühselige Korrekturen ergreifen zu müssen. Richtig ausgelegte Gebäude schaffen ein

Systemevaluation im ersten Projektapproach für ein Konferenzzentrum: Sonnenschutz, Statik, Haustechnik und Wartungssysteme sind bereits integriert (Architekt: Francis Soler, Paris)

Exemple d'intégration, dès l'avant-projet; des protections solaires, des installations techniques et du système de sécurité dans un bâtiment; le choix d'un bâtiment tout vitré reste discutable sur le plan énergétique (Architecte: Francis Soler, Paris; Ingénieur: YRM, Anthony Hunt Ass., Londres).



«hospitable environment» für Benutzer und Ausrüstung (Heizung, Lüftung, Beleuchtung, Brandschutz und Elektroversorgung): Damit auch ergonomischen Kriterien des Benutzers Rechnung getragen wird, sind Wärmelasten der EDV abzuführen, Niedrigglanzbeleuchtungen zu installieren und die individuelle System-Regulierbarkeit durch den Benutzer sicherzustellen.

«Facilities» gezielt lokalisieren

Bei Sicherheitszentralen, Postdiensten, EDV-Räumen, Empfang, Parkgaragen, dem Gebäudedienst, aber auch bei Restaurants, Konferenzsälen, Ausbildungsräumen, Garderoben, Kopierräumen, wie überhaupt bei jeder Form technisch hochinstallierter Zentralen, ist es teuer, energieaufwendig und kompliziert, diese Anlagen dispers zu erstellen und zu betreiben.

Aufgrund der Benutzerbedürfnisse kann ein frühzeitig – im Team mit den Fachingenieuren – festgelegtes Konzept kritische Belastungen herabsetzen, zentrale Managementfunktionen zusammenfassen, beschränkte Zutrittsberechtigung garantieren und zentrale Anlagen energiekostensparend steuern.

Quellenhinweise:

- 1) «L'électricité à bon escient – les besoins», p. 42 ff; Pierre Chuard et Charles Weinmann; Verlag der Fachvereine; Zürich 1992
- 2) «Solares Bauen – Stadtplanung – Bauplanung», LOG ID Schempp-Krampen – Möllring, Rudolf Müller Verlag; Köln 1992
- 3) «Réduire des besoins en énergie électrique par une meilleure conception architecturale»; Charles Weinmann; Construction et Energie; Nr. 1/1991

● Regrouper les équipements techniques

Certains bâtiments sont pourvus de nombreux équipements techniques, assurant diverses fonctions (dispositif de sécurité, stores automatiques, réseaux informatiques). Certains locaux requièrent parfois une densité d'équipements particulièrement élevée (restaurants, parkings, salles de conférences, etc.). Concevoir et installer ces équipements de façon non-coordonnée est souvent inutilement coûteux. Sur la base des besoins propres des usagers, il est possible d'élaborer un concept général permettant de diminuer les périodes de fonctionnement critiques, de regrouper les locaux avec besoins particuliers autour des centrales, limitant ainsi les pertes de transport et permettant de réduire la consommation d'énergie. L'éclairage des locaux doit faire partie de ce concept général.

● Concevoir des équipements intégrés

Les équipements de distribution d'énergie, de sécurité, de protection incendie, les réseaux informatiques et les systèmes de recherche de personnes, rendent les bâtiments de plus en plus difficiles à gérer. Il est possible de faire de ces systèmes de précieux alliés, en ce qui concerne la gestion optimale de l'énergie dans les bâtiments, dans la mesure où ils permettent de réactualiser pratiquement en permanence les commandes des installations connaissant leur état instantané. L'utilisation de ces informations permet d'augmenter la durée de vie de ces installations, de réduire les coûts d'entretien, tout en limitant la consommation d'énergie et en améliorant le confort.

● Ressources énergétiques limitées

L'énergie a été utilisée, jusqu'à aujourd'hui, de façon abusive, comme si elle constituait une ressource illimitée. Au vu de l'augmentation constante de son coût, elle permet de rendre l'installation de systèmes de gestion centralisés du bâtiment avantageuse sur le plan économique, pour autant que la conception

architecturale du bâtiment prenne en compte celle-ci dès l'avant-projet. Grâce à une évaluation des systèmes, effectuée suffisamment tôt dans le cadre d'une planification intégrale, il est possible d'aboutir à une réalisation du bâtiment à meilleure satisfaction des usagers.

● Compétences et maîtrise de l'énergie

Tout comme en statique, en protection incendie et en sécurité, l'architecte doit acquérir une compétence accrue dans le domaine de la maîtrise de l'énergie. Bien qu'elle soit, aujourd'hui, principalement du ressort des spécialistes, l'utilisation optimale de la lumière naturelle et l'utilisation rationnelle de l'énergie, doivent devenir une préoccupation prioritaire des architectes: elles ne doivent, en tout cas plus être le fruit d'une mauvaise planification ou du hasard.

● Planification à l'aide d'outils de conception nouveaux

Les programmes informatiques, ainsi que les autres équipements expérimentaux (Laboratoire de lumière naturelle), sont des outils de conception et de dimensionnement, qui permettent de concevoir des installations techniques du bâtiment, fournissant de meilleures prestations à coût énergétique moindre.

Ces outils permettent de prévoir le comportement thermique des bâtiments, de déterminer la distribution de la lumière dans les locaux, de calculer les niveaux d'éclairage et les profils de température intérieur en été pour comparer ainsi différentes variantes du projet: ils doivent intervenir dès l'avant-projet. L'évaluation des différents composants et parties du bâtiment, de même que la confrontation des résultats, au sein d'une véritable équipe de projet (collaboration interdisciplinaire), permet de faire en sorte que l'ensemble de ces composants soit supérieur à la simple addition de chaque partie.

Nouveaux outils de conception: ciel artificiel et simulation

La «mise en lumière» des bâtiments est l'une des composantes essentielles de l'acte de projection architecturale. La complexité des phénomènes en jeu, trop souvent vécue comme une contrainte supplémentaire, peut aujourd'hui être abordée avec succès au moyen des nouveaux outils de conception et de dimensionnement issus de la recherche. Mis à la disposition des architectes, ceux-ci se révèlent comme autant de supports à leur créativité, et permettent de renforcer la cohérence de leur choix.

Quand intervenir?

Les décisions importantes en matière d'éclairage doivent être prises très tôt dans le projet: le simple bon sens dicte cela. Tout retard dans la prise en considération de ces problèmes aboutit généralement à des compromis insatisfaisants à bien des égards. A l'inverse, l'intégration de ces préoccupations dès la phase de l'avant-projet, permet d'enrichir considérablement le projet.

Pourquoi faire?

Les nouveaux outils de conception et de dimensionnement en éclairage naturel permettent, en premier lieu, d'éviter que des «erreurs» ne soient commises: la pratique montre que cela constitue déjà un progrès considérable.

Ils permettent de mettre facilement en évidence l'effet de l'environnement, de la taille et de la position des ouvertures, du type des menuiseries, de la couleur et de la clarté des revêtements de parois. Tous ces problèmes – trop souvent abordés de manière intuitive avec les lacunes que cela comporte – peuvent être maintenant circonscrits de manière rapide et efficace à l'aide des outils évoqués ci-après.

Par ailleurs, et bien que la maîtrise des ambiances lumineuses ne doive pas se traduire forcément par une technologie coûteuse, il est aussi possible de concevoir, puis de vérifier et enfin d'améliorer les performances de systèmes plus complexes de lumière naturelle.

Maquettes à échelle réduite

Le premier des outils de prise en compte de la lumière naturelle est aussi celui qui est le plus familier aux architectes: il s'agit des maquettes à échelle réduite (1:20 à 1:50). Celles-ci permettent de visualiser rapidement les ambiances lumineuses internes. Au delà de cette information qualitative, les maquettes peuvent aussi servir à quantifier les «performances» des locaux. Pour cela, on dispose simultanément des sondes d'éclairage à l'intérieur de la maquette, de même qu'une

sonde de référence, à l'extérieur. On arrive ainsi à déterminer les niveaux de facteur de lumière du jour aux points considérés (1).

L'utilisation d'un ciel artificiel

L'utilisation d'un ciel artificiel ou simulateur de lumière diffuse (2) présente l'avantage de bénéficier d'une source extérieure calibrée et reproductible, ce qui permet d'une part de gagner considérablement en précision, et d'autre part, de pouvoir effectuer plusieurs séries de mesures dans des conditions identiques.

A l'inverse, les mesures par ciel réel, pour lesquelles la répartition des luminances et l'éclairage extérieur varient continuellement, ne sont généralement pas satisfaisantes et souvent délicates à interpréter.

Utilisation d'un héliodon

L'utilisation d'un héliodon (3), ou simulateur de lumière directe, permet aussi de caractériser les pénétrations solaires dans les bâtiments.

Cette information est très utile pour mettre en évidence les risques d'éblouissement. Le couplage avec une caméra vidéo autorise en outre la «visualisation en accéléré» du déroulement de n'importe quelle journée, et cela quelle que soit la latitude d'implantation du bâtiment.

Les résultats ainsi obtenus s'avèrent être des supports de communication très efficaces dans le dialogue entre le spécialiste en éclairage, l'architecte et le maître de l'ouvrage.

Modèles numériques et images synthétiques

La miniaturisation des qualités photométriques de certains éléments est toutefois souvent difficile à réaliser sur maquette (protections solaires, éléments de petite dimension, matériaux particuliers). Les outils informatiques (4) offrent l'avantage de permettre la modélisation de n'importe quel type de géométrie – avec une excellente précision. De plus, les outils les plus

Bernard Paule
Architecte

CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève

L'utilisation d'un ciel artificiel et de la simulation numérique offre la possibilité d'enrichir le projet: en lui donnant des garanties sérieuses sur ses performances vis à vis de la lumière naturelle (Maquette de l' Ecole du Val d'Arve, Genève; Architectes: Gillard et Associés, Succ. de Ph. Joye) ⁽³⁾

Heute können sich Architekten auf leistungsfähige Planungs-Werkzeuge abstützen: Architekturmodelle werden unter dem «künstlichen Himmel» untersucht und numerische Modelle oder Synthetische Bilder erleichtern frühe Planungsphasen eines Projektes.

performants sont organisés autour de bases de données photométriques incluant la plupart des matériaux utilisés dans les bâtiments, ce qui simplifie considérablement la modélisation. Il est donc possible, à l'aide de ces outils, de simuler toutes les configurations imaginables, et de réaliser des études paramétriques très poussées. Les résultats des simulations vont du simple profil de facteur de lumière du jour, à la visualisation en trois dimensions de la distribution de luminances. Par ailleurs, la possibilité est offerte de calculer différents indices de confort visuel, qui permettent d'évaluer la réponse des futurs utilisateurs face à l'environnement lumineux qui leur sera proposé; l'autonomie en éclairage naturel – synonyme d'économies d'énergie – peut aussi être déterminée.

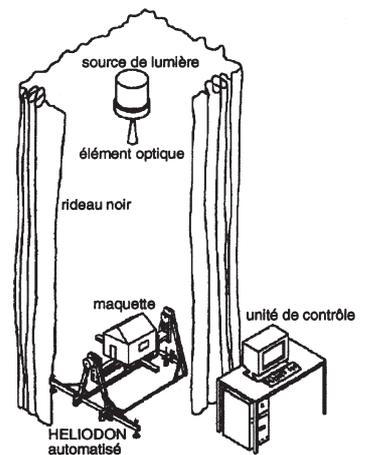
Références:

- 1) «Eclairage dans les bureaux», Manuel du programme RAVEL, Berne 1993
- 2) «Laboratoire de lumière naturelle», Programme interdisciplinaire LUMEN, Lumière naturelle et énergétique du bâtiment, Projet OFEN, J.-L. Scartezzini, L. Michel, C. Roecker, R. Rhyner.CUEPE/LESO 1994.
- 3) «Etude sur l'éclairage naturel d'une salle de classe de l'école du Val d'Arve», C. Granero, Ch. Jaggi, Gillard et associés, Succ. de Ph. Joye, Projet DIANE 4, Lumière naturelle,
- 4) «Outils informatiques en lumière naturelle», Programme interdisciplinaire LUMEN, Lumière naturelle et énergétique du bâtiment, Projet NEFF 435.2, J.-L. Scartezzini, R. Compagnon, G. Ward, B. Paule.CUEPE/LESO 1994



● Tageslichtstudien mit Modellen

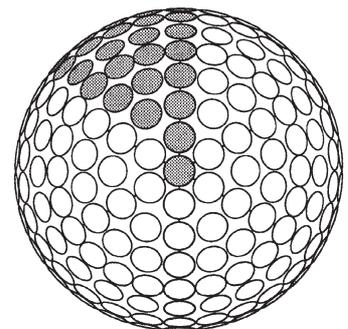
Architekten, die über Modelle verfügen, können wichtige tageslichtspezifische Studien in einem frühen Projektstadium im reduzierten Massstab untersuchen: Mit Modellen (in der Regel im Masstab 1:50 oder 1:20) kann das Tageslicht-Ambiente in einem Raum rasch und unkompliziert analysiert werden. Im Modell eingebaute Lichtsonden – gekoppelt mit einer Videokamera bzw. einem Tageslichtrechner – erlauben unter einem künstlichen Himmel oder unter einem Heliodon qualifizierte Aussagen: So über Blendung, Beschattung oder Tagesbelichtung für jede Tages- oder Jahreszeit und jeden Ort auf der Erde. Heute können zur Simulation von Tageslichteinspiegelungen direkte Sonnenstrahlen nötigenfalls mit einem Laser visualisiert werden.



Simulateur de lumière directe. Représentation schématique des principaux composants.

● Numerische Modelle

Die Miniaturisierung photometrischer Qualitäten und Effekte (z.B. Sonnenschutzelemente, spezielle Oberflächenbeschaffenheiten, Reflexionen) ist im Modell manchmal eine knifflige Aufgabe. Diesem Umstand kann mit modernen Rechenprogrammen, denen die Grundlagendaten der wichtigsten am Bau verwendeten Materialien eingegeben wurden, begegnet werden. Ueberdies ist jede Öffnungsgeometrie auf dem Computer beliebig veränderbar.



Simulateur de lumière diffuse. Représentation schématique du ciel artificiel à balayage de 5 m de diamètre. Vue de dessus, seules les parties grises sont construites.

● Synthetische Bilder

EDV-mässig errechnete Tageslichtsimulationen können auch in komplexen Raumkonfigurationen wichtige Daten liefern. Mit synthetischen Bildern können die Tageslichtquotienten in Funktion der Raumtiefe, die Verteilung der Oberflächenleuchtdichten, eine Vorausberechnung der im Betrieb visuell Unzufriedenen sowie die Abhängigkeit von Kunstlicht generiert werden. Der Architekt optimiert in der Folge die entscheidenden Planungsparameter.

Un ensemble d'outils expérimentaux est disponible au LESO-PB: un simulateur de lumière directe (Héliodon automatisé) et de lumière diffuse (ciel artificiel à balayage), un confimètre visuel (caméra à haute définition, digitalisateur d'images, objectif endoscopique, programme permettant l'analyse des indicateurs de confort) pour les mesures de l'éclairage à l'intérieur de maquettes.

Dynamische Gebäude-simulationen mit Echtwetterdaten

Während der Vorstudien- und der Vorprojektphase werden beratende Ingenieure oft vor die Aufgabe gestellt, die Auswirkungen von verschiedenen architektonischen Varianten auf die Raumtemperatur im Sommer zu untersuchen. Eine Optimierung der Planungsparameter kann die Investitions- und Betriebskosten eines Gebäudes, den Komfort für die Benutzer sowie die Energie-Effizienz zu diesem Zeitpunkt gezielt beeinflussen. Statt dabei auf Erfahrung und Intuition zu vertrauen, werden Haustechnik und Gebäudehülle immer häufiger mit dynamischen Gebäudesimulationen optimiert. Anerkannte Programme liefern dafür schlüssige Resultate auf der Basis von Echtwetterdaten.

Die neue europäische Norm «Planungsrichtlinien für den Gebäudekomfort» will das Wohlbefinden in Gebäuden künftig mit einem integralen Komfortwert bemessen. Architekten und Gebäudeplaner stehen damit vor der Herausforderung, Bauwerke nicht nur punkto Kosten- und Energieverbrauch, sondern auch bezüglich Komfort zu optimieren. Computergestützte Planungswerkzeuge eröffnen dazu neue Möglichkeiten, um die Vielzahl komplex zusammenhängender Einflussfaktoren in Einklang zu bringen.

«Was wäre wenn»-Simulationen

Bei raumthermischen Simulationen wird das zu bauende Gebäude als numerisches Modell definiert. Die Raumtemperaturen und deren Schwankungen werden so berechnet, wie sie sich aufgrund der Aussenkonditionen und der Nutzung der Räume einstellen. Es lassen sich auch externe Einflüsse und Speichervorgänge in massiven Bauteilen berechnen. Durch Veränderung der Parameter können Varianten untersucht und Fragen etwa folgender Art beantwortet werden:

- Wie wirken sich bauliche Massnahmen aus (z.B. schwere oder leichte Bauweise, verschiedene Glasanteile)?
- Welchen Einfluss hat die Beschattungsanlage auf das Raumklima?
- Wie gross ist der Einfluss verschiedener Internlasten auf die Raumtemperatur?
- Ist Raumkühlung nötig oder nicht?
- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Lüftungs- und Klimasysteme?
- Wie gross ist deren Energieverbrauch?
- Wie ist Komfortoptimierung möglich?

Vorteil bei grossen Externalitäten

Mit bis anhin üblichen Rechenmethoden waren schlüssige Antworten auf diese Fragestellungen nur begrenzt möglich, da diese von stationären Bedingungen ausgingen. Weil in Simulationen externe Einflüsse besser berücksichtigt werden, liegt der Einsatzschwerpunkt von Simulationen dort, wo diese externen Einflüsse

bedeutend sind (z.B. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Gebäude mit nicht zu hoher interner Wärmelast).

Einfache Programme sind verfügbar

Die Berechnung von Raumtemperaturen kann mit den verschiedensten in der Schweiz käuflichen Programmen durchgeführt werden. Einfache Programme (z.B. dynamische 1-Zonen-Simulationsprogramme wie Helios-PC) berechnen das thermische Verhalten eines Gebäudes unter Berücksichtigung der kurz- und langwelligen Strahlungsvorgänge. Das Helios-Programm liegt als PC-Version vor. Diese Programme eignen sich speziell für:

- Berechnungen des Temperaturverlaufes in Funktion des sommerlichen Wärmeschutzes von Räumen
- Berechnungen der Heiz- und Kühllast sowie des Energiebedarfs von Räumen
- Abschätzung passiver Solargewinne wie etwa Direktgewinne durch Fenster und/oder Absorberwände.

Typische Funktionseinheiten und keine Extremräume wählen

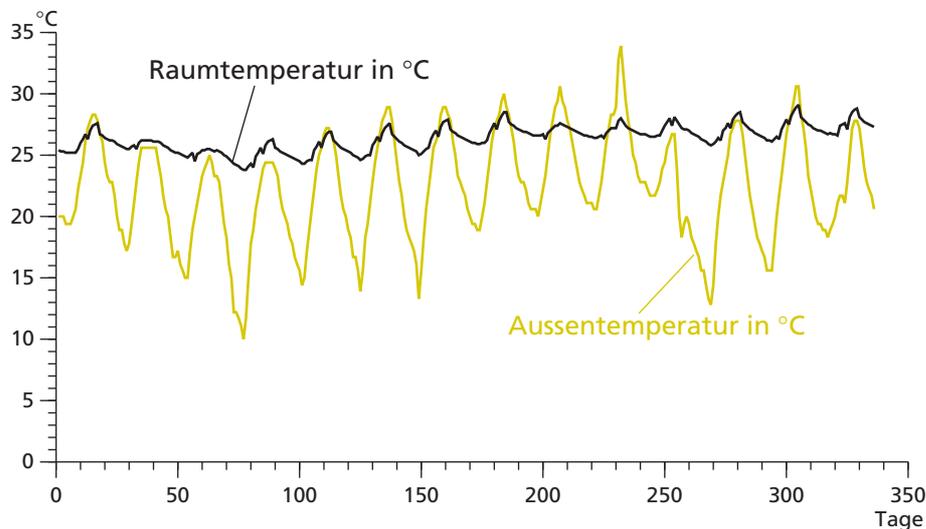
Um den Rechenaufwand in Grenzen zu halten, wird man im allgemeinen einen oder mehrere Referenzräume festlegen, die funktionell typisch für einen Grossteil des Gebäudes sind. «Extremräume» werden nötigenfalls durch entsprechende Variation der Eingabegrössen oder durch separate Berechnung simuliert. Benötigte Unterlagen sind: Standort und Orientierung des Gebäudes, Angaben zur Bauweise, Glastypeen, Art des Sonnenschutzes, Nutzung der Räume, innere Wärmelasten, Lüfterneuerungsraten (am Tag und in der Nacht) sowie installierte Apparate und Hinweise zur Umgebung.

Komplexer Input für Gebäudestruktur und Nutzung

Im Auftrag des United States Department of Energy (DOE) wurde Anfang der 80-er Jahre in den USA am Lawrence Berkeley Laboratory das DOE-Programm entwickelt

Simulationsberechnung eines Büroraumes: in warmen Sommerperioden schaukelt sich die Raumtemperatur (in °C) auf. Dies leicht phasenverschoben und mit gedämpften Spitzen gegenüber der Aussentemperatur – bis Erträglichkeitsgrenzen (obere Temperaturwerte) überschritten werden. Die Menge der «Hitzetage» zeigt, ob mit konstruktiven oder installatären Massnahmen korrigierend auf den Raumklimakomfort einzugreifen ist.

Simulation dynamique de la température intérieure d'un bâtiment: l'étude de périodes critiques sur le plan du confort thermique peut être réalisée.



und auch in der Schweiz eingeführt und verifiziert.

Das heute verfügbare DOE-2 Programm (Version DOE-2.1E) ermöglicht dynamische Simulationen des Energiehaushaltes von Gebäuden. Als Eingabedaten werden detailliert angegeben: die Gebäudestruktur (Materialien, Schichtstärken), Fassadengeometrie, Orientierung, Personenbelegung und Betriebszeiten. In einem zweiten Schritt werden Haustechnikinstallationen definiert. Zudem werden Meteodaten (Temperatur, Wind, Feuchte, Sonneneinstrahlung) benötigt, welche für die Schweiz erhältlich sind.

Output: Komfortdaten und Verhalten bezüglich Energiehaushalt

Die Berechnung des Energiehaushaltes erfolgt während eines wählbaren Zeitraumes in stündlichen Schritten. Dabei werden relevante interne und externe Einflussfaktoren berücksichtigt (extern: Meteodaten, intern: Beleuchtung, Personenbelegung, Apparate). Die dynamischen Wärmetransportvorgänge in Bauteilen werden dabei durch Übertragungsfunktionen (weighting factors) simuliert.

Das DOE-Programm (ähnliche Ergebnisse liefern «TRNSYS» oder «Quick») eignet sich speziell für folgende Fragestellung:

- Genügt der sommerliche Wärmeschutz von Räumen den Anforderungen an den thermischen Komfort?
- Was bringen dynamische Beschattungen und Lichtsteuerungen von anschliessenden Räumen mit verschiedenen Temperaturzonen (z.B. Wintergärten oder Atrien)?
- Welchen Energiebedarf (Heiz- und Kühllastberechnungen) haben unterschiedliche HLKK-Systeme?
- Welche passiven Sonnenenergiegewinne durch Fenster oder über Absorberwände sind möglich?

Ziele zu Beginn definieren

Festzulegen bei Arbeitsbeginn ist die interessierende Fragestellung. «Alibi-

berechnungen», die auf die Bestätigung einer bereits gewählten oder bewährten Lösung zielen, sind wenig sinnvoll.

Simulationsaufwand: je nach Bedarf

Für einfache Fragestellungen (z.B. Berechnung der Auswirkung verschiedener Sonnenschutzsysteme und Bestimmen der Kühlleistung) wird kostengünstig z.B. das Helios-Programm eingesetzt. Die Bearbeitungszeit (ein Raum, 2–3 Varianten inkl. Kommentar) liegt bei einer Woche Arbeitszeit.

Aufwendigere Berechnungen (z.B. mit DOE-2) treiben Simulationskosten und Zeitbedarf in die Höhe (2–3 Varianten für 2–3 Räume, Bericht mit Empfehlung erfordern etwa 2–4 Wochen Aufwand). Die Bearbeitungszeit kann sich über Monate hinziehen, da oft «Komponenten- und Systemoptimierungen» mit Architekt und Bauherren nötig werden (3).

Um auch Raumströmungen und Temperaturschichtungen, welche für den Raumklimakomfort ebenfalls sehr wichtig sind, im voraus zu berechnen, steht heute das CFD (Computational Fluid Dynamics) zur Verfügung. Damit sind auch stark instationäre Vorgänge und Zustände z.B. in grossen Hallen mit guter Genauigkeit berechenbar. Der Bearbeitungsaufwand ist dabei grösser als für DOE-2-Simulationen.

Je klarer die Aufgaben zu Beginn umrissen sind, je optimierter ein Konzept bereits ist, desto rascher sind schlüssige Ergebnisse zu erwarten.

Quellenhinweise:

- 1) «Verpufft – erstickt – zum Leben erweckt – Auswirkungen neuer Komfortnormen auf das Gebäudedesign»; Beat Kegel; NZZ Nr. 202/1994
- 2) «Raumsimulationsprogramme – Möglichkeiten und Grenzen», Robert Gschwend; SI+A Nr. 32/1994
- 3) «Optimierung von Gebäudehülle und Haustechnik mit DOE-2», SEC-Zeitung; Winterthur, 1994

● Simulations dynamiques

Des programmes informatiques utilisables sur PC (Helios, DOE-2, TRNSYS, Quick etc.) permettent aujourd'hui de prévoir l'évolution dynamique de la température intérieure des locaux en fonction du temps ainsi que les besoins en chauffage ou en refroidissement.

● Des réponses parlantes ...

Les simulations dynamiques permettent de répondre aux questions suivantes, importantes sur le plan du confort estival:

- Quel est l'effet de la protection solaire?
- Quelle est l'influence de la façade et de structure massive de la construction?
- Quels sont les effets des charges thermiques internes?
- Que peut apporter la ventilation naturelle?
- Comment peut-on optimiser les paramètres de bâtiment?
- Quels sont les besoins réels sur le plan des installations?

● ... en une ou quelques semaine(s)

L'étude d'un bâtiment peut s'effectuer par l'étude du comportement d'un ou de quelques locaux types.

Pour l'élaboration de telles études il faut compter, selon les programmes utilisés, d'une à plusieurs semaines de travail.

Aide-mémoire für «Neuen Komfort mit Tageslicht»

Wo totale Transparenz in architektonischen Werken möglich und «totaler Komfort» wünschbar geworden ist, wird gerne übersehen, wieviel Haustechnik und Energieaufwand es braucht, um unsere Bauten zu belichten, zu belüften, zu kühlen oder zu heizen. Die Energie-Effizienz eines Gebäudes ist ein Ergebnis seiner architektonischen Konzeption, welche oft in den allerersten Strichen eines Entwurfes, in Situierung, Schnitt, Volumengliederung, Öffnungsdisposition oder auch Materialfestlegung definiert wird. Später optimierte Fassadenkomponenten und Haustechnik können die physikalischen Eigenschaften eines Gebäudes höchstens noch graduell - aber kaum mehr prinzipiell - verbessern.

Tageslichtnutzung

- Situationsbezüge ausnützen: Verbaugungsgrad, Orientierung, Volumengliederung, Umgebung mit Pflanzen, Wasserflächen, Hartbeläge
- Grundhelligkeit im Gebäudeinnern erhöhen und Gebäudeform tageslichttechnisch optimieren: Nutzungstiefe beschränken, Raumhöhe erhalten
- Zenitlicht einspiegeln (Atrien etc.)
- Nutzung tageslichtorientiert gestalten
- Grundriss optimieren (zoning)
- Öffnungen tageslichtunterstützend disponieren und Komponenten gezielt wählen (Lichtschwerter, Heliostaten)
- Lichtmengendosierung garantieren

Hitzeschutz, Energiehaushalt

- Direkte Sonneneinstrahlung je nach Orientierung verhindern: mobiler Sonnenschutz (g -Wert ≤ 0.15)
- innere thermische Lasten minimieren: gezielte Raumzonen bei unterschiedlichen Nutzungen bilden
- Energieverbrauch der Gebäudehülle richtig evaluieren und wennmöglich reduzieren: Aussenwände wärmedämmen, Isoliergläser, Fugen dichten
- Raumtemperatur durch Schwermassenspeicher stabilisieren; Raumtemperaturverlauf konstant halten
- Systeme energiesparend auslegen: Nachtauskühlung im Sommer durch richtig konzipierte Querlüftung

Visueller Komfort

- Optimale Lichtmengenverteilung im Raum anstreben (Licht oben einlassen)
- Informationsschwerpunkte gezielt ausleuchten
- blendfreie Räume planen: entblendete Seitenfenster, Lichtumlenkung zur Decke - Gegenlichtsituationen meiden
- korrekte Wahrnehmung erleichtern: Leuchtdichtekontraste beschränken (Textur, Form, Farbe und Struktur)
- Reflexe mildern: diffus reflektierende Oberflächen (Decke/Wand/Boden: 70%/50%/30% Reflexionsgrad)
- Sicht nach draussen erhalten

Lumière naturelle

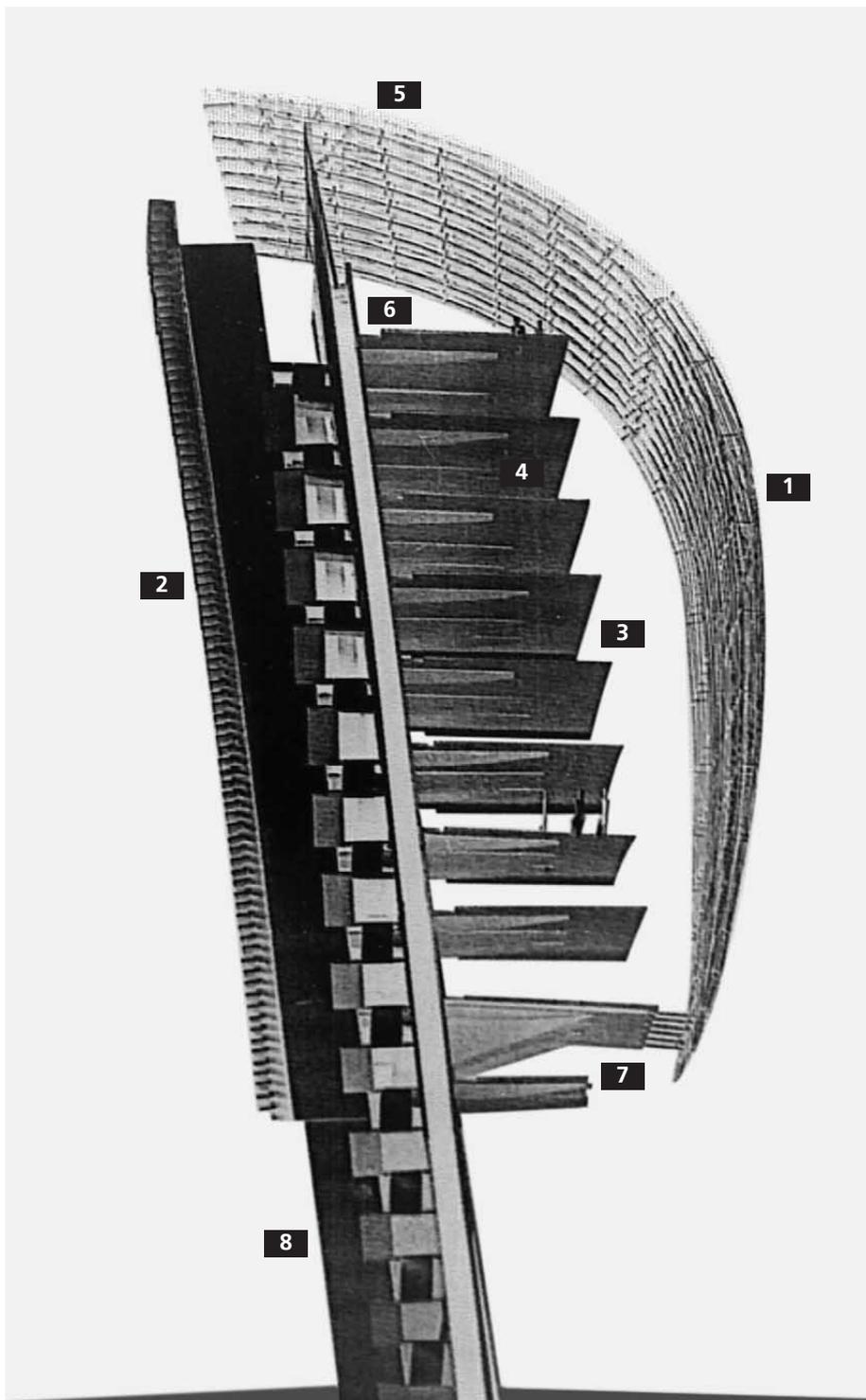
- *Tenir compte de l'environnement: orientation, constructions voisines, arborisation, nature du sol*
- *Disposer les locaux et les volumes en limitant la profondeur des espaces et en augmentant la hauteur près de l'ouverture (supprimer les linteaux)*
- *Profiter des possibilités d'éclairage à l'intérieur des volumes par des puits de lumière ou des atriums*

Energie - Protection solaire

- *en hiver, tirer profiter des apports solaires passifs*
- *en été, retenir rayonnement solaire direct par protection fixe ou mobile selon l'orientation (facteur de protection solaire: $g < 0.15$)*
- *éviter protections solaires entraînant l'usage de l'éclairage artificiel*
- *maîtriser charges thermiques internes*
- *choisir bonne isolation de la toiture et des façades (amortissement, déphasage)*
- *amortir les élévations de température par masse thermique suffisante de la construction (parois, sols, plafonds au moins 300 kg/m^3)*
- *évacuer chaleur résiduelle par ventilation nocturne naturelle.*

Confort visuel

- *rechercher répartition régulière de lumière dans le local.*
- *accentuer l'éclairage aux endroits qui le nécessitent le plus.*
- *orienter correctement les postes de travail pour éviter les éblouissements*
- *veiller à diminuer les contrastes de luminance, (pas plus de 1 à 3 à la tâche, pas plus de 1 à 10 dans l'ergorama et pas plus de 1 à 50 dans le panorama), par choix de matériaux à pouvoir de réflexion diffuse (texture, forme, couleur et structure)*
- *prévoir des coefficients de réflexion suffisants: sol 30%, parois 50%, plafond 70%*
- *maintenir contact visuel avec l'extérieur*



Modell eines im interaktiven Entwurfs mit Hilfe von dynamischen Simulationen (TRNSYS) optimierten Projektes: Computer-gestütztes Klima-Engineering hat in der Entwurfsphase dazu beigetragen, entsprechend lokalem Klima, verwertbaren Solar-gewinnen, Pufferzonen und sorgfältig evaluierten Design-Parametern das thermische Verhalten eines zehngeschossigen Bürogebäudes zu erfassen (Architekten: Kauffmann Theilig, Stuttgart; Engineering: Transsolar, Schwäbisch Gmünd)

- 1 Verglaste Nordfassade
- 2 TWD verkleideter Luftkollektor (Süden)
- 3 Lichtdurchflutete und natürlich belüftete Pufferzone
- 4 Büro mit photometrisch optimierter Geometrie und definierter Schwerspeichermasse
- 5 Sonnenschutz
- 6 Ventilationsöffnung
- 7 Haustechnik
- 8 Geröllspeicher

Quellenhinweis:

«Development and evaluation of a Low Energy Concept for a Glazed High Rise Office Building»; M. Schuler and A. Theilig in Solar Energy in Architecture and Urban Planning, 3rd European Conference on Architecture, Florence 1993

Sonnenschutz - Funktion, Systeme und Trends

In Bauten unserer Zeit sind herabgesetzte Raumhöhen, vergrösserte Fensterflächen sowie erhöhte Personen- und Gerätedichten die Regel. In diesem Kontext soll der Energieverbrauch für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung minimiert und der Komfort im Hinblick auf ein thermisch behagliches Raumklima sowie für bildschirmarbeitsplatzgerechte Beleuchtungen verbessert werden. Architektonische Gestaltungsmittel beeinflussen den Energiehaushalt eines Gebäudes unmittelbar. Dem Sonnenschutz kommt dabei eine Schlüsselstellung zu: durch fachgerechte Auslegung wird ein angenehmes Raumklima unterstützt, der Energieverbrauch gesenkt und der visuelle Komfort gesteigert.

Die Anforderungen an den Sonnenschutz sind vielfältig und teilweise widersprüchlich: Wie soll eine gezielte Wärmespiegelung ohne Einbusse an Tageslicht erzielt werden? Wie lässt sich der Anspruch an Durchsicht mit dem Wunsch nach Blendungsbegrenzung vereinbaren? Wie kann die Wärme-, Strahlungs- und Lichtdurchlässigkeit eines Sonnenschutzsystems in Abhängigkeit des Sonneneinfallswinkels, des Himmelszustandes und der Benutzerbedürfnisse gezielt angepasst werden?

Beschänkter Sonnenschein

In unseren Breitengraden liegt die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit im Durchschnitt unter 50%. Eine Sonnenschutzvorkehrung ist über das Jahr gesehen in der Schweiz während weniger als der Hälfte aller Tage nötig – fix montierte Sonnenschutzsysteme (Sonnenschutzgläser, feste Grosslamellen) sind darum fragwürdig.

Variable Sonneneinfallswinkel

Der Sonneneinfall verändert sich je nach Lage auf der Erdhalbkugel und in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit. In der Schweiz variiert der Sonnenhöchststand mittags zwischen Winter (19°) und Sommer (66°). Bei Sonnenstandsänderungen von 45° müsste ein Sonnenschutz tageszeitlich und saisonal reagieren können – was heute aufgrund fehlender Regulierungen, Motorik und nicht zuletzt mangels Benutzereinsicht noch selten der Fall ist!

Wärmespiegelung contra Tageslicht

Ein geeigneter Blend- und Sonnenschutz lässt möglichst viel Tageslicht in richtig verteilter Form in den Raum. Gebräuchlichen Sonnenschutzsystemen (z.B. Aussenjalousien, Sonnenstoren, Reflexionsgläsern, Vordächern) ist eigen, dass die aufgestrahlte Wärmeenergie auf Kosten der Tagesbelichtung von der zu schützenden Fassade abgehalten wird: meist reduzieren Sonnenschutzsysteme

den Tageslichteinfall etwa proportional zu ihrer wärmetechnischen Wirksamkeit. Kühllasten werden unnötigerweise zu Lasten des Lichteinfalls reduziert! Auch blenden waagrecht angeordnete Jalousien, Sonnenstoren und Vordächer den besonders lichtreichen Zenitanteil des bedeckten Himmels aus und reduzieren so den in den Raum fallenden Lichtstromanteil unerwünschtermassen zusätzlich.

Lichtdurchlass und Farbneutralität

Viele – aus klimatechnischer Sicht ideale – Sonnenschutzgläser und andere gängige Storensysteme verändern die spektrale Zusammensetzung des eintretenden Tageslichtes. Sie führen zu Farb- und Kontrastverschiebungen bei der Durchsicht nach draussen.

So täuschen etwa effiziente Sonnenschutzgläser nicht vorhandene Schlechtwetterverhältnisse vor (gloomy rooms). Wenn die Gläser dabei zuviel Sonne absorbieren, besteht die Tendenz, das Kunstlicht anzuzünden, was wiederum die inneren thermischen Lasten sowie den Stromverbrauch in die Höhe treibt. Auch Sonnenstoren warmer Tönung können bei schönem Wetter unrealistisch «warme» Lichtstimmungen suggerieren. Eine korrekte optische Wahrnehmung verlangt nach absoluter Farbneutralität im System.

Unerlässlicher Sichtkontakt

Je nach System schränkt ein Sonnenschutz auch den visuellen Kontakt zur Aussenwelt ein. Er kann dem Benutzer das Gefühl der Abgeschlossenheit vermitteln.

Während beispielsweise grosse Vordächer uneingeschränkten Aussenbezug gewährleisten, kapseln vor dem Fenster montierte Storensysteme den Innenraum oft von der Aussenwelt ab. Im Interesse des psychischen Wohlbefindens des Menschen ist genügend Sichtkontakt mit der Aussenwelt unerlässlich – und in Schweizer Industriebetrieben sogar gesetzlich vorgeschrieben. Diese Forderung ist legitim,

Sonnenschutzsysteme sind oft «Tageslichtvernichter»: An schönsten Sommertagen wird mit der Sonne zugleich das diffuse Tageslicht ausgeschossen. Nun muss das Kunstlicht eingeschaltet werden und die Wärmegewinne der Beleuchtung werden durch Kühlung «vernichtet».

Un système de protection solaire ne devrait pas empêcher la pénétration de la lumière naturelle.



weil der Tagesablauf im Innenraum rhythmisch und informativ richtig miterlebt werden soll.

Sonnenschutzwirksamkeit

Die Wirksamkeit eines Sonnenschutzes wird charakterisiert durch den Sonnenschutzfaktor, welcher den Prozentsatz der durch ein System durchgelassenen Sonnenstrahlung charakterisiert. Ein Sonnenschutzfaktor von 15% gilt als Minimalforderung.

Dieser Wert wird im Kanton Zürich für klimatisierte Gebäude vorgeschrieben. Allerdings wird ein «Verdunklungsfaktor» insofern fraglich, als er zur Einschaltung des Kunstlichtes an klaren Tagen nötig.

Helle oder dunkle Storen?

Die Farbgebung eines Sonnenschutzes hat auf die Wärmespiegelung und den Lichtdurchlass einen grossen Einfluss: helle Storen geben weniger Wärme ab, die Temperatur der Fensterglasoberfläche steigt weniger an: der Raumklimakomfort wird erhöht. Zudem transformieren helle Storen direktes Sonnenlicht besser in diffuse Strahlung (gleichmässige Raumausleuchtung). Bei gleicher Aussenbeleuchtungsstärke ergeben weisse, geöffnete Lamellenstoren die beste Tageslichtnutzung. Bezogen auf die Raumtiefe können dunkle gegenüber hellen Storen den Tageslichtquotienten um mehr als 50% verschlechtern. Dunkle verschliessbare Lamellenstoren ergeben bessere Verdunklungswerte (z.B. in Schulzimmern), wirken jedoch wegen starker Helligkeitskontraste bei Sonnenlicht störend.

Sonnenschutzgläser

In den letzten Jahren ist die Palette der lieferbaren Gläser kontinuierlich gewachsen. Lichtdurchlass (Transmission), Wärmestahlungsdurchlass (g-Wert), Wärmedurchlass (k-Wert), Lichtabsorption, Lichtreflexion und Farbton können in weiten Grenzen (auch gegenläufig) variiert und in ihrer Kombination für jedes Objekt mass-

geschneidert werden. Gebäudesimulationen erlauben, die Auswirkungen auf Heizung/Kühlung sowie künstliche Beleuchtung zu überprüfen. Damit wird es möglich, dem Architekten – bei gleicher Summe der Verbräuche – den maximalen Gestaltungsspielraum aufzuzeigen. Die Glasindustrie entwickelt weiterhin Sonnenschutzgläser von erhöhter Selektivität. Deren Selektivität (Lichtdurchlass \geq Wärmetransmission) ist nach wie vor so klein, dass ein leistungsfähiger Sonnenschutz umumgänglich bleibt.

Klassische Storensysteme

Helle Rafflamellenstoren mit horizontaler Lamellenstellung ergeben eine gute Raumausleuchtung auch in der Raumtiefe. Lamellenstellungen von 30° und mehr sind an Südfassaden bei ganz tief stehender Wintersonne kurzzeitig nötig. An Ost- und Westfassaden sind die Storen jedoch ganzjährig auf tieferen Sonnenstand einzurichten. An Südfassaden sind Lamellenstellungen von 0° (für eine Sonnenstandshöhe bis 40°) für optimale Tageslichtnutzung genügend. Die Praxis zeigt, dass wegen Blendung oder Streifeneffekten auf Bildschirmen die Lamellenstoren an schönen Sommertagen geschlossen werden und das Kunstlicht eingeschaltet wird. Der Beitrag an eine optimale Tageslichtnutzung wird bei klassischen Storen somit fraglich.

Mikroperforierte Storen

Im Ausland sind bereits verschiedentlich mikroperforierte Lamellenstoren eingesetzt worden: aus Verschmutzungsgründen vorzugsweise innerhalb von Twin-Face-Fassaden. Zwar haben diese Storen einen schlechteren Verdunklungseffekt; dafür lassen sie in ganz geschlossenem Zustand noch Tageslicht ins Rauminnere und erzeugen ein dem Gitterstoffstoren ähnliches Lichtmilieu. Bei fensternahen Bildschirmarbeitsplätzen sind jedoch mit mikroperforierten Storen Reflexe nicht auszuschliessen.

Lichtlenk-Lamellenbehänge

Eine vielversprechende Weiterentwicklung des preislich und konstruktiv nach wie vor konkurrenzfähigen Lamellenstorens liegt einerseits in optimierten Lamellenprofilen, die im teilgeschlossenen Zustand weichere Leuchtdichteübergänge erzeugen, sowie in Storensystemen, die zonal unterschiedlich schliessen.

Beliebte Screens

Da es zwei Möglichkeiten gibt, die Wärmestrahlung der Sonne aufzuhalten – durch Absorption oder Reflexion der Sonnenstrahlung – erreichen Gitterstoffstoren (Screen-Storen) in ihrer einfachen Kombination dieser physikalischen Gesetzmässigkeiten einen genügenden Blend- und Wärmeschutz - bei hinreichender Lichtdurchlässigkeit. Gitterstoffstoren sind je nach gewünschtem Lichtstrahlungsgewinn bzw. geforderter Wärmespiegelung in den verschiedenen Ausführungen erhältlich.

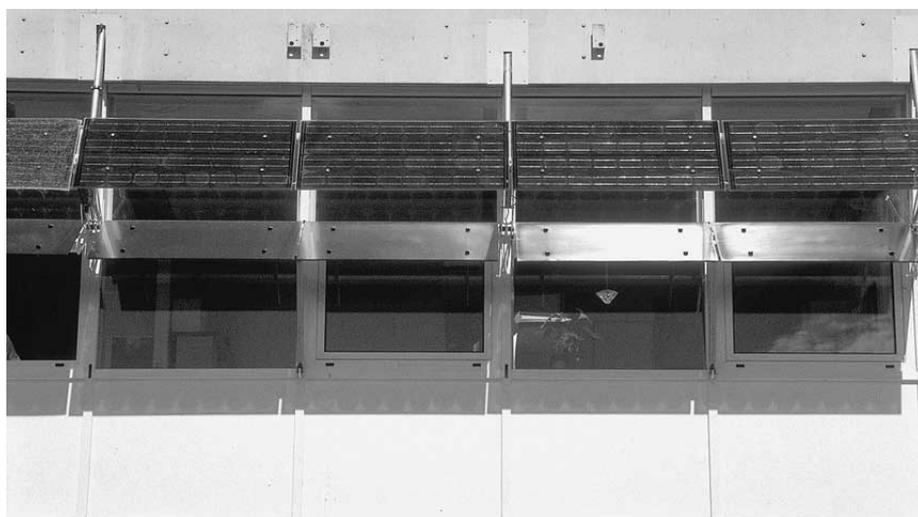
Gegenüber Lamellenstoren haben sie den Vorteil absolut streifenfreier Abschattung. Ihre Sturmsicherheit, Lebensdauer und Einsatzbreite sind allerdings beschränkt. Screenstoren sind zudem nicht als Wärmeschutzsysteme anzusehen. Obgleich sie die eingestrahlte Lichtmenge (Himmelsleuchtdichte) wirksam modulieren, halten sie direkte Wärmestrahlung (Sonne) nicht genügend vom Innenraum ab.

Bewegliche Grosslamellen

Bei Bauten mit Flucht- oder Wartungsbalkonen (Verwaltungsbauten, Labors, Schul- und Krankenhäuser, Universitäten) sowie über Atrien bieten sich schwenkbare Alulamellen aus Strangpressprofilen oder grossen Abkantprofilen an. Grosslamellen sind Gestaltungselemente von hoher Funktionalität. Sie verbinden den Vorteil des wirksamen Sonnenschutzes, der hohen Lichtreflexion mit jenem der Regulierbarkeit. Grosse Spannweiten (bis zu etwa 3.5 m) sind möglich. Hinreichende Windsicherheit sowie einfache Reinigung sind gegeben.

Fensterbeschattung durch transluzide Solar-Module, die sonnenstandsabhängig nachgesteuert werden. Tageslicht und Aussenkontakt bleiben erhalten. Ein aus der Brüstung hochziehbares Rollo gewährleistet Schutz vor Blendung (Institut LESO-PB, EPFL Lausanne; Architekt: Reto Miloni, Baden)

Brise-soleil sur une façade orientée plein sud, réalisée à l'aide d'éléments photovoltaïque semi-translucide (bâtiment LESO-EPFL). Des stores à rouleaux, situés en partie inférieure de la fenêtre, permettent à l'occupant d'éviter un éblouissement excessif.



Durch Abtrennung der äusseren Sonnenschutzebene von der Fassadenhaut reduziert sich die Oberflächentemperatur auf der Fensterscheibe. Dank grossen Lamellenbreiten wird der Beschattungswinkel gering gehalten. Während direkte Sonnenstrahlung ausgeblendet wird, kann diffuses Himmelslicht eintreten und der Sichtkontakt mit der Aussenwelt bleibt erhalten.

Selektiv wirksame Rohrgitter

Zur Abschattung lichtergiebiger Oberlichter wurde ein aussenliegender Rohrgitter-Sonnenschutz mit überzeugenden Leistungsmerkmalen entwickelt: Gitterrostpakete aus weissen Rohren können als ganze Rostpakete über einen mikroprozessorgesteuerten Antrieb dem jeweiligen Sonnenstand entsprechend in eine optimale Beschattungsstellung, eine Lichtlenkstellung oder maximale Lichtdurchlässigkeitstellung verschwenkt werden. Bedingt durch die Rohrgeometrie wird direkt auftreffende Sonne in unterschiedliche Richtungen reflektiert. Während sich die Direktstrahlung in diffuses Himmelslicht umwandelt und – unabhängig vom Himmelszustand und Sonnenstand – für blendfreie, gleichmässige und farbneutrale Raumausleuchtung sorgt, bleibt der Transmissionsgrad für Himmelsstrahlung unabhängig von der jeweiligen Schwenkstellung erhalten. Ein bescheidener visueller Aussenkontakt wird bei beliebigen Sonneneinfallswinkeln aufrechterhalten.

Reflexionsfolien

Innenliegende Systeme sind normalerweise als Hitzeschutz untauglich, da die einfallende Sonne in Wärme umgewandelt wird und im Raum bleibt. Eine Ausnahme bilden abrollbare Reflexionsfolien, die auf der Innenseite der Fenster anzubringen sind. Da Reflexionsfolien die Infrarotstrahlung reflektieren, bevor diese wärmewirksam wird, spielt der sonst bei Innensystemen auftretende Wärmefalleneffekt hier nicht.

Beim zweimaligen Durchgang durch die Gläser wird Wärme absorbiert und dadurch die Oberflächentemperatur der Fensterscheiben erhöht, sodass nicht von einem hundertprozentigen Sonnenschutz gesprochen werden kann. Hingegen garantieren Reflexionsfolien streifenfreien Blendschutz und können auf normalen Fensterprofilen oder sogar in der Zwischenverglasung von Spezialfenstern – auf Wunsch motorisch abrollbar sogar von unten nach oben – montiert werden.

Für den winterlichen Kälteschutz ist das System ebenfalls interessant: In der Nacht wird raumseitig auftreffende, langwellige Wärmestrahlung in den Raum zurückreflektiert und sorgt für einen erhöhten Wärmeeindringwiderstand (geringe k-Wert-Verbesserung).

Reflexionslamellen

Ein Sonnenschutz aus rahmenlosen, beweglichen Glaslamellen ermöglicht eine optimale Tageslichtnutzung. Glaslamellen werden mit parallelen Schwenkachsen entlang einer sonnenbeschienenen Fassade angeordnet.

Gegenüber herkömmlichen Sonnenschutzsystemen ist die Wirkung von Reflexionslamellen frappant: Dank einer

witterungsbeständigen Reflexionsschicht erzielen diese Lamellen gute Licht- und Strahlungstransmission und eine streifenfreie Abschattung der Fensterfläche. Wegen ihrer Teiltransparenz ermöglichen Glaslamellen im Gegensatz zu nicht-transparenten Systemen bei allen Betriebszuständen ungehinderte Sicht nach draussen. Bei vollständig bedecktem Himmel und hohem Sonnenstand, sowie in Zeiten, in denen die jeweilige Fassade von direkter Sonnenstrahlung nicht getroffen wird, können die Lamellen in Zenitlichtlenkstellung geschwenkt werden. Insgesamt verbessern Glaslamellen bei klarem Himmel und zur Sonne gerichteter Fassade den Blendschutz im fensternahen Bereich erheblich und gewährleisten bei bedecktem Himmel gleichmässige Beleuchtungsverteilung bis in die Raumtiefe.

Prismensysteme

Die Sonnenschutzwirkung von Prismensystemen basiert auf dem Prinzip der Totalreflexion von Strahlung an prismatischen, lichtdurchlässigen Plexiglas-elementen. Prismensysteme sind hochgradig selektiv: Sie gewähren reduzierten Lichtdurchlass bei totaler Wärmespiegelung (siehe auch «Optimale Arbeitsbedingungen mit Tageslichtsystemen»).

Wunschattribute von Sonnenschutzeinrichtungen

- Gute Wärmedämmung (k-Wert der Gläser < 1.3 W/m²K)
- Kühllastbeschränkung im Sommer durch guten Sonnenschutz (g-Werte < 0.15)
- Möglichkeit passiver Sonnenenergienutzung im Winter
- geringe Einschaltzeiten der künstlichen Beleuchtung
- keine Farbverfälschung (spektral-neutrale Tageslichttransmission)
- Blendungsbegrenzung und streifenfreie Fensterabschattung)
- hohe Lichtdurchlässigkeit – auch im Abschattungszustand
- Zenitlichteinspiegelung bei bedecktem Himmel
- Sicherstellung des Kontaktes zur Aussenwelt – auch bei abgesenkter Beschattung
- dynamische Anpassung an Saison, Tageszeit, Himmelszustand und Benutzerbedürfnis
- regeltechnischer Verbund mit Beleuchtungssystem
- Wirtschaftlichkeit, Dauerhaftigkeit sowie Allwettertauglichkeit
- platzsparende Bauweise, gute Raumausnutzung
- wirtschaftliche Fertigung und geringe Montagezeiten am Bau

Tageslichtnutzung ist in Industriebetrieben oft von vitaler Bedeutung. Diese verlangt nach einem möglichst lichtdurchlässigen Sonnenschutz hier z.B. dank transparenten Vordachlamellen im Uhrenbetrieb «Cartier», St. Imier (Architekt: Jean Nouvel, Paris)



Exemple extrême de protection solaire d'un bâtiment, réalisé à l'aide de lames horizontales fixes; la protection solaire n'est pas garantie sur les faces est et ouest (bâtiment Cartier, St.-Imier; architecte: Jean Nouvel, Paris).

Wann kommen «schlaue» Gläser?

Seit Jahren wird an Gläsern geforscht, deren Ziel «schlaue» Fenster sind. Dabei werden Beschichtungen und Materialien entwickelt, die im Sonnenlicht oder durch Anlegen einer elektrischen Spannung ihre Durchlässigkeit für sichtbares Licht und ihr Reflexionsvermögen für Wärmestrahlung verändern.

Derartige Verglasungen könnten sich innerhalb bestimmter Grenzen selbsttätig auf Sommer und Winter, Tag und Nacht, Sonne oder Wolkenhimmel einstellen – jeweils höchster Strahlungsgewinn bzw. beste Wärmespiegelung wäre gewährleistet. Noch sind diese photo- oder elektrochromatischen Gläser in gängiger Grösse und Dauerhaftigkeit nicht verfügbar.

Grösste Handmuster von industriell hergestellten elektrochromatischen Gläsern überschreiten Abmessungen von 50 x 100 cm derzeit nicht.

Quellenhinweise:

- 1) «Sonne und Architektur»; Georg D.W. Callwey; München 1962
- 2) «Climatic Design – Manual of tropical Housing and Building»; O.H. Koenigsberger, T.G. Ingersoll, A. Mayhew and S.V. Szololay; Longman Group Ltd; London 1973
- 3) «Bauphysikalisches Forschungsprojekt: Rolläden und Lamellenstoren – eine Zusammenfassung»; W. Geiger; VSR; Zürich, 1976
- 4) «Beeinflussung der Arbeitsbedingungen durch Sonnen- und Wetterschutzsysteme», H. Krueger und Ch. Schierz, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie; ETHZ; Zürich 1991
- 5) «Strom rationell nutzen», Bereich Sonnenschutz, S. 22 ff; Reto Miloni; Verlag der Fachvereine; Zürich 1992
- 6) «De l'usage judicieux des stores et rideaux», Jean-Bernard Gay, Flash EPFL, 2/94

● Des verres «futés»...

La recherche a permis de mettre au point des matériaux de vitrage, qui constituent de véritables «verres futés». Ces verres, revêtus ou constitués de plusieurs couches, peuvent modifier «automatiquement» leurs caractéristiques de transmission lumineuse, en fonction de l'éclairage extérieur (verres photochromiques) ou d'une tension électrique appliquée à leurs extrémités (verres électrochromiques). D'autres verres peuvent modifier de manière sélective leur pouvoir de réflexion de la chaleur (rayonnement infrarouge). Ces matériaux, encore au stade de laboratoire, doivent permettre de réaliser des vitrages, capables de s'adapter à des conditions météorologiques changeantes (ciel couvert – ciel serein, jour – nuit, etc.): une optimisation du captage des gains solaires et une réduction des pertes de chaleur nocturnes pourraient ainsi être réalisées. Ce type de vitrage n'est pas encore produit sur le plan industriel (dimensions et durabilité réduites); les performances de certains d'entre-eux doivent encore être améliorées (transmission par ciel couvert par ex.).

● ... en passant par les films holographiques ...

Une autre voie de recherche est celle des films holographiques: ces films sont destinés à être appliqués sur des vitrages conventionnels. Ils sont constitués d'un réseau infinitésimal (hologramme), qui permet de modifier le parcours des rayons lumineux par diffraction. La lumière directe peut ainsi être dirigée, vers les parties les plus sombres du local. Comme les systèmes prismatiques, ces dispositifs ont pour inconvénient de décomposer la lumière blanche: les couleurs de l'arc-en-ciel apparaissent ainsi sur les parois du local. Le développement de cette technologie prometteuse n'a pas encore atteint le stade de la production en série. Les efforts de recherche continuent en vue de produire des matériaux bon marché, possédant des caractéristiques

précises de redirection de la lumière en fonction de la position du soleil.

● ... pour réaliser des bâtiments optimaux sur le plan de l'énergie ...

Les protections solaires se sont malheureusement souvent transformées en éléments architecturaux pénalisant la lumière naturelle. Une bonne conception de ces dernières, encouragée par l'attrait nouveau de la lumière naturelle et la nécessité de réduire la consommation d'électricité des bâtiments, doit permettre de concilier la fonction de protection contre le rayonnement solaire (lumière directe) et la possibilité de capter la lumière naturelle (lumière diffuse). L'architecture nouvelle se doit de prendre en compte cette problématique.

● ... la voie est toute tracée!

Les mesures, permettant de réduire les besoins d'éclairage et de rafraîchissement des locaux, entraînent des économies financières tant à l'investissement qu'à l'exploitation. Les investissements, permettant de réaliser une enveloppe «intelligente» de bâtiment, sont généralement amortis à plus long terme, grâce en particulier à leur effet bénéfique sur le confort des usagers (augmentation de la productivité). Le coût actuel de la main-d'oeuvre diminue d'autant ce temps d'amortissement. Ces avantages individuels pour le maître d'ouvrage rejoignent les intérêts communs des citoyens, pour lesquels la réduction de la charge sur nos ressources et notre environnement est une garantie de survie à long terme (développement durable).

Optimale Arbeitsbedingungen mit Tageslichtsystemen

Dank Tageslichtsystemen ist die Forderung nach Optimierung des Sonnenschutzes und nach Maximierung des Lichteinfalls unter Berücksichtigung lichttechnischer Komfortanforderungen möglich. Die unterschiedlichen Forderungen an ein Fenster werden funktional und zonal entkoppelt. Raffinierte Tageslichttechnik – kombiniert mit einer raffinierten Kunstlichtregelung – erfüllt alle Wünsche einer energiesparenden und komfortablen Raumbelichtung. Der Blendschutz bei Tageslichtsystemen wird durch gezielte Lichtlenkung am Fenster erreicht: Je nach Raum, Arbeitsplatzanordnung, Sehaufgabe und Art der Lichtquelle wird Tageslicht in nichtstörende Winkel gelenkt – in der Regel zur reflektierend ausgebildeten Decke.

Klaus Buntkiel-Kuck
Dipl. Ing.
Siemens AG
Traunreut (BRD)

Umweltbezug und Hitzeschutz

Bei der Tagesbelichtung muss die Forderung nach «Verbindung zum Aussenraum» erfüllt werden. Neben dem reinen Ausblick geht es um Informationen über Tages- und Jahreszeit, Witterung, Lage und Raumausrichtung, die der Mensch durch den Wechsel von Helligkeit, Lichtfarbe und Lichteinfallsrichtung erhält – aber auch um Lichtstimmungen in Verbindung mit den Farben der Natur. Unerwünschtem Wärmegegewinn – der zur Raumaufheizung führt – und der extremen Leuchtdichte der Sonne – die zur Absolutblendung führt – wird bei Prismensystemen durch Reflexion der direkten Sonnenstrahlung begegnet.

«Transparenter Sonnenschutz»

Tageslichttechnische Systeme zielen darauf, die positiven Aspekte des Tageslichtes zu erhalten und negative weitgehend auszuschliessen. Unter dieser Aufgabenstellung sind verschiedene Tageslichtsysteme entwickelt worden, welche optische Gesetzmässigkeiten wie Reflexion, Transmission oder Brechung nutzen, um einerseits direktes Sonnenlicht auszublenden und um andererseits diffuses Tageslicht gezielt in den Innenraum zu lenken. Verschiedenen Tageslichtsystemen (Plexiprismen- oder Rastersystemen, Reflektoren) ist gemeinsam, dass sie den Vorteil hohen Lichtdurchlasses mit jenem selektiver Wärmereflexion verbinden.

Sperr- und Durchlassbereiche

Bei den gängigen Tageslichtsystemen aus Aluminiumrastern werden die Reflexionseigenschaften dieses Materials genutzt. Durch gezielte Formgebung wird ein Sonnenschutz- bzw. Lichtlenksystem konzipiert. Bei Kunststoffprismen werden die gute Transparenz des Acrylglases und die am Prisma geltenden Brechungsgesetze genutzt. Sonnenschutz bzw. Lichtlenkprismen unterscheiden sich hinsichtlich der verwendeten Prismenstrukturen und ihrer Einbaulage.

Aluminium Sonnenschutzraster

Beim Aluminium-Sonnenschutzraster wird der Sperr- und Durchlassbereich durch speziell geformte Lamellen erreicht. Im eingebauten Zustand verlaufen die Längslamellen von Ost nach West: die Öffnungen des Rasters sind nach Norden gerichtet. Die Lamellenform reflektiert die von Süden auftreffende direkte Sonneneinstrahlung. Intensives Zenitlicht und diffuses Himmelslicht gelangen nahezu ungehindert in den Innenraum.

Bewegliche Prismenvorhänge

Bewegliche Prismensysteme eignen sich besonders für senkrechte Fassadenbereiche: Auf der Innenseite der Fensteröffnung angebracht, entspricht das System gestalterisch und funktional einem Vorhang. Als Sonnenschutz befinden sich die Prismenlamellen vor der gesamten Fensterfläche. Um den freien Ausblick zu bekommen, können die Lamellen am Rand des Fensters zusammengefahren werden. Auf der Aussenseite werden bewegliche Prismensysteme nur in Teilbereichen des Fensters installiert. Durch die Trennung von Tageslicht- und Ausblicksöffnung werden beide Aspekte gleichermaßen berücksichtigt.

Sonnenschutz dank Totalreflexion

Bei Sonnenschutzprismen wird der Sperr- und Durchlassbereich durch die am Prisma geltenden Reflexionsgesetze bestimmt. An einem rechtwinkligen Prisma wird Licht, das unter 90° auf die Hypothenuse auftrifft, durch Totalreflexion zurückgeworfen. Um Prismen als Sonnenschutz einsetzen zu können, muss das Sonnenlicht zumindest in einer Ebene rechtwinklig auf Prismenflanken auftreffen. Da die Sonne im Tages- und Jahresverlauf ihre Position ständig verändert, müssen Prismen der Sonne nachgeführt werden. Dies geschieht durch elektronisch gesteuerte Antriebssysteme, welche eine genaue Nachführung des Sonnenverlaufs erlauben.

Durch Totalreflexion wird Licht an der Grenzschicht zwischen Materialien unterschiedlicher Dichte reflektiert. Der Umlenkwinkel, abhängig vom Dichteunterschied der Materialien, beträgt bei Plexiglas/Luft 45°. Prismen werden mobil mit sonnenstandsgerechter Nachführung oder fest eingebaut – hier als beweglicher Plexiprismenschild am Siemens-Pavillon der EXPO Sevilla.

Les panneaux prismatiques tirent profit des propriétés de réflexion totale de la lumière afin de rejeter le rayonnement solaire direct. Pour être vraiment efficace, ces panneaux doivent être mobiles et orientés en fonction de la position du soleil.



Energieeinsparung ist möglich!

Tageslichtsystemen ist eigen, dass sie das aus bestimmten Richtungen auftreffende Sonnenlicht aufgrund eines klar definierten Sperr- und eines Durchlassbereiches reflektieren – und diffuses Tageslicht durchlassen.

Aufhellung raumtieferer Zonen

Neben der Funktion des Sonnenschutzes gehört zu tageslichttechnischen Systemen auch eine effiziente Lichtlenkung. Lichtlenkende Elemente aus Aluminium-Reflektoren oder Umlenkprismen können unterschiedliche Funktionen erfüllen: Blendung durch extreme Himmelsleuchtdichten von bis zu 10'000cd/m² wird am Fenster wirkungsvoll verhindert: Bei senkrechten Fassaden durch Umlenkung des Tageslichtes an die Decke. Bei Oberlichtern wird das Tageslicht in unempfindliche Raumwinkel gelenkt.

Komfortgewinn dank Entblendung

Die Leuchtdichte der Fensterflächen wird bei Tageslicht-Systemen auf das für Bildschirmarbeitsplätze zulässige Mass begrenzt. Bildschirme können frei im Raum angeordnet werden, ohne dass es zu Direkt- oder Reflexblendungen kommt. Zudem kann die Verteilung des Tageslichtes im Innenraum gezielt verändert werden. Die in Fensternähe vorhandenen hohen Beleuchtungsstärken werden reduziert und in der Raumtiefe entsprechend erhöht. Die nutzbare Raumtiefe wird von den üblichen 3 m bis gegen 6 m erhöht.

Quellenhinweise:

- 1) «Tageslicht»; Tagungsband SLG-Tagung, Dok.-Nr. 800/89, Bern 1989
- 2) «Tageslichtsysteme»; Bunktkiel-Kuck, K.; Baumeister-Sonderheft «Fassaden»; Callwey Verlag, München 1993
- 3) «Tageslichttechnik»; Bunktkiel-Kuck, K.; Oswalt/Rexroth (Hrsg); "Wohltemperierte Architektur"; C:F:Müller; Heidelberg 1994

● **Utilisation de la lumière naturelle en vue d'économies d'énergie**

Un dispositif d'éclairage naturel doit, dans l'idéal, atténuer la lumière directe provenant du soleil et diriger celle-ci dans une direction appropriée. Il doit simultanément capter la lumière diffuse.

● **Eclairer les zones éloignées**

Un dispositif d'éclairage naturel doit, en plus de sa fonction de protection solaire, gérer la lumière diffuse de façon efficace. Pour les façades verticales, certains dispositifs (panneaux prismatiques, systèmes anidoliques) permettent de diriger la lumière naturelle vers le plafond: on évite ainsi l'éblouissement caractéristique de la proximité des fenêtres (luminances supérieures à 10'000 cd/m²). Les ouvertures zénithales (lanterneaux, sheds) permettent d'amener la lumière naturelle aux endroits peu sensibles à l'éblouissement (zones de circulation).

● **Amélioration du confort visuel**

La luminance des vitrages doit être limitée par des stores ou des rideaux, de façon à pouvoir tirer profit de la lumière naturelle sans porter préjudice aux postes de travail munis d'écrans. Ceux-ci pourront alors être placés dans chaque partie du local, sans risque d'éblouissement pour les utilisateurs. La distribution de la lumière naturelle dans le local doit être contrôlée: l'éclairage naturel de la zone près des fenêtres doit être réduit par rapport au cas conventionnel (fenêtres vitrées), alors que celui des zones éloignées doit être accru. La possibilité d'utiliser efficacement la lumière naturelle jusqu'à 6 m des fenêtres devient envisageable.

● **Dispositif de lumière naturelle**

Le choix d'un système de lumière naturelle dépend de l'objectif fixé. Certains dispositifs jouent le rôle de protections solaires (panneau prismatique mobile), d'autres permettent de diriger la lumière naturelle vers le fond du local (panneau prismatique fixe, système anidolique). Les

ouvertures zénithales permettent d'obtenir des locaux bien éclairés par la lumière du jour, sans utiliser de systèmes complexes (simple ouverture). Dans le cas d'ouvertures latérales, il est nécessaire de faire appel à des dispositifs complexes.

● **Intégration du système nécessaire**

Les dispositifs de lumière naturelle comprennent généralement des éléments optiques relativement complexes et délicats: l'humidité et la poussière surtout dégradent rapidement leurs performances. Une couche mince d'aluminium est déposée sur l'une des faces des panneaux prismatiques: elles augmentent le pouvoir de réflexion de la lumière directe et accroissent simultanément le pouvoir de réfraction du prisme, prépondérant pour ce qui concerne les rayons provenant de la partie supérieure de la voûte céleste (zénith).

Les systèmes anidoliques, qui constituent des déviateurs lumineux extrêmement performants, font appel à de l'aluminium de qualité optique, semblable à celui utilisé aujourd'hui dans les luminaires, pour réfléchir la lumière. Si les panneaux prismatiques peuvent être intégrés dans un vitrage isolant (dimensions de 206 x 206 cm) et assemblés par modules, ils sont, toutefois, protégés par des vitrages, qui ferment hermétiquement ces systèmes à leurs extrémités.

TWD als innovative Applikation für Fenster

Was zur thermischen Sonnenenergienutzung entwickelt wurde, erweist sich als vorzüglicher Baustoff für die verbesserte Tageslichtnutzung: Transparente Wärmedämmung TWD. Ihr Hauptvorteil gegenüber anderen Systemen besteht darin, dass TWD auch bei Altbausanierungen problemlos einsetzbar ist. Bei TWD handelt es sich um eine noch junge Technologie. Zur Zeit ist erst ein Produkt uneingeschränkt am Markt erhältlich: die Kapillarplatte mit Kunststoffkapillaren. Für Tageslichtnutzung einsetzbar sind auch Kunststoff- und Glas-Kapillarplatten, die demnächst auf den Markt kommen sollen.

Scheint die Sonne durch ein Fenster, beleuchtet sie die Fläche unmittelbar dahinter und nur ein beschränkter Lichtanteil wird in die Tiefe des Raumes reflektiert. Seit langem ist bekannt, dass weiss getönte Fensterscheiben (z.B. sogenanntes «Milchglas») die Ausleuchtung des Innenraumes verbessern, da das Sonnenlicht an der Scheibe diffus gestreut wird und Schatten sowie Leuchtdichtekontraste herabgesetzt werden: der Raum wirkt heller. Allerdings geht die Hälfte des Lichtes durch Rückstreuung nach aussen verloren.

Lichtleitung durch Kapillar- und Wabenstrukturen

Über den sogenannten «lichtleitenden Effekt», wie ihn Kapillarplatten und Wabenplatten aufweisen, lässt sich die Lichtausbeute verbessern. Kapillarplatten sind aus unzähligen, senkrecht zur Plattenfläche stehenden und dicht aneinanderliegenden Kapillarstücken von wenigen Millimetern Durchmesser aufgebaut. Aussen wird die Platte in einem Rahmen gefasst und beidseitig mit Glasscheiben abgedeckt (Doppel- oder Isolierverglasung). Durch Reflexionen an den transparenten Kapillarwänden (aus Acryl oder Polycarbonat) werden Lichtstrahlen in alle Richtungen aufgefächert, wobei wegen der Anordnung der Reflexionsflächen keine Rückstrahlung nach aussen möglich ist (abgesehen von Reflexionen an den Abdeckscheiben). Demnächst sollen Platten mit Kapillaren aus Glas auf den Markt gebracht werden, die vor allem bezüglich Brandschutz gegenüber dem heute handelsüblichen Kunststoff Vorteile aufweisen. Wabenplatten enthalten statt der runden Kapillaren eine rechteckige Gitterstruktur, arbeiten jedoch ansonsten nach demselben Funktionsprinzip.

Doppelter Energiegewinn

Verbesserte Tageslichtnutzung ist ein neuer Anwendungsbereich von TWD, welche ursprünglich entwickelt wurde, um mittels hoher optischer Transparenz

und guten Wärmedämm-Eigenschaften die Verluste bei der thermischen Sonnenenergienutzung (Kollektoren, Solarheizung) zu minimieren: Eigenschaften, die auch beim TWD-Einsatz im Fenster günstig sind. Der tiefe k-Wert bedeutet zusammen mit dem kleineren Bedarf an Kunstlicht doppelten Energiegewinn.

TWD und normale Fenster

Bei der Anwendung der TWD zur Tageslichtnutzung ist davon auszugehen, dass die Platten im Raum die Wirkung eines Beleuchtungskörpers haben. Sie sind entsprechend auf die Fassadenfläche zu verteilen. Allerdings erlauben sie keine klare Durchsicht und müssen deshalb in der Regel mit normalen Fenstern kombiniert werden.

Dank individueller Ausgestaltung...

Die TWD-Elemente können den Bedürfnissen des Fassadengestalters entsprechend individuell in unterschiedlichen Formaten, Stärken und Glas-Arten als Abdeckscheiben ausgestaltet werden. So bilden sie ein ästhetisch ansprechendes gestalterisches Element und erlauben interessante Fassadengestaltungen und Lichtspiele.

TWD im Fensterbereich eignet sich auch für die Sanierung von Altbauten aus den Sechziger- und Siebzigerjahren (mit grossen Fensterflächen). Es ist zu berücksichtigen, dass die Platten, vor allem wenn ein guter k-Wert verlangt wird, grössere Dicken aufweisen als normale Verglasungen, und dass bei den Rahmen entsprechende Profile zu wählen sind. In stark sonnenexponierten Fassadenbereichen ist eine Beschattung vorzusehen.

... überall am Gebäude einsetzbar

Der Beleuchtungseffekt ergibt sich vor allem bei sonnenbeschienenen Fassaden, also solchen mit Süd-, Ost- und Westausrichtung. Aber auch bei Nordfassaden oder im Dachbereich (Oberlichter, Abdeckungen von Atrien, Shed-Dächer) sind TWD-Platten vor allem zur besseren

Dr. Franz Mühlethaler
Dipl. Phys.
Infraconsult AG
Bern

TWD führt bei Fenstern zu einer neuen Art der Raumwahrnehmung. Die Sicherstellung des Blend- und Sonnenschutzes sollte trotzdem nicht ausser Acht gelassen werden (WWF-Gebäude in Zürich. Architekt: Zimmermann, Cole+Partner, Dietikon)

Les matériaux d'isolation translucide permettent de transformer un vitrage en une source lumineuse diffuse de grande dimension.



Wärmedämmung der Glasflächen einsetzbar. Als zusätzlicher Sichtschutz (Bäder, WC's etc.) kann in das Element ein Glasvlies eingelegt werden. TWD setzt im Gegensatz zu anderen Systemen der Tageslichtnutzung keine zusätzlichen Installationen zur Lichtführung im Raum voraus. Sie enthält abgesehen von einer eventuellen Beschattung keine beweglichen Teile, braucht keine Steuerung und ist wartungsfreundlich.

Internationale Forschung läuft

TWD ist heute Gegenstand intensiver internationaler Forschungs- und Entwicklungsarbeit. In der Schweiz und zahlreichen anderen Ländern stehen Demonstrationsobjekte. Die relativ junge Anwendung zur Tageslichtnutzung wurde in Deutschland schon an mehreren Gebäuden mit Erfolg demonstriert. Es stehen heute Simulationsprogramme zur Verfügung, die dem Architekten die Bestimmung der Lichtverhältnisse in einem beliebigen Innenraum eines Gebäudes mit TWD-Elementen an der Fassade erlauben. Auch die wärmetechnischen Verhältnisse lassen sich auf dem Rechner simulieren. So ist für jede Raumkonfiguration die optimale Anordnung der TWD-Flächen bestimmbar.

Quellenhinweise:

- 1) «Economy of Transparent Insulation Materials through Thermal Comfort, Daylighting Performance and Energy Saving»; W.-S. Wilke; 2nd European Conference on Architecture; Paris 1989
- 2) «TWD zur Tageslichtnutzung»; F. Sick; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme; Freiburg 1993
- 3) «A Study of the Visual Qualities of Transparent Insulation Materials»; A.G. Lien et al; 6th International Transparent Insulation Meeting; Birmingham 1993.

● Isolation translucide

Les matériaux d'isolation translucide transmettent la lumière de manière diffuse et, pour certains, partiellement de manière régulière (transparence); ils possèdent, par ailleurs, des qualités d'isolation thermique intéressantes. Ce sont des matériaux particulièrement appropriés aux fenêtres des locaux pour lesquels la transparence est indésirable (salles de bain, cages d'escalier, etc.). Ils permettent, par ailleurs, d'accroître l'efficacité énergétique des ouvertures pour lesquelles la vision vers l'extérieur n'est pas absolument indispensable (couverture partielle d'atrium, sheds etc.).

● Photométrie complexe

Suivant la constitution du matériau (structure en polycarbonate, bulles d'air, nid d'abeille, etc.), le jeu de la lumière dans ce dernier peut être complexe. On peut assister à des réflexions et à des déviations des rayons lumineux, entraînant des effets d'éblouissement sur sa partie arrière; l'avant apparaît toujours comme une surface opaque de couleur blanche et uniforme.

● Nids d'abeille, structures capillaires, Aérogels

Les matériaux d'isolation translucide, composés de structures en nid d'abeille ou de capillaires, permettent d'améliorer faiblement l'utilisation de la lumière naturelle. Ces matériaux permettent surtout au vitrage de se comporter comme une source lumineuse uniforme de grande dimension et d'améliorer, en conséquence, les possibilités d'éclairage naturel à faible niveau d'éclairage. Les structures cylindriques, qui composent ces matériaux, guident en partie la lumière naturelle. Leur transmission est, toutefois trop faible pour faire de ces matériaux des dispositifs efficaces de gestion de la lumière du jour. Les tuiles d'aérogel possèdent des propriétés optiques diamétralement différentes. Elles sont constituées d'une matrice d'aérogel de silice (constituant du

sable et du verre), qui a pour particularité d'être transparente à la lumière.

On trouve aussi des panneaux, composés de billes d'aérogel, qui sont translucides. Ces éléments sont caractérisés par un grand pouvoir d'isolation thermique: une tuile d'aérogel de quelques centimètres d'épaisseur est pratiquement aussi performante thermiquement qu'un mur isolé. Ces matériaux ne sont pas encore commercialisés à grande échelle; leur emploi en éclairage naturel pour des surfaces horizontales paraît prometteuse.

● Possibilités d'utilisation multiples

Les matériaux d'isolation translucide améliorent, avec un surcoût minimum, la qualité thermique de l'enveloppe d'un bâtiment: leurs possibilités d'application dans le domaine des fenêtres et des façades sont étendues. Leur intégration aux vitrages permet de combiner ces derniers avec d'autres éléments de façade conventionnels. Contrairement à d'autres systèmes, ces éléments ne demandent pas de conditions préalables pour leur installation. Leur application est a priori possible aux espaces habitables, comme aux bâtiments administratifs et industriels.

● La recherche continue

Les matériaux d'isolation translucide font l'objet de nombreuses recherches au niveau international. Un nombre important de bâtiments de démonstration a été réalisé. De nos jours, des programmes de simulation sont à disposition des architectes; ils permettent d'évaluer les conditions d'éclairage intérieur des locaux associés à ce genre de matériau. D'autres permettent de calculer le comportement thermique de ces locaux. Il est ainsi possible de prévoir la configuration optimale de ces composants d'isolation translucide sur le plan thermique et lumineux.

Natürliche Beleuchtung mit lichtlenkenden Hologrammen

Holographisch-optische Elemente (HOE) werden als lichtlenkende Filme in Verbundglas (VSG) eingebettet.

Durch den physikalischen Effekt der Lichtbeugung ermöglichen sie ohne nennenswert geminderte Strahlungstransmission unterschiedliche Formen der Lichtlenkung. Die optischen Qualitäten von dreidimensionalen Spiegeln, Prismen, Linsen und anderen optischen Elementen werden durch Laserbelichtung auf hochempfindliche Filme abgebildet.

Die Verfahren zur Serienfertigung transparenter Bauteile mit integrierten HOE werden derzeit optimiert. Die Langzeitstabilität belichteter Filme darf heute vorausgesetzt werden.

Der bedeckte Himmel herrscht in unserer Klimazone vor. Er stellt die kritische Randbedingung für die Raumbeleuchtung mit natürlichem Licht dar. Da die Leuchtdichteverteilung eines bedeckten Himmels nicht gleichmässig ist, sondern vom Horizont zum Zenit etwa um den Faktor 3 zunimmt, ist diffuses Zenitlicht besonders interessant für die Raumbeleuchtung. Die intensivste Nutzung dieses Lichtangebotes ist über Öffnungen in horizontalen oder flach geneigten Dächern möglich. Um eine ausgeglichene Beleuchtungsstärke in der Arbeitsebene zu erzielen, müssen Oberlichtöffnungen zur Verminderung von Helligkeitsschwankungen gleichmässig über die Dachfläche verteilt sein.

Lichtlenkende Seitenfenster

Bei mehrgeschossigen Gebäuden wird die Mehrzahl der Arbeitsplätze durch Öffnungen in der Fassade von der Seite her mit Licht versorgt. Entsprechend ist die Tageslichtbeleuchtung gerichtet und ungleichmässig. Hologramme in der Fensterebene, die das Licht aus dem (vertikalen) Zenitbereich umlenken, bewirken eine ausgeglichene Lichtverteilung im Raum. Da vom Zenit keine und aus der Nähe des Zenits nur sehr kleine Flächen der Seitenfenster zu sehen sind, ist das Lichtangebot aus dem Zenitbereich je Quadratmeter Fensterfläche deutlich kleiner als bei horizontalen Fensterflächen im Dach.

Idee: «Glaspaddel» an Fassaden

Für senkrechte Bauteile empfiehlt sich darum das Ausklappen von grossen Lichtempfangsflächen, sofern diese das besonders ergiebige Zenitlicht in den Raum umlenken.

Dies ist mit holografisch beschichteten «Glaspaddeln» möglich, welche frei vor der Fassade montiert oder nachgerüstet werden können. Auf diese Weise lässt sich die lichtbestrahlte Oberfläche eines Gebäudes vergrössern, ohne dass seine wärmedämmende Hülle mitwächst.

«Solarspots» in Dächern

Durch Lichtöffnungen in Dächern kann die Sonnenstrahlung passiv – d.h. ohne bewegliche Teile – auf bestimmte Bereiche im Gebäude gelenkt werden. «Sonnenscheinwerfer» mit holographischen Gläsern lassen sich mit pyramidenförmigen Dachfenstern realisieren. Die einzelnen Glasfacetten des Dachoberlichts haben dabei variable Umlenkwinkel für die einfallende Sonnenstrahlung.

Durch eine enge Streucharakteristik der Hologramme können die jahreszeitlich wechselnden Höhenwinkel der Sonne weitgehend kompensiert werden. Im Vergleich zu nachführbaren Heliostaten weisen «Solarspots» entsprechend keine parallele Umlenkung des Sonnenlichts auf.

Durch den Einsatz lichtlenkender Hologramme im Glas lassen sich auch bei kleinen und in der Dachfläche konzentriert angeordneten Lichtöffnungen gleichmässige Beleuchtungsverhältnisse im Raum erzielen. Selbst lichtstreuende Gläser verteilen das Licht weniger gleichmässig im Raum als gezielt umlenkende Hologramme.

«Solarleuchten» für Büros

Trotz des grossen Lichtangebots durch den klaren Himmel und die Sonne muss in Bürogebäuden häufig das Kunstlicht eingeschaltet werden, weil Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen die natürliche Raumbeleuchtung beeinträchtigen. Lichtlenkende Bauteile mit Hologrammen können hier Abhilfe schaffen, indem sie die parallele Sonnenstrahlung an die Raumdecke richten, von wo das Licht gleichmässig und blendfrei auf die Arbeitsfläche zurückgestrahlt wird. Bei gezielter vertikaler und horizontaler Umlenkung der direkten Sonnenstrahlung brauchen nur kleine Fassadenflächen mit diesen «Solarleuchten» belegt zu werden. Nachführbare Spiegellamellen ermöglichen ein Regeln des Um-

Umweltgerechtes Bauen, bessere Raumqualität sowie Licht- und Farbgestaltung sind mit HOE möglich: in Stuttgart (IGA 1993) wurden mit PV-Modulen und Hologrammen bestückte Oberlichter in einem Wohnhaus realisiert (Architekten: HHS, Kassel)

Les hologrammes, intégrés à des vitrages, permettent de rediriger la lumière directe dans une direction plus appropriée; ils n'ont pas d'influence sur la lumière diffuse.



lenkwinkels und ein Dosieren der transmittierten Lichtmenge. Will man auf eine Regelmöglichkeit verzichten, so kann eine passive «Solarleuchte» verwendet werden, die keinerlei bewegliche Teile enthält. Das Sonnenlicht wird dann zu jeder Tages- und Jahreszeit gleichmässig zur Raumdecke umgelenkt. Gerichtet reflektierende Deckenoberflächen ermöglichen eine effektive und blendfreie Remission des Lichts. Eine erste Anwendung passiver Solarleuchten erfolgte im Büroneubau «Geyssel» in Köln (Architekt: Prof. E. Schneider-Wessling).

Ermöglichen HOE lichtdurchlässigen Sonnenschutz?

Verbundgläser mit holografisch optischen Elementen ermöglichen verschiedene Arten des Sonnenschutzes: richtungsbezogenes Ausblenden der direkten Sonnenstrahlung, spektrales Ausblenden beispielsweise der Infrarotstrahlung oder eine Kombination von richtungsbezogenem und spektralem Ausblenden. Maximale Sonnenschutzfaktoren von 20% bzw. 28% bei 15° zur Sonne verdrehten HOE-Paneelen sind möglich.

PV-Umwandlung überschüssiger Sonnenstrahlung

Wegen der vergleichsweise grossen Wärmelasten im Büro und an Arbeitsplätzen ist der Heizfall häufig von untergeordneter Bedeutung, während die Gefahr der Raumüberhitzung oder die Notwendigkeit der Raumkühlung im Vordergrund steht. Aus diesem Grund muss häufig ein Sonnenschutz vor dem Fenster eingesetzt werden. Zudem erfordert der Blendschutz an Arbeitsplätzen eine Reduzierung der Sonneneinstrahlung in den Raum. Aus den aufgeführten Gründen kann Sonnenenergie in Bürogebäuden am effektivsten für Tageslichtbeleuchtung genutzt werden (ganzjährig). Für eine solare Heizung von Büroräumen findet nur ein wesentlich kleinerer Anteil des Solarangebotes Anwendung. Die

überschüssige Sonnenstrahlung, die aus Gründen des sonnen- oder Blendschutzes zeitweise nicht dem Raum zugeführt werden kann, lässt sich durch photovoltaische Wandlung nutzen. Bei Einsatz fokussierender Hologramme kann der Flächenanteil der Solarzellen auf 50 bis 30% der lichtempfangenden Fläche reduziert werden.

● Eviter l'éblouissement

Des vitrages, munis d'un réseau holographique focalisant la lumière parallèle provenant du soleil, permettent de dévier celle-ci sur des éléments absorbants situés derrière le vitrage (cellules photovoltaïques par ex.). La surface de ces éléments est réduite par rapport à celle des vitrages (30% env.). Le reste de l'ouverture est transparente à la lumière diffuse; l'éclairage naturel du local est ainsi assuré. Son fonctionnement nécessite toutefois d'orienter continuellement l'hologramme face au soleil.

● Sélectivité spectrale

Un filtrage sélectif du rayonnement solaire, au travers d'éléments holographiques, est possible. La part du rayonnement, filtrée de manière sélective, peut être amenée sur des éléments absorbants mobiles. Il est ainsi possible d'éliminer la partie infrarouge du rayonnement solaire, en réduisant son intensité d'env. 28%, tout en gardant intact le spectre visible; on réduit ainsi la charge thermique des installations de froid. Le spectre entier du rayonnement solaire peut être transmis

Quellenhinweise:

- 1) «Entwicklung transparenter Bauteile mit holographischen Beugungsgittern», Gutjahr, J., Müller, H.: Schlussbericht des Forschungsvorhabens. BMFT-Förderkennzeichen 311-4003-0335003R, 1992
- 2) «Solartechnik für den klimagerechten Büroabau», Müller, H., DBZ 4/92
- 3) «Lichtlenkung mit Hologrammen», Müller, H., Clima Commerce International (CCI), 10/1993
- 4) «Eine intelligente Solarfassade», Müller, H. et al, HLH 44/1993

en cas de chauffage passif. Il est possible de filtrer d'autres parties du spectre (UV, couleurs) à travers ce procédé. Il est envisageable d'influencer, dans une certaine mesure, tant la couleur de la lumière à l'intérieur d'un local que l'apport énergétique du rayonnement solaire.

● Transformation photovoltaïque du rayonnement filtré

Le problème du chauffage dans les bureaux est souvent moins important que le problème du rafraîchissement, en raison surtout des gains internes importants qui se produisent inévitablement dans ce type de locaux. L'installation de protections solaires aux fenêtres est indispensable. La protection contre l'éblouissement nécessite de contrôler la pénétration de la lumière directe dans le local. Les bureaux se prêtent très bien à l'exploitation de la lumière naturelle pendant toute l'année. Le rayonnement solaire superflu, rejeté du fait de la protection solaire ou pour éviter l'éblouissement, peut être utilisé pour produire de l'électricité photovoltaïque (PV).

Licht- einspiegelung in fensterferne Zonen

Nicht nur fensternahe Zonen, sondern auch lichtabgelegene Innenräume sollten natürlich belichtet werden. Tageslichtnutzung ist zwar durch räumliche Mittel (z.B. Kammstrukturen, Atrien) möglich. Hingegen steckt die Anwendung optischer Hilfsmittel für die verbesserte Tageslichtnutzung noch in den Kinderschuhen.

Neue Tageslichteinspiegelungssysteme, welche den direkten Teil des Sonnenlichtes über längere Strecken einleiten, sind noch kaum bekannt.

Heute sind Systeme erhältlich, die besseren Tageslichtkomfort bei bescheidenem Energieverbrauch auch für abgelegene Innenräume ermöglichen. Dem interessierten Architekten eröffnet sich hier ein faszinierendes Einsatzgebiet. Denn eine vernünftige Tagesdosis gesunden Lichtes bis in den «Bauch der Gebäude» ist für jeden Nutzer so wichtig wie dessen tägliches Brot.

Mit leistungsfähiger Tageslichttechnik wurde bereits weltweit erfolgreich Tageslicht umgelenkt, der Blend- oder Sonnenschutz realisiert, die Wahrnehmung verbessert und die Tageslichtautonomie vergrößert. Dies vorab in Räumen direkt hinter der Fassade und bis zu 6 m Raumtiefe. Wenn es hingegen gilt, Räume natürlich zu belichten, die nicht direkt an einen Aussenraum, an Atrien, Lichthöfe etc. angrenzen, sind Tageslichtplaner mit ihrer Weisheit üblicherweise am Ende.

Tageslicht im «Bauch der Gebäude»?

Wenn bei tieferen Baukörpern nicht auf Tageslicht verzichtet werden soll, bleibt dem Architekten keine andere Wahl, als kammförmige oder mit Innenhöfen «durchlöchernde» Bebauungsstrukturen zu schaffen oder die Bautiefen a priori zu beschränken – ein relativ ungünstiges Verhältnis von gesamter Fassadenfläche zu Gebäudevolumen ist dabei die Folge, welches sich raumökonomisch, thermisch und wirtschaftlich ungünstig auswirkt. Darum wurde und wird noch immer bei erhöhter Bautiefe oft auf Tageslicht und natürlichen Komfort völlig verzichtet – oder die Beleuchtungs- und Klimaingenieure tendieren dazu, den nötigen Komfort mit künstlichen Mitteln und entsprechendem Energieverbrauch zu schaffen. Wer kennt nicht die von UV-Pflanzenleuchten kärglich am Leben erhaltenen Pflanztröge in den Eingangshallen internationaler Hotels, wer würde sich nicht an zappendustere Korridore in Büropalästen, Spitälern oder öffentlichen Verwaltungsgebäuden erinnern und wem wären nicht Verkaufsräume ein Begriff, wo nie ein Sonnenstrahl den Weg bis in die Regale findet!

Neue Technologie TL-Einspiegelung

Heute ist Tageslichteinspiegelung bis in die Tiefen ferner Korridore, Hallen etc. mittels Lichtwellenleitern, Spiegelsystemen oder Glasfaserkabeln möglich.

Heliostaten gibt es seit 2000 Jahren!

Schon die alten Ägypter benützten zur sauberen Ausleuchtung unterirdischer Gänge zu den Pharaonen-Gräbern Spiegel, welche von Menschenhand der Sonnenbahn nachgeführt wurden. Das umgelenkte Sonnenlicht leuchtete stets auf die gewünschte Fläche. Heliostaten sind Planspiegel, die das parallel einfallende Sonnenlicht ohne Konzentration in das Gebäude lenken. Deswegen muss die transparente Eintrittsöffnung am Gebäude mindestens so gross wie die Sammelfläche des Spiegels sein. Die in Pharaonengräbern vor 2000 Jahren angewendeten Prinzipien lassen sich heute mit motorisch angetriebenen, sensor- oder computergesteuerten Heliostatenspiegeln weitaus besser nutzen: Im Aussenbereich installierte, der Sonne automatisch nachfolgende Spiegel reflektieren im feststehenden Raumwinkel das Tageslicht durch Fenster oder andere transparente Öffnungen der Gebäudehülle. Im Inneren kann das Licht durch Umlenkspiegel an jeden gewünschten Ort – auch in die verwinkelte Tiefe des Gebäudes – geführt werden.

Lichtverstärkung oder Farbzerlegung

Im Endbereich installierte Streulinsen oder Sammeloptiken, Prismen, Linsen und Farbfilter können vielfältige Effekte von der Erhöhung der lokalen Helligkeit (Lichtverstärkung) bis hin zur farbspektralen Zerlegung («Künstlicher Regenbogen») erzeugen. Dem statisch einfallenden, nur mit der natürlichen Tageslichtschwankung variierenden Lichtfluss kann durch Kombination mit einer Vario-Optik eine dynamische Komponente überlagert werden: z.B. durch Reflexion an einem Spiegel, dessen elastische Membrane durch Luftdruckvariation kontinuierlich verändert wird. Damit sind unterschiedlichste Effekte wie die individuelle Einstellung der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz oder die Modulation der Helligkeit im Takte einer Begleitmusik möglich!

Sonnenlicht von der 6000 °C heißen
 Sonnenoberfläche ist für unsere
 Physiologie optimal und energie-
 sparend: Sonnenbeschienene Spiegel
 substituieren bis zu 600 W/m² Lichtlei-
 stung. Das Sparpotential im
 tageslichtdurchfluteten Flughafen
 Stuttgart liegt pro m² Heliostat mit
 1500 Sonnenscheinstunden pro Jahr
 bei 900 kWh (Architekten: Von
 Gerkan, Marg und Partner, Hamburg)

*Utilisation d'héliostats, asservis à la
 course du soleil, afin de rediriger la
 lumière solaire directe (aéroport de
 Stuttgart; architecte: Van Gerkan,
 Marg und Partner, Hamburg).*



Konzentrationspiegel und Lichtleiter

In vielen Fällen steht dem Bedarf an hoher Lichtleistung nur eine kleine Eintrittsöffnung am Gebäude zur Verfügung. In diesem Fall kann das Licht durch eine konzentrierende Optik (Spiegel oder Linse) stark verdichtet werden. Im wandernden Brennpunkt dieser Optik befindet sich das flexible Ende eines Lichtleiter(bündel)s, welches dann im kleinen Querschnitt – ähnlich einer Wasserleitung – die Lichtleistung des Gesamtspiegels an den gewünschten Ort im Inneren des Gebäudes führt und mittels geeigneter Endoptiken in der gewünschten Verteilung abstrahlt (Achtung: bis zu 200 °C). Die geschilderten Lichtspiegelsysteme arbeiten nur mit direktem Tageslicht. Doch lassen sie sich problemlos mit starken künstlichen Punktlichtquellen koppeln, welche (über Dimmer) bei Dunkelheit oder Teilhelligkeit ganz oder teilweise zuschaltbar sind – die «ambiance lumineuse» geht unmerklich von der Nacht zum Tag über – und umgekehrt.

Kostenreduktionen sind nötig

Noch sind Heliostaten-Anlagen nicht gerade preiswert. Angesichts der meisten heute realisierten Systeme ist dies jedoch kein Hinderungsgrund zur Durchdringung der Marktnische «Kunst am Bau». Sollen jedoch die genannten Vorteile einem breiteren Anwendungsspektrum bis hin zur individuellen Bürobeleuchtung und der Küchenbeleuchtung im Einfamilienhaus zugänglich werden, sind Kostenreduktionen nötig.

So werden durch konstruktive Massnahmen z.B. die hohen Gewichte konventioneller Metall-Glas-Heliostaten sowie der Aufwand für präzise Nachführmotoren und Getriebe – die auch unter wechselnder Windlast funktionieren müssen – durch ultraleichte Folienmembranspiegel ersetzt. Die vom Wind entlasteten, ästhetischen und transparenten Spiegelhüllen (Light-Ball) arbeiten geschützt und deren Getriebe und Motoren müssen nur noch geringste Schwerkkräfte überwinden.

Ähnliches gilt für die konzentrierenden Systeme. Deren Leichtbauoptiken profitieren vom parallel laufenden Trend der internationalen Solarenergietechnik, wo ebenfalls Preisreduktionen durch Ultraleicht-Konstruktionen gesucht werden.

Optimierungen sind möglich

Im Bereich der Lichtleiter ist ein Trend zu sehen, der statt der teuren, in Querschnitt und spektralen Transmissionsverhalten limitierten Glaslichtleiter hochflexible polymere oder Polymer-Flüssigkeitslichtleiter zum Einsatz bringt.

Hier sind auch die Entwicklungen von holographischen Spiegeln, Flüssigkeitskristall-Linsen oder Fix-Focus-Konzentrations spiegeln zu nennen, die gesamthaft und bei geschickter Kombination und architektonischer Integration die erstrebte Kostenoptimierung anvisieren.

Ziel: leistungsstarke Gesamtsysteme

Die Tageslicht-Spiegelsysteme transportieren nicht nur die Qualität «Licht» sondern auch «Energie» und «Wärme» ins Gebäude. Intelligente Systeme nutzen all diese Komponenten und sind somit ökonomischer. Hier ist eine ähnliche Entwicklung abzusehen wie bei der Photovoltaik: bei geschickter Fassadenintegration wird gleichzeitig elektrischer Strom, gezielte Abschattung respektive Lichtlenkung oder Warmluft produziert. So werden derzeit Gesamtsysteme entwickelt, bei welchen der Wärmeanteil des konzentrierten Sonnenlichtes automatisch der Heizung oder einem Speicher zugeführt wird und die den nicht benötigten Überschuss an Licht mittels integrierter Solarzellen in elektrischen Strom wandeln. Zusätzlich ist eine Anpassung der Ultraleichtoptiken an den Baukörper bis hin zur Integration in die Bauhülle in Vorbereitung.

● Déviation de la lumière directe par des miroirs

Des systèmes de déviation de la lumière naturelle directe par des miroirs ont fait, aujourd'hui, leur apparition sur le marché. Ils complètent les autres systèmes de lumière naturelle, en particulier pour ce qui concerne l'éclairage de bâtiments de grande taille (halls d'aéroports, grandes surfaces, etc.). Etant donné leur coût relativement élevé, qui ne permet pas une production à large échelle, l'accent est mis sur des constructions légères (utilisation de nouveaux films synthétiques par ex.) et sur des constructions en série, intégrables directement au bâtiment. Les progrès du développement de la technologie solaire (héliostats, miroirs à focalisation) sont aussi mis à profit.

● Utilisation d'héliostats

Les héliostats sont des miroirs plans capables de suivre la course du soleil et de diriger dans une direction fixe le faisceau de lumière directe ainsi réfléchi; celui-ci est généralement orienté vers l'intérieur du bâtiment. Ces miroirs apparaissent comme des soleils fixes possédant, cependant, tous les avantages du vrai soleil (intensité lumineuse élevée, spectre idéal, etc.). Le faisceau peut ainsi être utilisé, en présence du soleil (ciel clair), pour éclairer le coeur des bâtiments.

● Stockage de la lumière

Le stockage de la lumière naturelle n'est pas possible aujourd'hui. L'utilisation de substances phosphorescentes, comme le plancton marin ou certains produits chimiques, ne permet pas un éclairage efficace. La recherche permettra peut-être un jour de résoudre ce problème.

Quellenhinweis:

- 1) «Heliostaten-Systeme»; J. Kleinwächter; Gesundes Bauen und Wohnen, Fachzeitschrift für Baubiologie und Bauökologie; Heft 38, Nr. 1/1990

Déviateurs de lumière naturelle en façade

Bei Seitenfenstern sinkt der Tageslichtverlauf exponentiell ab: in Fensternähe gibt es zuviel und ab 3 Metern Raumtiefe zuwenig Tageslicht.

Leistungsfähige Tageslicht-Komponenten lenken darum lichtreiches Zenitlicht wirksam in tiefere Raumzonen.

Ein Verbund von Sonnenschutz und Tageslichtlenkung ist dabei nicht zu empfehlen, da ein Hauptteil des Tageslichtes dauernd vom Innenraum ferngehalten würde. Computersimulationen zeigen, dass im Oberlichtbereich angebrachte Lichtlenk-Komponenten einen Musterraum unterschiedlich ausleuchten: In einem mit normalen Isoliergläsern bestückten Referenzraum sinkt der Tageslichtquotient von 20% in der Fensterebene auf 2% in 3 m Raumtiefe ab. Demgegenüber weist ein «Anidolisches Oberlicht» in 6 m Raumtiefe noch einen Tageslichtquotienten von 2% auf. Höhere Tageslichtautonomie in der Raumtiefe dank konstruktiven Massnahmen ist also möglich.

Guider la lumière naturelle

Dans la perspective d'une utilisation intensive de la lumière naturelle, les ouvertures ont pour fonction de faire parvenir la lumière naturelle dans les parties du bâtiment éloignées des façades, tout en limitant les risques d'éblouissement perturbateur ou gênant pour les occupants. Ce double objectif implique la mise en place de dispositifs déviateurs de lumière au niveau des ouvertures. La grande variété de systèmes développés à cet effet (1) laisse une large marge de manoeuvre à l'architecte.

Déviateurs montés en façade

Cette étude présente quelques systèmes déviateurs montés en façade. Elle a pour objectif de montrer que, placés dans les mêmes conditions, ces systèmes répartissent la lumière naturelle de façons sensiblement différentes dans les locaux attenants. Ces résultats sont rarement disponibles pour le concepteur. Ils sont toutefois indispensables au moment du choix d'un système tant pour des considérations techniques (dimensionnement et positionnement de l'éclairage artificiel, bilans énergétiques) que pour la justification des coûts qui dérivent de ce choix. Pour garantir une comparaison rigoureuse parmi les systèmes, l'ensemble des résultats a été obtenu par simulations numériques effectuées à l'aide d'un même logiciel (2).

Cas de référence par ciel couvert

Un bureau de forme rectangulaire (5 x 7 x 3 m) muni de deux ouvertures en façade (indice de vitrage 24%) est défini pour l'objet de cette étude. L'ouverture inférieure est invariablement équipée d'un vitrage isolant, de façon à préserver le contact visuel avec l'extérieur. Les divers systèmes déviateurs étudiés prennent place dans l'ouverture supérieure (pour le cas de référence cette ouverture est équipée d'un vitrage isolant). Les simulations sont effectuées pour un ciel couvert normalisé CIE (3) produisant

un éclairage extérieur de 10 000 lux (valeur des éclairages mesurés par ciel couvert sur le plateau suisse). Afin de se rapprocher d'un contexte urbain, une obstruction extérieure occupant une hauteur de 30° au dessus de l'horizon est prise en compte dans les calculs.

Des calculs sophistiqués

Pour chaque système étudié, les résultats graphiques comprennent:

– une image de synthèse sur laquelle ont été superposées les iso-lignes représentant un facteur de lumière du jour de 1,5%, ainsi que les valeurs de luminances (cd/m²) de quelques points

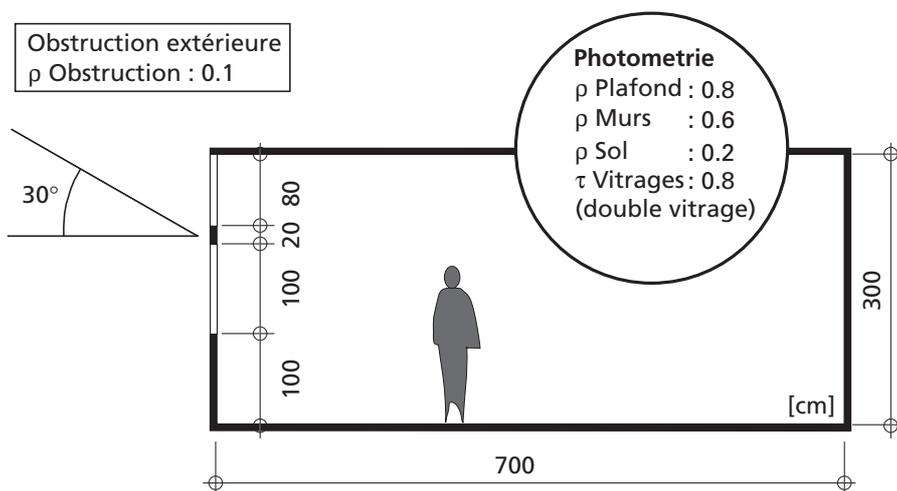
– un profil de facteur de lumière du jour comparé à celui du cas de référence (vitrages isolants).

– Un plan de travail est situé à 85 cm du sol

– un profil du taux d'autonomie en éclairage naturel déduit du précédent pour un éclairage prescrit de 300 lux. Les hypothèses simplificatrices admises pour le calcul de ce taux impliquent que les valeurs comprises entre 0 et 30% environ représentent des bornes inférieures du taux d'autonomie réel (4).

L'éventuelle sensation d'inconfort visuel par éblouissement gênant, pour un sujet assis à la place de travail disposée parallèlement à 1,5 m de la façade, est évaluée par la fraction prévisible de personnes insatisfaites (FPI) calculées selon le modèle de Guth (4) et par le rapport entre la luminance maximale et la luminance moyenne du champ visuel (Lmax/Lmoy), évalué séparément pour l'ergorama et le panorama. Du fait de la présence d'une obstruction extérieure qui réduit considérablement la vision directe du ciel depuis la place de travail (axe du regard parallèle à fenêtre), les divers systèmes simulés ne présentent pas de variations significatives de la fraction prévisible d'insatisfaits, qui demeure inférieure à 10%. Par contre les systèmes se distinguent plus nettement au niveau des rapports de luminance dans les deux régions du champ visuel.

Dr. Raphael Compagnon
Laboratoire d'Energie Solaire et de
Physique du Bâtiment,
EPFL
Lausanne



Cas de référence (vitrage isolant)

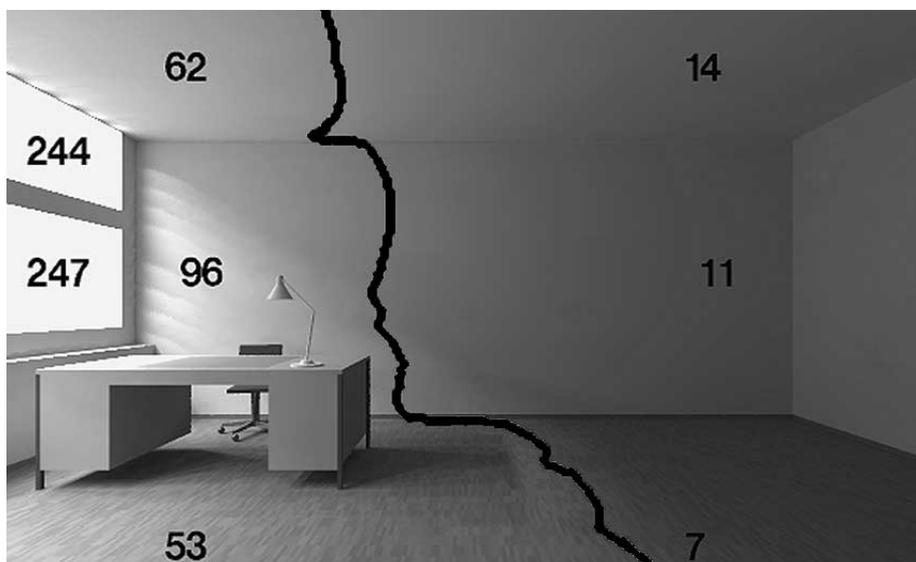
Cas de référence (vitrages isolant) - Pour la place de travail FPI = 9%, rapports de luminance : ergorama 4.9, panorama 40.2 (vision directe d'une partie du ciel).

Der Referenzraum (normale Isolierverglasung) weist am Arbeitsplatz viel Tageslicht (Tageslichtquotient: 9 %) bei sehr hohen Leuchtdichtekontrasten auf.

Prinzipieller Schnitt einer simulierten Raumeinheit, 5 m breit. Die Photometrie der Raumbegrenzungsmaterialien wurde mit folgenden Reflexionsfaktoren angenommen:

Decke	80%
Wände	60%
Boden	20%

Coupe et caractéristiques photométriques du bureau simulé (largeur : 5 m).



Références:

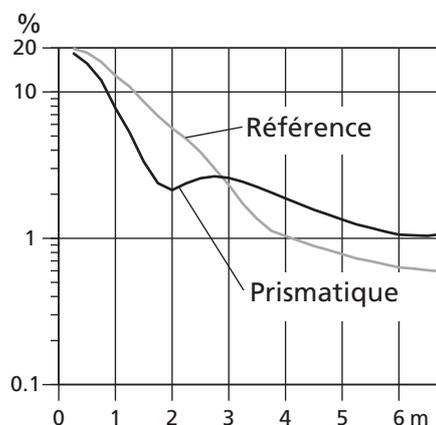
- 1) «Innovative Daylighting: Review of Systems and Evaluation Methods»; P.J. Littlefair; Lighting Research and Technology, vol. 22, n° 1, 1990
- 2) «Outils informatiques en lumière naturelle» – Projet NEFF 435.2; J.-L. Scartezzini, R. Compagnon, G. Ward, B. Paule; CUEPE (Université de Genève) & LESO-PB (EPFL); Lausanne 1993
- 3) «Manuel OFQC Eléments d'éclairagisme»; Programme d'action RAVEL, Office Fédéral des Questions Conjoncturelles; Berne 1993
- 4) «Simulations numériques de systèmes d'éclairage naturel à pénétration latérale»; R. Compagnon; Thèse de doctorat n° 1193; LESO-PB, EPFL; Lausanne 1994
- 5) «Application of Nonimaging Optics to The Development of New Daylighting systems»; R. Compagnon, J.-L. Scartezzini, B. Paule; ISES Solar World Congress; Budapest 1993

Comparaison de systèmes

Les systèmes les plus performants captent efficacement la lumière venant des parties non obstruées du ciel et la dévient en direction des parties reculées du local. Aucun des systèmes présentés ici ne prétend faire office de protection solaire. Son intégration dans un unique système fixe impliquerait l'exclusion permanente des rayons lumineux provenant d'une large portion du ciel, ce qui entre en contradiction avec la conclusion précédente. Une dissociation entre un dispositif de protection solaire mobile et un système déviateur de lumière fixe apparaît comme l'unique possibilité d'atteindre de bonnes performances pour ces deux fonctions. Des interventions supplémentaires sur le local éclairé (par traitement des surfaces, disposition de réflecteurs au plafond, élargissement des ouvertures etc.) peuvent améliorer les performances offertes par les systèmes déviateurs présentés ici.

Déviateur prismatique

L'utilisation de la réfraction pour diriger la lumière du jour au travers de prismes dans un bâtiment date déjà de plusieurs décennies. Le système étudié ici est constitué d'un panneau acrylique de section prismatique (actuellement commercialisé) intégré dans l'espace compris entre les deux verres d'un vitrage double. Sa fonction consiste à dévier vers le fond

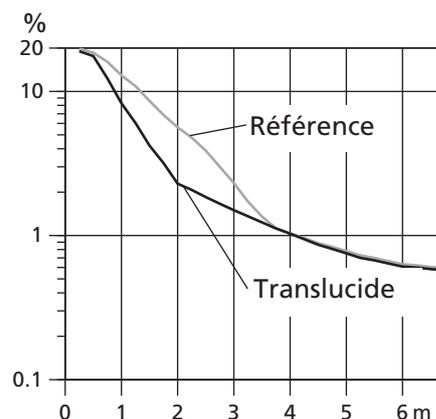


Profils du facteur de lumière du jour: calcul pour le déviateur prismatique.

du local les rayons lumineux provenant de la zone du ciel dégagée de toute obstruction. Par rapport au cas de référence, le déviateur prismatique permet de doubler le facteur de lumière du jour sur la seconde moitié du local. L'élément prismatique présente des contrastes de luminosité prononcés qui changent de position suivant le point de vue.

Isolation translucide

Divers matériaux isolants translucides sont disponibles sur le marché. Comme pour les éléments prismatiques, ces matériaux peuvent facilement être disposés à l'intérieur d'un vitrage double. Le système présenté ici est constitué d'un matériau totalement diffusant dont le facteur de transmission diffus est fixé à 50% (valeur courante pour ce type de matériaux). Le profil de facteur de lumière du jour



Profils du facteur de lumière du jour: calcul pour une isolation translucide

montre que l'effet diffusant réduit les apports de lumière à l'avant de la pièce mais n'améliore pas le niveau d'éclairage de sa moitié arrière. La diffusion atténuée par contre les contrastes de luminosité dans le panorama puisque l'ouverture supérieure apparaît de n'importe quel point de vue comme une surface de luminosité quasiment constante très inférieure à celle de la portion de ciel qu'elle obstrue (363 [cd/m²] au lieu de 2600 [cd/m²]). Cette luminosité dépasse légèrement celle de l'obstruction extérieure visible par la fenêtre inférieure.

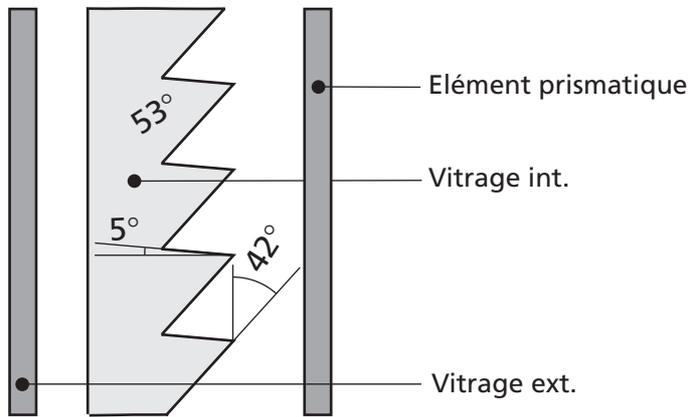
Bandeau lumineux intérieurs

Le bandeau lumineux formé d'un réflecteur horizontal placé derrière le vitrage constitue une alternative déjà souvent réalisée.

Toutefois en analysant le cheminement des rayons lumineux transmis par un tel dispositif, on se rend compte que ceux qui proviennent des hauteurs élevées du ciel (non obstruées) n'atteignent pas le fond de la pièce.

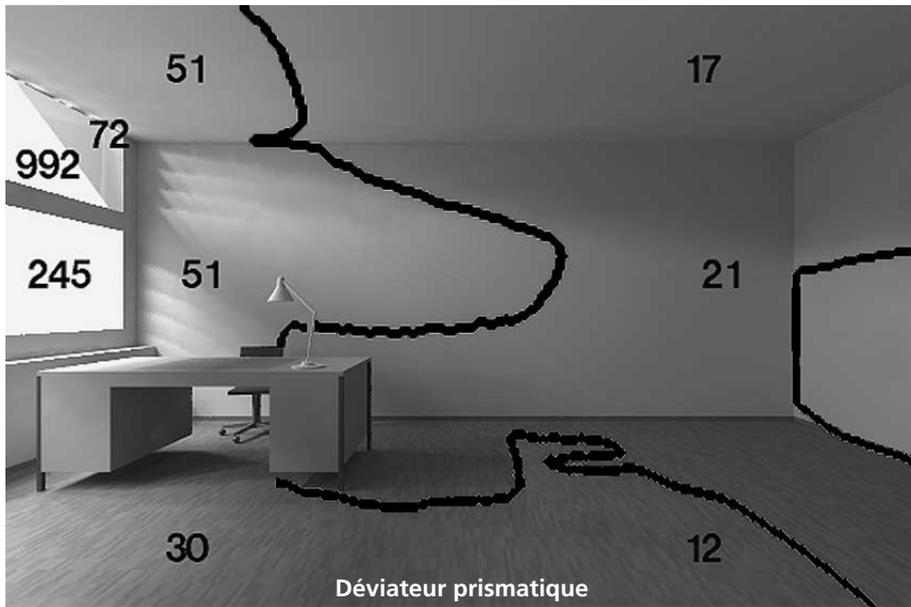
Afin de palier à ce défaut, la théorie des systèmes optiques anidoliques (sans formation d'image) peut être appliquée pour concevoir un réflecteur dont la courbure permet de dévier l'ensemble des rayons captés au-delà de l'espace occupé par le dispositif ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾.

Dr. Raphael Compagnon
Laboratoire d'Energie Solaire et de
Physique du Bâtiment
EPFL
Lausanne



Prinzipialer Querschnitt eines Prismen-Inlets für eine Isolierverglasung

Coupe verticale de l'élément prismatique placé entre les deux verres du vitrage double.

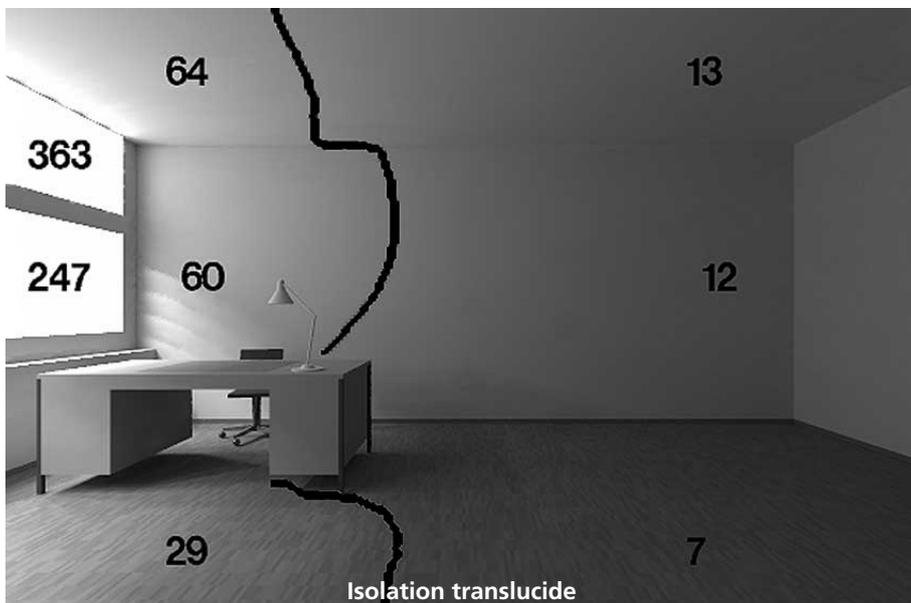


Local équipé d'un déviateur prismatique. Pour la place de travail FPI = 0%, contraste maxima : ergorama 6.1, panorama 31.7

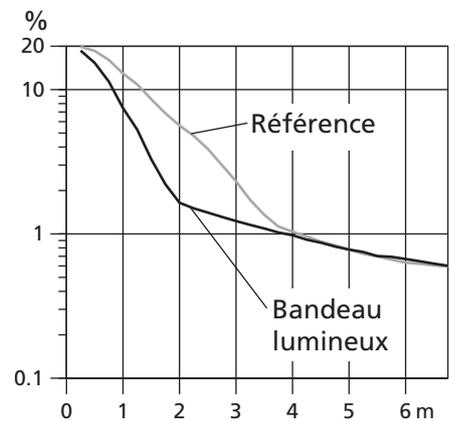
Plexiprismen führen zu einem hohen Leuchtdichtegefälle zwischen In- und Umfeldleuchtdichte und zu sichtbar mehr Tageslicht in der Raumtiefe

Local équipé d'une isolation translucide placée dans le vitrage isolant supérieur. FPI = 0%, rapports de luminance: ergorama 6.5, panorama 8.1

Die diffus wirkende TWD-Einlage im Oberlicht dämpft extreme Leuchtdichten in Fensternähe ohne die Raumtiefe merklich aufzuhellen



La courbure du réflecteur induit cependant une réduction de taille de l'ouverture d'entrée. Les simulations effectuées en tenant compte d'un facteur de réflexion spéculaire de 80% pour le réflecteur (feuille d'aluminium anodisé par exemple) démontre que malgré cette réduction de



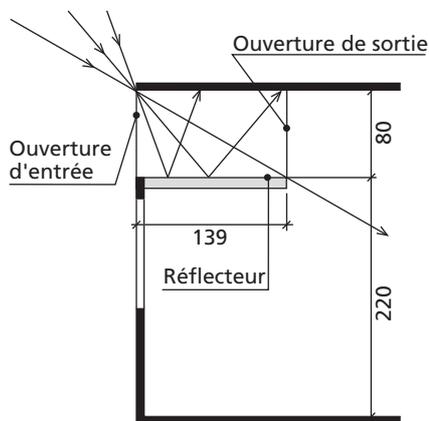
Profils du facteur de lumière du jour: Bandeau lumineux intérieurs

taille, le bandeau anidolique présente en fond de pièce un facteur de lumière du jour légèrement supérieur à celui d'un bandeau horizontal. L'intérêt d'un tel système est évident puisqu'il permet d'obtenir ce niveau d'éclairage tout en réduisant d'un tiers les transferts d'énergie (gains solaires et pertes thermiques) au travers de l'ouverture supérieure. En outre, le bandeau anidolique a l'avantage de répartir le flux lumineux beaucoup plus uniformément sur le plafond que le bandeau horizontal.

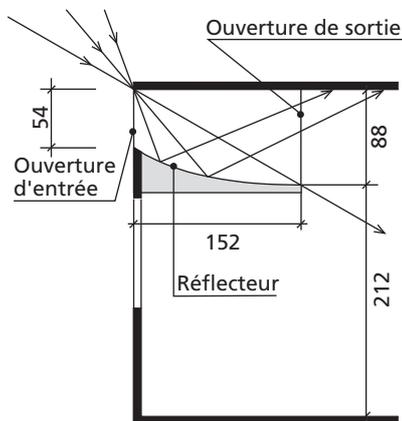
Collecteur anidolique zénithal

Comme le flux lumineux provient essentiellement des hauteurs élevées du ciel, une ouverture horizontale capte toujours plus de lumière qu'une ouverture verticale de même surface. Partant de ce constat, il est intéressant d'exploiter les méthodes propres à l'optique anidolique pour concevoir un système capteur horizontal suivi d'un dispositif permettant de dévier le flux

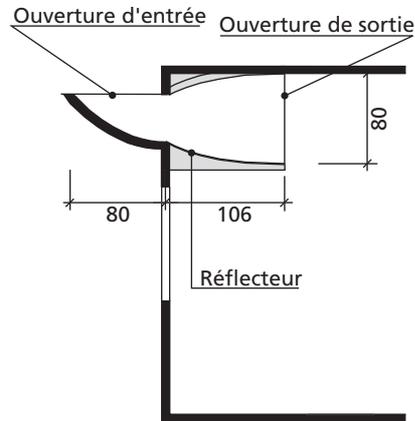
Bandeau horizontal



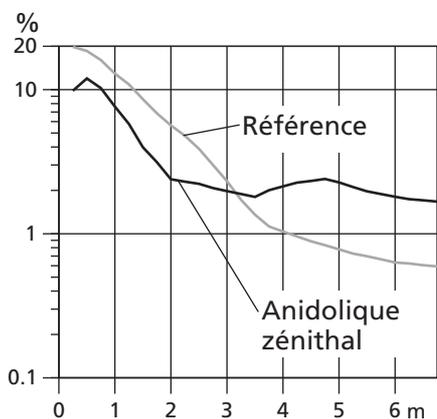
Bandeau anidolique



Collecteur anidolique zénithale

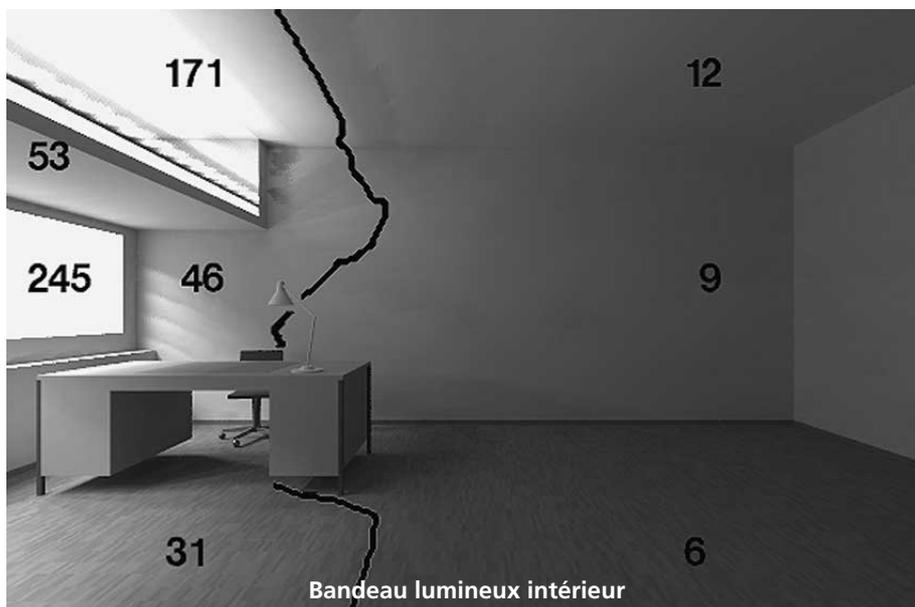


lumineux vers le fond de la pièce (4), (5). Le collecteur anidolique zénithal se compose d'un réflecteur émergent de la façade et dont l'ouverture d'entrée est orientée horizontalement.



Profils du facteur de lumière du jour: le collecteur anidolique zénithal

Il est suivi d'un double réflecteur faisant office de bandeau lumineux dont la fonction consiste à distribuer le rayonnement capté vers l'intérieur de la pièce dans un faisceau d'ouverture angulaire bien délimitée ($\pm 30^\circ$ par rapport à l'horizontale). Cet effet directionnel est particulièrement visible sur l'image de synthèse. Ce système permet d'augmenter d'un facteur 2.5 le niveau d'éclairage sur la seconde moitié de la pièce et par conséquent, y procure un taux d'autonomie en éclairage naturel significatif. Pour un occupant situé dans le faisceau lumineux, l'ouverture de sortie du système présente des luminances élevées. Il est donc impératif d'orienter les places de travail en fond de pièce de façon à ce que cette ouverture n'entre pas dans le champ visuel. Comme ce système implique une discontinuité de l'enveloppe thermique au niveau de la façade, son intégration architecturale nécessite une attention particulière au niveau des détails constructifs.



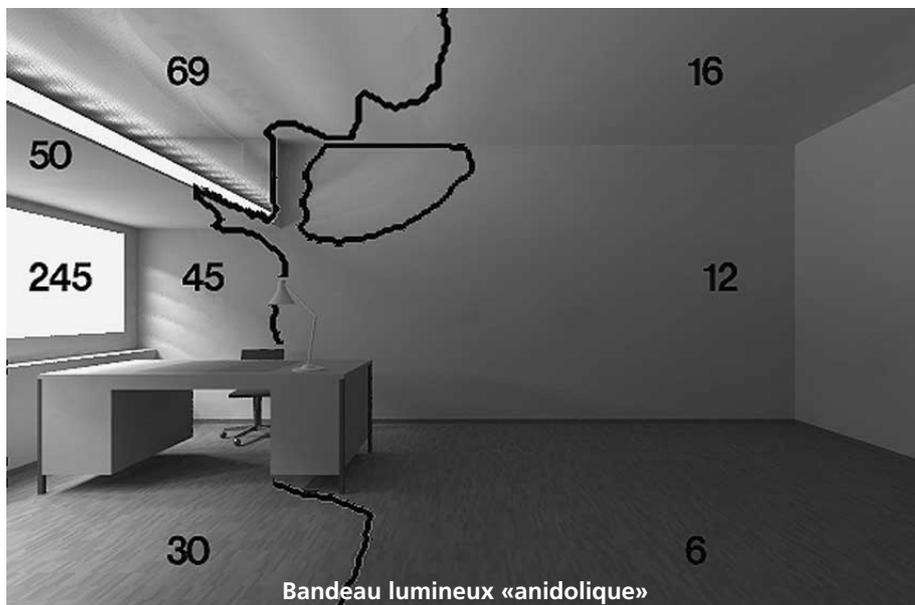
Bandeau lumineux intérieur

Local équipé d'un bandeau lumineux intérieur horizontal. Pour la place de travail: FPI = 0%, rapports de luminance: ergorama 6.4, panorama: 6.8

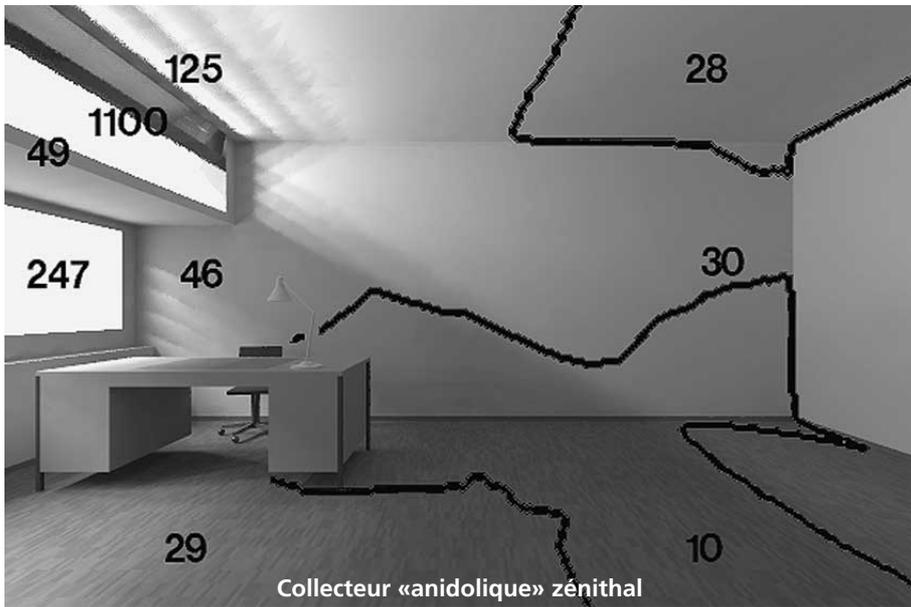
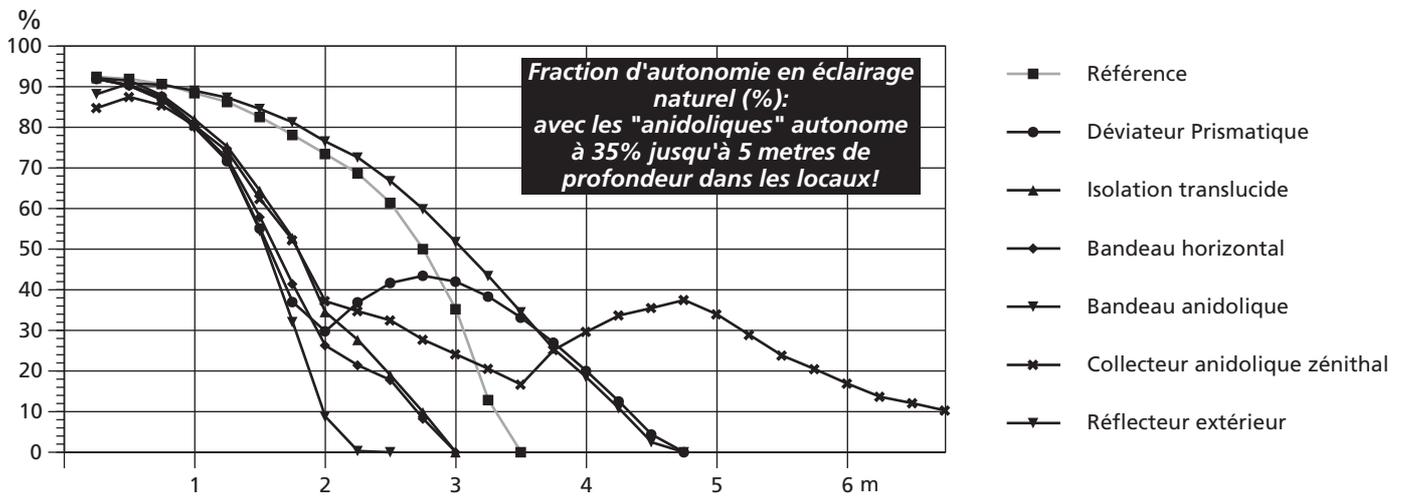
Die Lichtumlenkung zur Decke durch konventionelle, innenliegende Lichtschwerter wirkt sich günstig auf den Beleuchtungskomfort aus

Local équipé d'un bandeau lumineux intérieur "anidolique". Pour la place de travail: FPI = 0%, rapport de luminance: ergorama 6.6, panorama: 7

Die anidolische Ausformung des Lichtschwertes begünstigt den Verlauf des Tageslichtes im Raum bei gleichem Beleuchtungskomfort



Bandeau lumineux «anidolique»

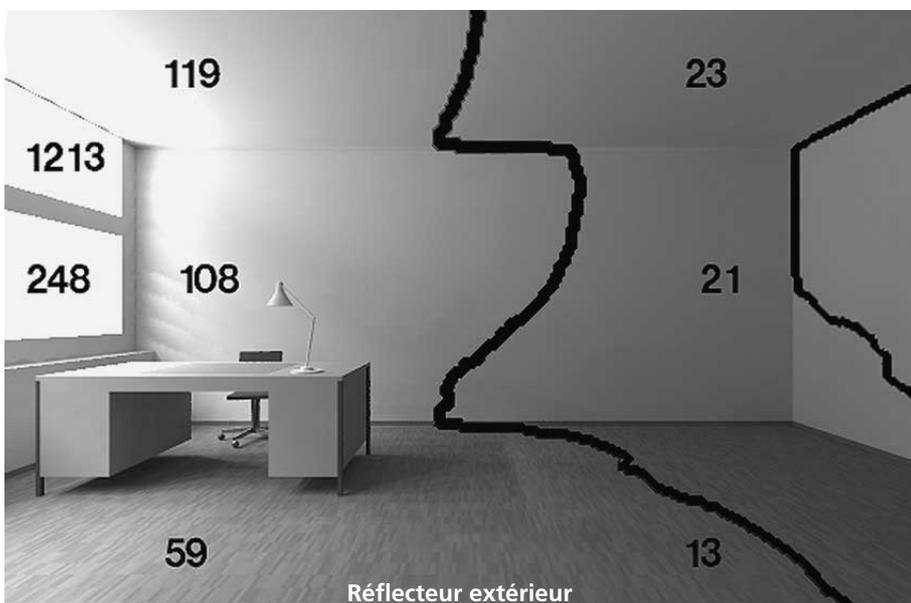


Vue du local muni du collecteur anidolique zénithal. Pour la place de travail: FPI = 0%; rapports de luminance: ergorama 4.3, panorama 5.3

Mit einem anidolischen Zenitalreflektor wird die günstigste Leuchtdichteverteilung im Raum erreicht – bei höchster Tageslichtautonomie

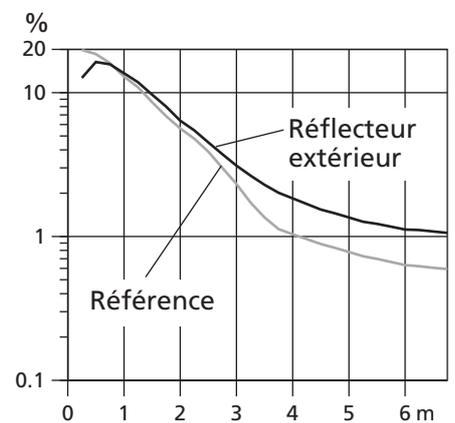
Vue du local équipé du réflecteur extérieur. Pour la place de travail: FPI = 8%, rapports de luminance: ergorama 6.2, panorama 31.6.

Ein fest montierter Aussen-Reflektor verbessert die Grundausleuchtung des Raums, liegt aber unter erzielbaren Werten der «Anidoliques»



Réflecteur extérieur

Toujours dans le but de profiter au mieux des apports de lumière zénithale, une solution plus conventionnelle consiste à



Profils du facteur de lumière du jour calculés pour le réflecteur extérieur.

disposer un réflecteur extérieur (éventuellement mobile) devant le vitrage occupant l'ouverture supérieure. Le réflecteur n'étant pas protégé des conditions extérieures, son facteur de réflexion n'excède pas 60% et son type de réflexion demeure partiellement spéculaire (réflexion dite de type «mixte»). Le dispositif simulé permet d'augmenter le facteur de lumière du jour d'un facteur 1.8 dans la seconde moitié du local. Pour ce système également, les luminances élevées perçues au travers de l'ouverture supérieure impliquent des contraintes sur la disposition des places de travail.

Synthèse des cours RAVEL

Les 12 bâtiments analysés dans le cadre des cours Ravel ont pu être regroupés par famille de système de lumière naturelle.

La première famille est celle des atriums: un ouvert, l'autre fermé. La deuxième famille est celle des ateliers à ouverture latérale et zénithale. La troisième famille est celle de l'éclairage latéral avec une coursive doublée d'une protection solaire. La quatrième famille est celle de l'éclairage latéral simple.

Ces quatre familles ne sont évidemment pas exhaustives.

On peut formuler une série de conseils, répartis par critère d'analyse, qui permettent de mettre en évidence les enjeux réels de l'utilisation optimale de la lumière naturelle dans les bâtiments visités.

Architecture

Lecture du site - concept

Il est évident que l'implantation d'un bâtiment détermine des conditions d'éclairage par la lumière naturelle en fonction des caractéristiques du site (horizon dégagé ou fermé).

Si le concept architectural d'implantation impose des contraintes à une bonne utilisation de la lumière naturelle, le bâtiment devra avoir une morphologie et des systèmes d'enveloppe appropriés.

Enveloppe - facteur de réduction (menuiserie, verre, protection fixe)

Le dessin initial de l'architecte prévoit souvent des menuiseries fines; la réalité construite est très différente à cause des contraintes d'exécution mal maîtrisées.

L'analyse montre que le facteur de réduction de l'enveloppe peut être important si tous les paramètres sont cumulés.

Energie

Faible profondeur des locaux

Aucune mesure de bâtiment analysé n'a permis d'atteindre un facteur lumière de jour supérieur à 2% à 5 mètre de la façade (le système anidolique, qui n'a pas été mesuré ici, atteint 2% à 3% à 6 m!).

Il est donc faux de croire que les solutions «performantes» permettent d'accroître la profondeur des locaux; elles permettent tout au plus d'atteindre une autonomie en éclairage naturel pour une profondeur standard.

Seul un double éclairage, latéral et zénithal, permet d'améliorer les performances.

Eclairage de base à 300 Lux - éclairage d'appoint

Un potentiel certain d'économie électrique serait de baisser le niveau d'éclairage recommandé, par exemple de 500 à 300 Lux pour les bureaux, et de le compléter par un éclairage d'appoint individuel.

La différence d'autonomie par rapport à l'éclairage naturel est de 25%/an pour un FLJ de 2%.

Confort visuel

Réglage individuel d'un dispositif anti-éblouissement

Un dispositif de réglage de la lumière par un rideau intérieur est indispensable pour offrir un confort visuel suffisant; cependant ce dispositif doit être entièrement rétractable pour assurer un éclairage adéquat par ciel couvert.

Disposition de l'ameublement

Les différentes situations analysées montrent que seul une bonne orientation du regard permet d'obtenir de bons résultats. En cas d'ameublement fixe, l'architecture du local doit offrir l'emplacement optimum pour la place de travail.

Intelligente Tageslichtnutzung ist auch bei einer internationalen Architektur-Elite im Trend. Im San Francisco Museum of Modern Art nutzt Mario Botta konsequent Zenitallicht zur natürlichen Ausleuchtung aller Bildersäle (Foto: Robert Canfield)



Pour permettre d'améliorer les connaissances dans le domaine de la lumière naturelle, le projet de recherche LUMEN (1) a développé une étude typologique des ouvertures dont les premiers résultats ont commencé à être publiés dans la revue Baudoc-Bulletin.

Cette étude se situe à deux niveaux distinguant le type du modèle; dans le cadre des analyses des types, chaque paramètre qui compose la lumière est pris séparément; dans le cadre des analyses des modèles, tous ces paramètres sont pris globalement.

La particularité de l'étude est de permettre des comparaisons de situation abstraite et concrète; il devrait être possible ainsi de mieux comprendre la complexité de la lumière naturelle et de la maîtriser dans le cadre du projet.

En effet, trop souvent, même dans les situations les plus banales, on constate que l'éclairage électrique est utilisé, les stores baissés, pour des raisons d'inconfort visuel. Les analyses de ces études typologiques (2) se veulent objectives et traitent les trois aspects Architecture - Energie - Confort visuel, en analysant les différents critères relatifs à la qualité de la lumière naturelle propre au bien-être de chacun. Les analyses présentées sont extraites de fiches publiées par la Documentation Suisse du Bâtiment. La définition complète des termes techniques est expliquée dans la revue Baudoc - Bulletin 3/93.

● Einfluss der Situierung

Der Einfluss der Situierung eines Gebäudes auf dessen Tageslichtnutzungsmöglichkeit ist bedeutend: Wenn ein Gebäude durch einen hohen Verbauungsgrad, dunkle oder lichtscluckende Umgebungsfächen handicappiert ist, sollte das Oeffnungsdispositiv entsprechend angepasst werden.

● Gebäudeöffnungen und Reduktionsfaktoren

Im ursprünglichen Entwurf sehen Architekten oft Fensterteilungen und Profilstärken vor, die in der Praxis massiv stärker ausfallen. Selten werden die entsprechenden Ausführungsdetails projektgemäss umgesetzt. Im ungünstigsten Fall entstehen durch eine Kumulation der Faktoren unnötig hohe Tageslichtverluste - z.B. wenn (zu viele) Flügel mit breiten Rahmen, mit Vorhängen, die kaum verschoben werden können mit verschmutzten Gläsern und niedriger Lichttransmission zusammentreffen!

● Raumtiefe und Tageslicht

Bei keinem der besuchten und ausgemessenen Objekte wurde in einer Raumtiefe von mehr als 5 Metern von der Fassade ein Tageslichtquotienten von mehr als 2% erreicht. Die Hoffnung, mit tageslichtlenkenden Massnahmen könnten die Tageslichtnutzungsqualitäten in tieferen Raumzonen erhöht werden, ist trügerisch. Indessen sind tageslichttechnische Verbesserungsmaßnahmen sehr wohl dazu angetan, in fensternahen Zonen die Tageslichtautonomie während normalen Büroarbeitszeiten zu erhöhen.

● Reduzierte Beleuchtungspegel

Ein beachtliches Stromsparingpotential würde darin bestehen, die für Büroarbeitsplätze empfohlenen Beleuchtungsstärken von 500 Lux auf ca. 300 Lux zu reduzieren und durch eine arbeitsplatzorientierte Individualbeleuchtung zu ergänzen. Der entsprechende Gewinn an Tageslichtautonomie wäre

etwa 25% bei einem Tageslichtquotienten von 2%.

● Individueller Blendschutz

Die Möglichkeit, den Tageslichteinfall individuell durch einen Blendschutz zu modulieren, sollte immer gegeben sein.

● Geschickte Arbeitsplatzanordnung

Selbst wenn noch allgemein günstige Tageslichtverhältnisse in den meisten Nutzungseinheiten eines Gebäudes vorliegen, bedeutet dies noch nicht, dass am einzelnen Arbeitsplatz blendfrei gearbeitet werden kann. Durch eine entsprechend verbesserte Arbeitsplatzanordnung - welche die Hauptsehachse vom Arbeitsplatz aus nicht rechtwinklig zu den Fenstern orientiert - oder durch einen arbeitsplatzorientierten Blendschutz - wären wesentliche Verbesserungen zu erzielen.

Références:

- (1) EPFL/Université de Genève: Programme de recherche interdisciplinaire «LUMEN - Lumière naturelle et énergétique», 1989
- (2) «Etudes typologiques», Programme interdisciplinaire LUMEN, Lumière naturelle et énergétique du bâtiment, Projet CERS + NEFF, EPFL - ITB, 1994R
- (3) «Etudes typologiques», Programme interdisciplinaire LUMEN, Lumière naturelle et énergétique du bâtiment, Projet CERS + NEFF, EPFL - ITB, 1994

Synopsis des objets analysés

BFSH1, Université de Lausanne

Affectation: Education et Instruction

Architecte: F. Brugger

Réalisation: 1973–1977

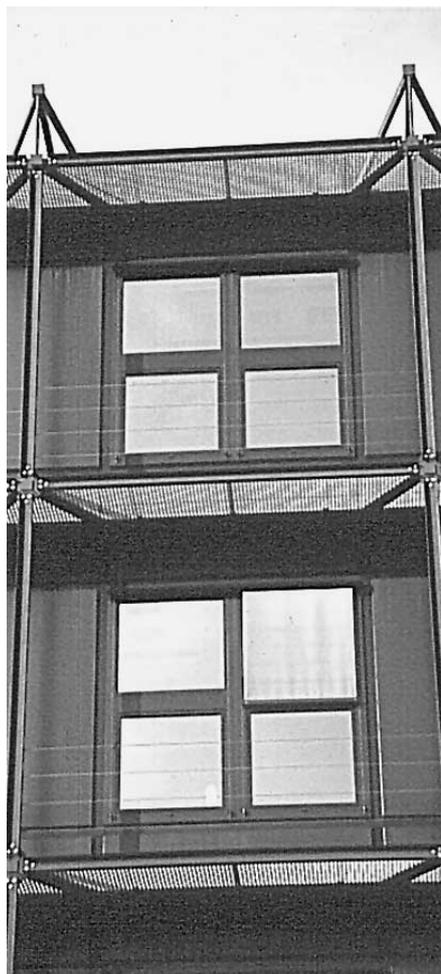
Site: Dégagé

Environs: Parc avec des arbres; toiture gazon et herbe

Façade: avec coursive en dalle de ciment

Universitätsgebäude BFSH1, Lausanne

Breite Fenster innerhalb einer hohen Fensterfront sorgen – bei nur wenigen horizontalen Sprossen – für Aussicht und guten Tageslichtdurchgang. Dunkle Farben bei Fassade und Mobiliar vermindern allerdings die Reflexion und sorgen für einen düsteren Raumeindruck.



Bureaux de IBM à Bâle

Affectation: Commerce et administration

Architectes: Burckhardt & Partner

Réalisation: 1987–1990

Site: Fermé

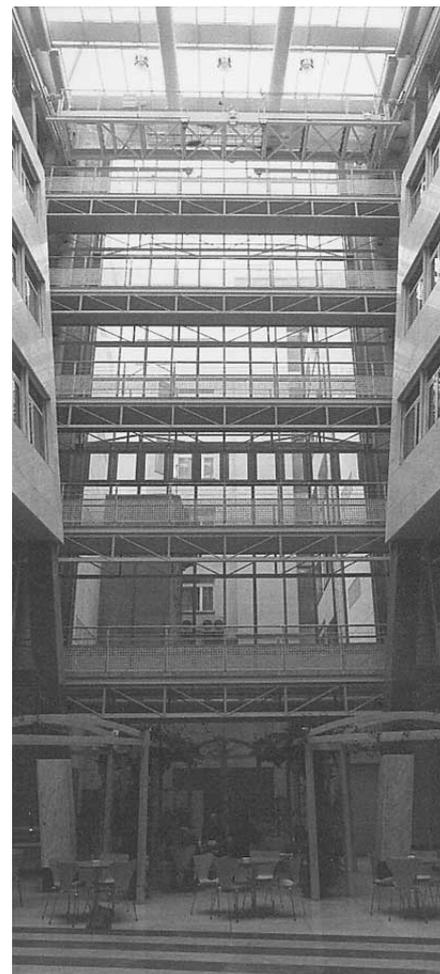
Environs: Rue; bitume

Façade: Atrium avec façade inclinée

Bürogebäude der IBM in Basel

In diesem innerstädtischen Bürogebäude wurden alle Büroräume um einen zentralen, schräg geneigten Innenhof angeordnet. Grossraumbüros sind zweiseitig belichtet: vom überdachten Atrium und von der Aussenfassade her.

Die Innenhoffassade wurde aus feuerpolizeilichen, akustischen und thermischen Gründen normal verglast.



Bureaux de HP à Meyrin

Affectation: Commerce et administration

Architecte: Jean-Jacques Oberson

Réalisation: 1979–1982

Site: Dégagé; zone industrielle

Environs: Herbes et bitume

Façade: Atrium ouvert et façade avec coursive en caillebotis

Bürohaus Hewlett Packard, Meyrin

Dieses Bürogebäude auf der «grünen Wiese» gruppiert zusammenhängende Büroflächen um einen Lichthof hinter einer Klima-Service-Fassade. Auf eine innere Fassade wurde verzichtet. Zweiseitige Belichtung verleiht den Grossraumbüros ein gutes Raumgefühl – ausser bei gesenkten Storen!



Bâtiment d'exploitation Münsingen

Affectation: Industrie et artisanat

Architectes: Atelier 5

Réalisation: 1984–1988

Site: Dégagé

Environs: Parc avec bâtiments; herbes

Façade: Vitrages en partie haute et bande verticale pour la vue; structure-lumière et réflecteur en aluminium

Werkstätten Psych. Klinik Münsingen

Eingeschossige Flachbauten werden durch raumtiefe Oberlichter und wohlproportionierte Seitenfenster zweiseitig belichtet. Das gelungene Tageslichtmilieu wird durch eine geschickte Farb- und Materialwahl unterstützt.

Police Cantonale à Frauenfeld

Affectation: Administration publique

Architectes: P. Stutz, M. Bolt

Réalisation: 1989–1992

Site: Dégagé; zone industrielle

Environs: Rue, bitume

Façade: Bureau: rideau intérieur; Atelier: double éclairage

Kantonspolizeigebäude Frauenfeld

Das Kantonspolizeigebäude schafft mit klassischen Mitteln des Architekten brauchbaren Tageslichtkomfort: Geschickte Bauvolumengliederung, hohe Räume ohne Doppeldecken, massvolle Verwendung von Oberlichtern für Verkehrszonen oder Werkstätten sind dazu die wichtigsten Mittel.



Institut de Pathologie, Uni Berne

Affectation: Oeuvres sociales et santé publique

Architectes: Itten & Brechbühl

Réalisation: 1986–1991

Site: Fermé

Environs: Rue et cour; bitume, gravier

Façade: Plafond incliné dans l'espace de la fenêtre

Pathologisches Institut der Uni Bern

Die Laborräume werden von normalen Fenstern seitenbelichtet. Im architektonischen «Feinschliff» wurde zielstrebig die Tageslichtqualität verbessert: z.B. durch hohe Fenster, Deckenschrägschnitte, helle Fenstersimsen oder photometrisch günstige Materialien.

Ecole enfantine à Tannay

Affectation: Enseignement et formation

Architecte: Vincent Mangeat

Réalisation: 1983–1987

Site: Dégagé

Environs: Parc très ouvert; dallage ciment

Façade: Cour couverte par un toit vitré; puits de lumière en pavés de verre sur 3 côtés de la classe

Kindergarten in Tannay

In diesem Kindergarten hat der Architekt versucht, das Tageslicht über Lichtbrunnen dreiseitig zenital in die Klassenzimmer einzuführen und die vierte Fassade lateral zu belichten.



Bureaux à la Gare de Lucerne

Affectation: Commerce et administration

Architectes: Ammann et Baumann

Réalisation: 1978–1990

Site: Dégagé

Environs: Voies ferroviaires; toiture vitrée

Façade: incurvée; cursive caillebotis et lamelles orientables

Administrationsgebäude HB Luzern

Geschickt angeordnete, bewegliche Lamellen an einer reinen Südfassade betonen die Funktionalität dieser Gleisüberbauung. Auch in Beschattungsstellung ist visueller Aussenkontakt möglich. Der visuelle Komfort wird mit einem inneren Blendschutzvorhang geregelt.

Garage à Coire

Affectation: Industrie et artisanat

Architectes: Werkgruppe für Architektur

Réalisation: 1988–1990

Site: Dégagé; zone industrielle

Environs: bitume

Façade: inclinée avec cursive en caillebotis et lamelles fixes

Garagegebäude «Alpcar» in Chur

Vorgehängte, starre Sonnenschutzlamellen schützen dieses multifunktionale Gebäude vor intensiver Bergsonne. Dank einem hohen Verlasungsanteil pro m² Geschossfläche und hellen Anstrichen bzw. Belägen wird Tageslichtautonomie sogar in einem tiefen Ausstellungsraum weitgehend erreicht.





Immeuble de Conférence UBS Zurich

Affectation: Commerce et administration
 Architecte: Théo Hotz
 Réalisation: 1989–1991
 Site: Fermé
 Environs: Cour; pavé
 Façade: Bâtiment totalement vitré

Konferenzgebäude der SBG Zürich

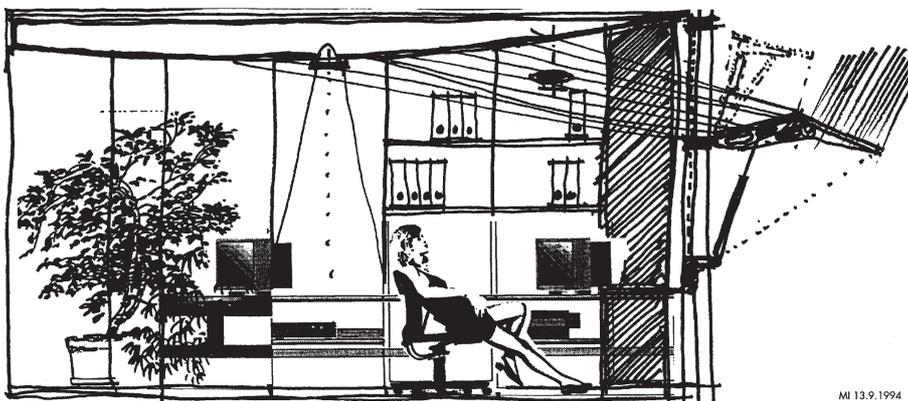
In einer engen Hofsituation musste nachträglich ein Konferenzgebäude nahe an bestehende Fassaden hingebaut werden. Transparenz war dabei eines der Ziele. Entstanden ist ein nahezu «gläsernes Werk», welches – nicht zuletzt dank Tageslichtautonomie – energieeffizient, funktional und gleichzeitig in vorbildlicher Weise repräsentativ ist.

Banque cantonale à Soleure

Affectation: Commerce et administration
 Architecte: Hans R. Bader
 Réalisation: 1985–1990
 Site: Dégagé/fermé
 Environs: Place urbaine; bitume
 Façade: inclinée à 45°

Kantonalbank Solothurn

Der pyramidenförmige Gebäudeschnitt verhilft zu interessanten Merkmalen bezüglich Tageslichtführung: In einer urbanen Situation wird das Handicap des hohen Verbauungsgrades verringert. Die Büros können durch Seiten- und Schräg-oberlichter tagesbelichtet werden, da dem besonders lichtreichen Zenitlicht optimal Zutritt verschafft wird.



MI 13.9.1994

«Denkraum» au LESO, EPFL Lausanne

Affectation: Recherche
 Architecte: Reto Miloni
 Réalisation: 1994
 Site: ouvert; zone industrielle;
 Environs: Herbes et bitume
 Façade: Réflecteur extérieur mobile
 deux types de verres isolants

«Denkraum» am LESO, EPFL Lausanne

In diesem Büroprototyp können in einer Pilotanlage die Vorteile einer Dreifach-Synergie von Beschattung, Tageslichtlenkung und photovoltaischer Stromerzeugung ausprobiert werden. Dank sonnenstandsgerecht nachgeführter, mobiler PV-Beschattungslamellen ist «heatless lighting» möglich.

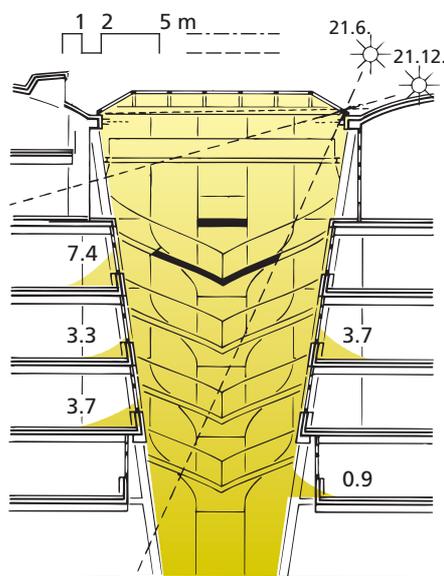
Atria dans deux bâtiments d'administration

L'atrium de Bâle fermé est ressenti comme un espace très vertical. Sa conception est perçue comme une cour intérieure.

Tandis que l'atrium de Meyrin – plus ouvert – offre une grande transparence permettant une vue totale à travers toute la profondeur du bâtiment; l'espace y est aussi multidirectionnel.

L'atrium de Meyrin est convivial de par sa fonction d'espace de rencontre comme lieu de pause et de rendez-vous. En plus, il est plus performant pour les espaces en périphérie, grâce à l'absence de façade intérieure; les valeurs dans l'espace de l'atrium lui-même ne sont pas très différentes entre les deux bâtiments. Dans les deux cas, l'apport réel de lumière naturelle pour les espaces de travail donnant sur l'atrium est presque insignifiant – donc insuffisant.

Bâle: Bureaux International Business Machines (IBM)



Lumière solaire

Grâce à la grande ouverture de l'atrium vers le haut, la lumière solaire pénètre aisément en été; le vélum à commande automatique, situé à l'intérieur, assure une bonne protection contre l'éblouissement.

Facteur de lumière du jour

Les valeurs dans l'axe ont été mesurées à l'extrémité étroite de l'atrium, alors que les valeurs sises en périphérie ont été mesurées à l'extérieur de la façade. Il est intéressant de relever la différence entre ces deux séries de mesure, mettant en évidence l'influence des réflexions sur les parois et la proportion de l'espace (valeurs plus élevées en périphérie qu'au centre).

FLJ à 3 m: 0.1%

Confort visuel et luminances

Poste de travail – position assise:	
Ergorama mesuré:	1/10
Panorama mesuré	1/55

Architecture

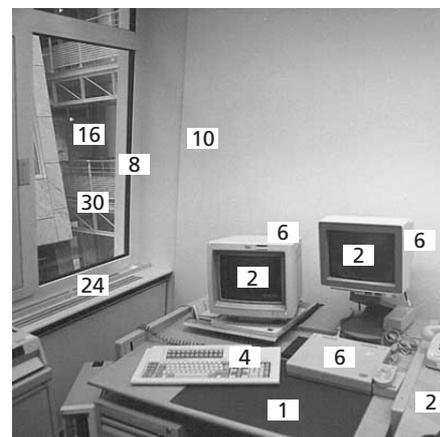
Surface de l'atrium:	260.00 m ²
Largeur:	11.00–15.00 m
Hauteur:	23.50 m
Indice d'ouverture normal:	95%
Indice d'ouverture corrigé:	74%
Transmission lumière verre I:	74%
Transmission lumière verre II:	75%
Facteur réduction enveloppe:	0.57

Vue

La perception visuelle est limitée à l'espace de l'atrium; les circulations verticales et horizontales assurent des relations visuelles occasionnelles.

Spatialité

L'espace est fortement marqué par l'inclinaison de ses façades; il est cependant statique par l'absence d'activités en son centre.



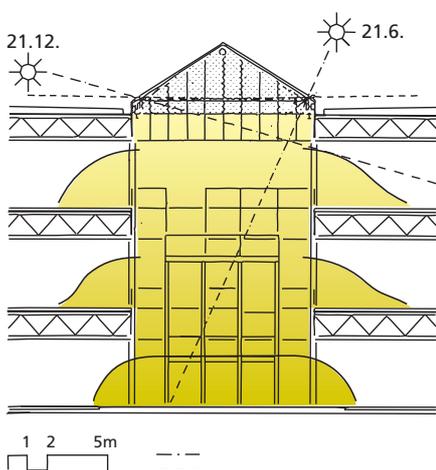
Les luminances dans le bâtiment de IBM Bâle sont homogènes dans les visions ergorama et panorama, ce qui rend ce poste de travail agréable du point de vue des contrastes. Cependant, le faible niveau d'éclairage le rend presque inutilisable du point de vue lumière naturelle.

Yves Golay
Architecte EPFL
Institut de Technique du Bâtiment (ITB)
EPFL
Lausanne



Blick in den mit Klarverglasung überdachten Innenhof von Hewlett-Packard
Architekt: Jean-Jaques Oberson, Genf

Meyrin: Bureaux Hewlett Packard (HP)



Lumière solaire

Les proportions de l'atrium permettent une bonne pénétration de la lumière solaire; le vélum à commande automatique situé à l'intérieur de la verrière de l'atrium assure une bonne protection solaire.

Facteur de lumière du jour

Dans le vide de l'atrium, le FLJ varie de 19-22% au niveau 2 et de 12-14% au niveau 0; sur la périphérie de l'atrium, il varie de 11-13% au niveau 2 et de 5-7% au niveau 0.11 est intéressant de relever que la même valeur de FLJ à chaque étage se situe sur une droite inclinée. L'abaissement de quantité de lumière se fait de manière progressive en fonction des étages.

FLJ à 3 m: 1.4%

Confort visuel et luminances

Poste de travail - position assise:	
Ergorama mesuré:	1/6
Panorama mesuré:	1/111

Architecture

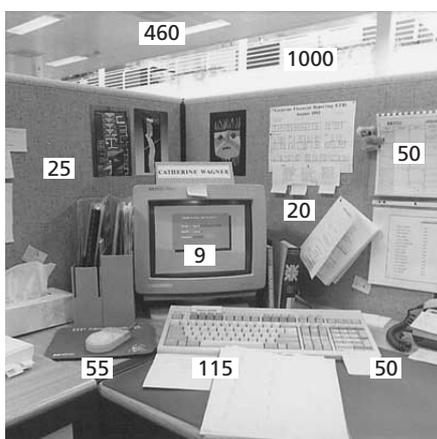
Surface Atrium:	340.00 m ²
Largeur:	9.00 m
Hauteur:	15.00-18.00 m
Indice d'ouverture normal:	100%
Indice d'ouverture corrigé:	94%
Transmission lumière verre I:	69%
Transmission lumière verre II:	100%
Facteur réduction enveloppe:	0.35

Vue

La perception visuelle est dégagée sur tous les côtés jusqu'aux façades extérieures; la grande attractivité de l'espace de l'atrium est ainsi renforcée par cette transparence.

Spatialité

L'espace très lumineux et accueillant remplit bien sa fonction d'espace de référence et de rencontre; il sert également de point de repère et d'orientation pour les visiteurs et les employés.



Les luminances sont homogènes au poste de travail; il est important de relever toutefois que l'éclairage électrique est allumé en permanence, même par temps clair. De bonnes conditions de travail ne sont pas remplies par l'apport de lumière naturelle.

● Aussicht und Raumeindruck: gut

Bei Hewlett Packard ist die Durchsicht nach jeder Seite bis zu den Aussenfassaden gewährleistet. Dank dieser Transparenz wird die räumliche Qualität des Innenhofs verstärkt. Ein heller, einladender Raum erfüllt seinen Zweck. Die Proportionen des Innenhofs begünstigen die Sonneneinstrahlung, welche über automatisch gesteuerte Sonnenstoren moduliert wird.

Bei IBM begünstigen bis auf Arbeitsebene heruntergezogenen, im Einzelfall bis zum Boden reichende Schlitzfenster die Aussenbeziehung. Raumtiefen von über 13 m erleichtern eine grosszügige Möblierbarkeit als Bürolandschaft aber gehen zulasten guter Tageslichtnutzung.

● Beschränkte Tageslichtnutzung

Der Tageslichtquotient im Luftraum des Innenhofs bei HP in Obergeschossen (19-22%) fällt bis auf Erdgeschosshöhe (12-14%) ab und ist am Innenhofrand um 6-8% niedriger. Ein Teppichbelag mit allzu niedriger Reflexion (7%) "frisst" viel Tageslicht.

Bei IBM beträgt der Tageslichtquotient maximal 5% aber auf 6/7 des Raumes weniger als 2%. Hohe Lichtverluste durch Verglasung und breite Rahmen, eine niedrige Deckenreflexion (61%) und tiefe Räume sind die wichtige Gründe für die geringe Tageslichtautonomie im Gebäude IBM.

● Guter visueller Komfort

Bei Hewlett Packard herrschen durch weiss gestrichene Metallteile kühle Farbtemperaturen vor. Im IBM-Gebäude sind homogene Leuchtdichten vorhanden. Diese erlauben störungsarmes Sehen und regen zu zurückhaltendem Einsatz der Beleuchtung an. Die Innenhöfe in beiden Objekten unterstützen den Orientierungssinn der Benutzer und das Gefühl für den Wechsel der Lichtstimmungen ausserhalb des Gebäudes.

Références:

- 1) Une analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M6 à paraître.
- 2) Un analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M3, parue en juin 1994.

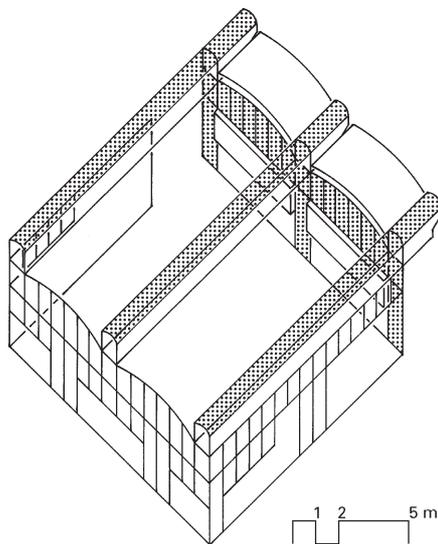
Ateliers avec ouverture zénithale

La relation des rapports plein-vide est très différente entre les deux ateliers; une transparence totale à Münsingen, de façade à façade et à travers la rue intérieure; un espace orienté à Frauenfeld par la dualité entre les ouvertures latérales et zénithales. L'impact de la lumière solaire ne doit pas être négligé du point de vue thermique avec une ouverture zénithale; le concept d'enveloppe doit donc prévoir les solutions de manière passive (avant-toit) ou à l'aide de protection fixe ou mobile; à ce titre, l'atelier de Frauenfeld n'est pas suffisamment protégé.

Le potentiel d'économie d'électricité y est très important puisqu'il y a même trop de lumière; la situation est moins grâve à Muensingen, à cause de la protection solaire intervenue après coup.

L'emplacement des postes de travail est directement lié au système d'éclairage naturel conçu.

Muensingen: Ateliers de menuiserie



Architecture

Surface:	132.00 m ²
Profondeur:	11.20 m
Hauteur:	3.60 m
Indice d'ouverture:	43%
Indice d'ouverture corrigé:	31%
Transmission lumière verre I:	73%
Transmission lumière verre II:	55%
Transmission lumière prot. sol.:	60%
Facteur réduction enveloppe:	0.62

Vue

Les vitrages verticaux, situés dans le prolongement des lanterneaux, assurent une bonne relation avec l'extérieur.

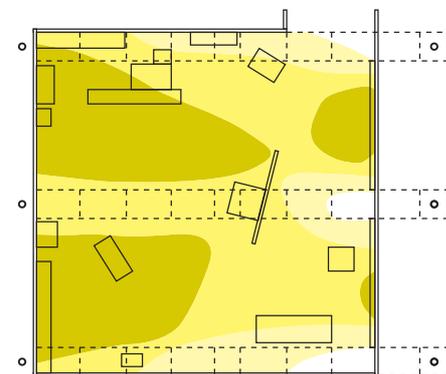
Spatialité

Les lanterneaux et la forme de toiture structurent et divisent l'espace; les vitrages intérieurs procurent une grande transparence à l'atelier.

Lumière solaire

En orientation N-O, l'avant-toit procure une protection importante en été (l'après-midi).

Facteur de lumière du jour



Le FLJ est au maximum de 6%; il est inférieur à 2% pour 4/10 du local. Les valeurs observées sont inférieures aux prévisions à cause du rajout de la protection solaire extérieure (surchauffe thermique).

FLJ à 3 m entre lanterneau:	2.2%
FLJ à 3 m sous lanterneau:	3.5%

Confort visuel et luminances

Poste de travail situé près de la façade - position debout

Ergorama mesuré:	1/4
Panorama mesuré:	1/90

Yves Golay
Architecte EPFL
Institut de Technique du Bâtiment (ITB)
EPFL
Lausanne

FLJ	Niveau d'éclairage	0-2%	2-3%	3-5%	5-10%
Autonomie*	à 300 Lux	0-25%	25-50%	50-73%	73-86%
Autonomie*	à 500 Lux	0%	0-15%	15-50%	50-78%

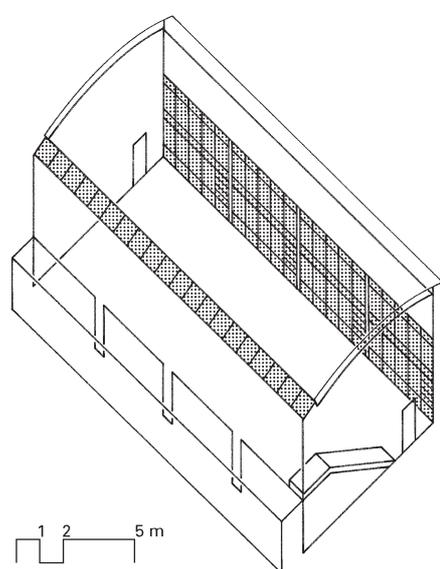
* Temps d'éclairage par la lumière du jour seule de 07.00 - 17.00 heures (en %/p.a.)

Les contrastes sont beaucoup trop élevés; il s'agit d'une situation typique à contre jour.

Typische Gegenlichtsituation durch unglückliche Anordnung der Arbeitsplätze



Frauenfeld: Ateliers garage (entretien des véhicules de la police cantonale)



Architecture

Surface	40.00 m ²
Profondeur	8.80 m
Hauteur	6.30/7.20m
Indice d'ouverture	58%
Indice d'ouverture corrigé	47%
Transmission lumière verre I	77%
Transmission lumière verre II	38%
Facteur réduction enveloppe	0.54

Vue

La relation avec l'extérieur est très bonne avec des ouvertures de 4.20 m de haut.

Spatialité

Le local est caractérisé par son ouverture zénithale qui permet au mur du fond d'être très clair; l'espace paraît ainsi encore plus grand.

Lumière solaire

La façade orientée au S-E laisse d'autant plus pénétrer le soleil qu'elle n'a pas de protection solaire; l'échauffement de l'atelier est ainsi trop important.

Facteur de lumière de jour

Le FLJ est au maximum de 24%; il n'est pas inférieur à 2% pour l'ensemble du local; les résultats sont très bons grâce au double éclairage naturel; le complément de lumière apporté par le bandeau zénithal est essentiel.

FLJ à 3 m: 6.5%

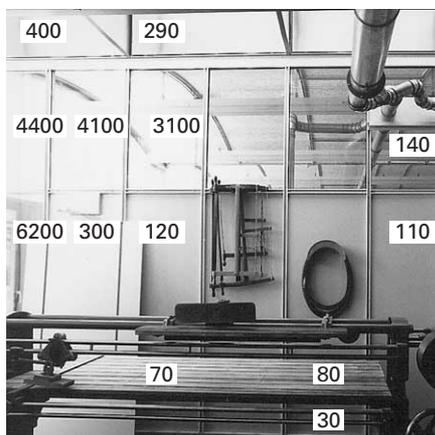
Confort visuel et luminances

Poste de travail situé au centre de l'espace – position debout

Ergorama mesuré: 1/8

Panorama mesuré: 1/204

L'analyse des luminances montre que l'emplacement des voitures n'est pas favorable pour un travail avec la lumière du jour.



La répartition des luminances est homogène pour la vision ergorama; elle est par contre plus hétérogène pour la vision panorama, car le poste est situé trop près de la fenêtre.

● Aussicht und Raumeindruck: gut

Die Vertikalöffnungen in der Verlängerung der Oberlichtbänder gewährleisten in Münsingen eine gute Beziehung zum Aussenraum und gliedern, zusammen mit dem tonnenförmigen Dach, den Raum. In den Werkstätten von Frauenfeld ist die Beziehung nach aussen durch die 4.20 m hohen, verglasten Tore hervorragend. Die Zenitallichtöffnung lässt die hintere Raumwand sehr hell erscheinen; der Raum erscheint damit zudem grösser.

● Optimale Tageslichtnutzung

In Münsingen beträgt der Tageslichtquotient maximal 6%, für 4/10 des Raumes jedoch weniger als 2%. Ein später hinzugefügter Sonnenschutz (fest installiert über den Längsoberlichtern) hat die ursprünglich besseren Werte verschlechtert. Die Lichtverteilung im Raum wird dank dem streuenden Material des Oberlichts und dem in der Tragstruktur integrierten Reflektor gut unterstützt.

In Frauenfeld beträgt der Tageslichtquotient dank der doppelten natürlichen Belichtung maximal 24% und ist nirgends niedriger als 2%! Der südostorientierte Raum wird durch die hohen Glastore erheblich erwärmt, da absolut kein Sonnenschutz vorhanden ist.

● Visueller Komfort z.T. ungenügend

In Münsingen sind die Leuchtdichten am Arbeitsplatz (Ergorama) homogen, für den Gesamttraum (Panorama) jedoch heterogen. Die Farbtemperatur ist dank dem rot gefärbten Bodenbelag niedriger

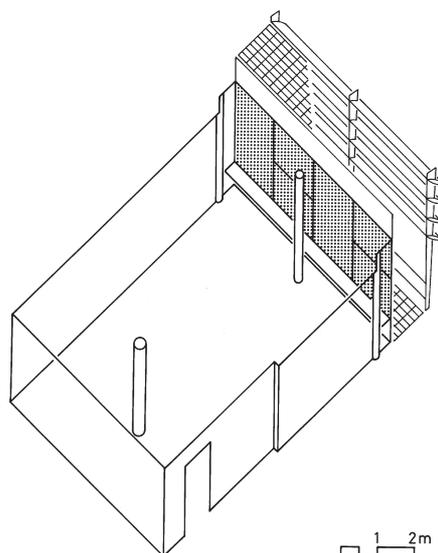
Références:

- 1) Une analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M1 parue en novembre 1994.
- 2) Une analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M11 à paraître.

Coursives et protection solaire

La comparaison de deux systèmes de coursives et protection solaire diamétralement opposé est intéressante: l'expression de l'horizontalité est marquée au BFSH1 par l'ombre de la coursive pleine – à Lucerne par les lignes diffuses et multiples des lamelles. Le contact visuel est plus complet au BFSH1 qu'à Lucerne ou la protection solaire demeure en permanence devant les yeux. Une coursive pleine – intéressante du point de vue thermique – est un frein au passage de la lumière. Une protection solaire permanente représente un obstacle à la pénétration de lumière. L'orientation du mobilier est prépondérante pour le confort visuel du poste de travail.

Lucerne: Bureaux dans le bâtiment administratif à la gare



Lumière solaire

Les lamelles orientables permettent un réglage de l'apport solaire; l'efficacité du point de vue thermique est amoindrie par la coursive en caillebotis.

Facteur de lumière du jour

Le FLJ est au maximum de 6%; il est inférieur à 2% pour 7/10 du local. Les valeurs observées sont nettement atténuées par la protection solaire: le FLJ passe de 56 à 17% au droit de la coursive. Le décrochement du faux-plafond est un obstacle à la pénétration de la lumière. FLJ à 3 m: 1.7%

Confort visuel et luminances

Poste de travail situé au près de la fenêtre – position assise

Ergorama mesuré:	1/8
Panorama mesuré:	1/280

Architecture

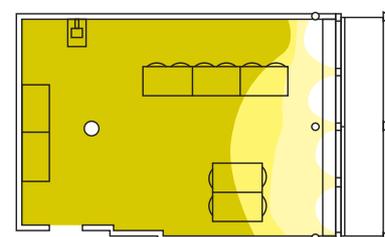
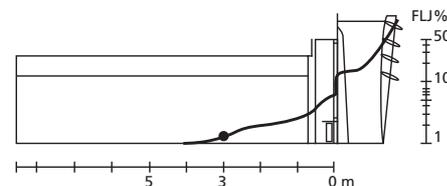
Surface:	50 m ²
Profondeur:	8.5 m
Hauteur:	2.4 m
Indice d'ouverture:	26%
Indice d'ouverture corrigé:	20%
Transmission lumière verre:	78%
Transmission lumière prot. sol:	30%
Facteur réduction enveloppe:	0.82

Vue

La disposition des menuiseries et des lamelles de protection solaire assure une relation avec l'extérieur optimale en vue horizontale. Le niveau bas du contre-cœur améliore le contact avec l'extérieur en position assise.

Spatialité

La faible hauteur procure une sensation d'écrasement, accentuée par les grandes dimensions de l'espace et atténuée par la clarté de l'espace.



Si la vision ergorama ne prend pas en compte une portion de la fenêtre, les contrastes sont bons. Au contraire, en vision panorama les contrastes sont trop élevés à cause de la proximité de l'ouverture. Par contre, les stores intérieurs à lames verticales permettent de bien moduler la lumière, surtout par ciel clair.

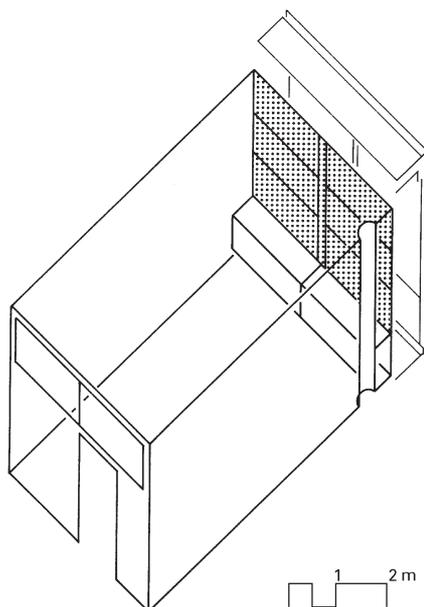
Yves Golay
Architecte EPFL
Institut de Technique du Bâtiment (ITB)
EPFL
Lausanne

Les contrastes sont trop élevés en vision ergorama; ils sont mieux adaptés en vision panorama. L'écran est mal orienté et situé près de la fenêtre. Le store du voisin, qui ne peut être descendu, crée une gêne visuelle selon la position du soleil.

Hohe Kontraste im Gesichtsfeld sind unumgänglich – nicht zuletzt wegen der dunkelroten Fensterrahmen



Lausanne: Bureaux de l'Université BFSH1



Architecture

Surface:	21 m ²
Profondeur:	6 m
Hauteur:	3 m
Indice d'ouverture:	36%
Indice d'ouverture corrigé:	30%
Transmission lumière verre	84%
Transmission lumière prot.sol	44%
Facteur réduction enveloppe	0.70

Vue

L'ouverture basse améliore la vue en position assise. La division des vitrages permet une bonne relation avec l'extérieur. Les stores situés à l'extérieur de la coursive sont orientables individuellement depuis chaque bureau, permettant de garder le contact visuel avec le parc.

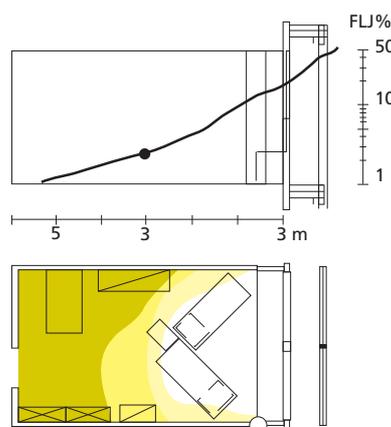
Spatialité

Le vitrage sur toute la largeur du bureau ouvre l'espace vers l'extérieur avec générosité.

Lumière solaire

La retombée (caisson de store) de la coursive atténue l'ensoleillement de manière significative; les possibilités de réglage du store individuellement et/ou collectivement garantissent une protection thermique optimale.

Facteur de lumière du jour



Le FLJ est au maximum de 12%; il est inférieur à 2% pour 4/10 du local. Impact de la coursive: le FLJ passe de 45 à 20% au droit de la coursive. Le store baissé avec les lamelles en position horizontale réduit par ex. le FLJ de 9 à 3% à 1 mètre de la fenêtre.

FLJ à 3 m: 2.6%

Confort visuel et luminances

Poste de travail situé au près de la fenêtre – position assise	
Ergorama mesuré:	1/30
Panorama mesuré:	1/32

FLJ	Niveau d'éclairage	0–2%	2–3%	3–5%	5–10%
Autonomie*	à 300 Lux	0–25%	25–50%	50–73%	73–86%
Autonomie*	à 500 Lux	0%	0–15%	15–50%	50–78%

* Temps d'éclairage par la lumière du jour seule de 07.00–17.00 heures (en %/p.a.)

● Aussicht und Raumeindruck: gut

Im BFSH1 öffnen die über die ganze Raumbreite reichenden Bandfenster den Raum grosszügig und die Aussicht ist dank einer niedrigen Brüstung in sitzender und stehender Position gut. Die Sturzkonstruktion des am Laufsteg montierten Sonnenstorens vermindert den Lichtgewinn um ca. 20 bis 45%! In Luzern gewährleisten die beweglichen Sonnenschutzlamellen in geöffneter Stellung einen guten Aussenbezug und trotzdem einen für die Sommermonate wichtigen Sonnenschutz.

● Bescheidene Tageslichtnutzung

Der Tageslichtquotient beträgt im BFSH1 maximal 12%, jedoch für 4/10 des Raumes weniger als 2% und fällt – 1 m ab Fenster – bei abgesenkter Store mit Lamellen in Horizontalposition von 9% auf 3% ab.

In Luzern beträgt der Tageslichtquotient maximal 6% aber für 7/10 des Raumes weniger als 2%. Die herabgesetzte Decke, die vorgehängte Lamellenkonstruktion – auch wenn verstellbar – sowie eine niedrige Bodenreflexion (12%) beeinträchtigen die Tageslichtnutzung.

● Mässiger visueller Komfort

Am BFSH 1 ist in Fensternähe – wo man naheliegenderweise seinen Bildschirm aufstellen möchte – der visuelle Komfort durch hohe Leuchtdichtekontraste beschränkt.

In Luzern sind die Leuchtdichtekontraste am Arbeitsplatz gleichmässig (Infeld) im ganzen Raum weniger verteilt. Positiv hervorzuheben ist der Einfluss lichtstreuender Lamellen. Punkto Farbtemperatur ist die

Références:

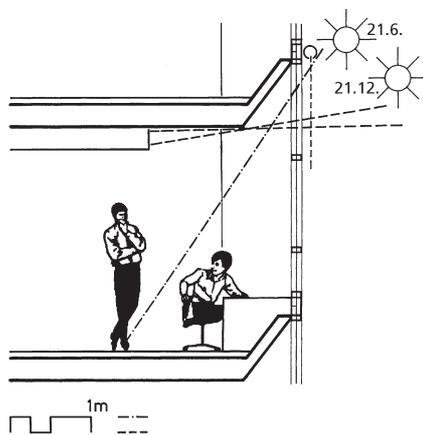
- 1) Un analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M5, parue en août 1994.
- 2) Un analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M7 à paraître.

Eclairage lateral

La comparaison entre un système traditionnel d'ouverture à Frauenfeld et particulier à Berne est intéressante.

L'indice d'ouverture des deux bâtiments est très différent, soit une grande ouverture (40%) et une moyenne (25%). Le contact visuel avec l'extérieur est alors évidemment dépendant de cette ouverture. La disposition des menuiseries à Berne est judicieuse, assurant tant le contact visuel en position assise et debout; de plus, la réduction de l'indice d'ouverture corrigé est faible grâce aux menuiseries fines et à la limitation des ouvrants. A l'inverse, à Frauenfeld, les menuiseries prennent trop d'importance, réduisant encore davantage la surface vitrée. Une situation comme celle de Berne doit avoir une protection solaire très efficace ou une orientation adaptée.

Berne: Laboratoire de l'institut pathologique de l'Université de Berne



Architecture

Surface:	53 m ²
Profondeur:	7.45 m
Hauteur:	2.65 m
Indice d'ouverture:	40%
Indice d'ouverture corrigé:	30%
Transmission lumière verre	75%
Facteur réduction enveloppe	0.44

Vue

Les vitrages sont situés à la hauteur du plan de travail et assurent une bonne relation avec l'extérieur; la vue est orientée sur les bâtiments sur rue.

Spatialité

L'espace-fenêtre est défini de manière particulière: structure-embrasure en béton, décrochement du plafonds et dalle inclinée.

Lumière solaire

En orientation N-E, la lumière directe pénètre très profondément (4.3 m) mais peu longtemps le matin.

Facteur de lumière du jour

Le FLJ est au maximum de 10%; il est inférieur à 2% pour 5/10 du local. Les valeurs observées sont élevées grâce à la prise de jour supérieure qui permet de prendre en compte une partie de la lumière du zénith.

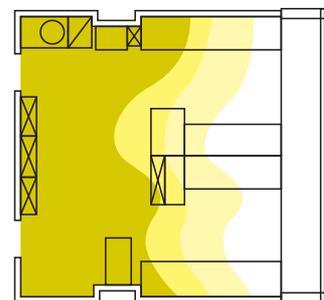
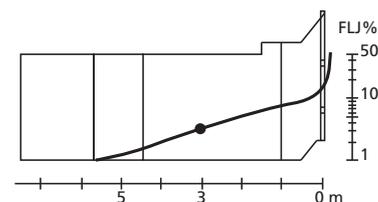
FLJ à 3 m: 3.8%

Confort visuel et luminances

Poste de travail situé à 2 m de la fenêtre – position assise

Ergorama mesuré:	1/3
Panorama mesuré:	1/27

FLJ à 3m: 3.8%



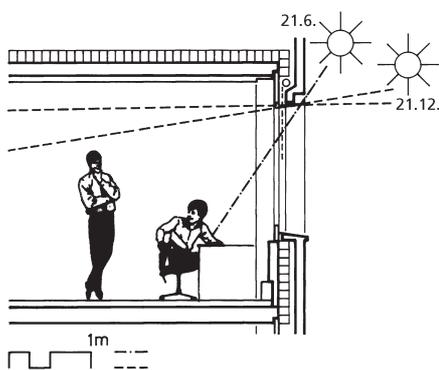
Les luminances sont très homogènes pour le poste de travail, placé perpendiculairement aux fenêtres. L'environnement visuel est ainsi bien adapté.

FLJ	Niveau d'éclairage	0-2%	2-3%	3-5%	5-10%
Autonomie*	à 300 Lux	0-25%	25-50%	50-73%	73-86%
Autonomie*	à 500 Lux	0%	0-15%	15-50%	50-78%

* Temps d'éclairage par la lumière du jour seule de 07.00-17.00 heures (en %/p.a.)

Yves Golay
Architecte EPFL
Institut de Technique du Bâtiment (ITB)
EPFL
Lausanne

Frauenfeld: Bureaux de la police cantonale



Architecture

Surface:	25 m ²
Profondeur:	5.3 m
Hauteur:	2.7 m
Indice d'ouverture:	25%
Indice d'ouverture corrigé:	16%
Transmission lumière verre	77%
Facteur réduction enveloppe	0.51

Vue

La relation avec l'extérieur est bonne; le contrecoeur plus haut qu'au rez rend moins intéressant le contact avec l'extérieur en position assise. Par contre, le rideau intérieur qui ne peut être tiré complètement perturbe le rapport avec l'extérieur.

Spatialité

Le local est caractérisé par sa double ouverture de grande dimension.

Références:

- 1) Un analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M4, à paraître en janvier 1995.
- 2) Un analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M11 à paraître.

Lumière solaire

La façade orientée au N-E est peu mise à contribution par le soleil; de ce fait, le store en toile à projection est suffisant du point de vue thermique.

Facteur de lumière du jour.

Le FLJ est au maximum de 12%; il est inférieur à 2% pour 7/10 du local. Le rideau intérieur, conçu en quatre panneaux qui se tirent deux par deux devant la fenêtre, ne peut jamais totalement être enlevé; cela contribue fortement à un abaissement de la quantité de lumière. Le coefficient τ du panneau simple est de 48% et de 32% pour le double.

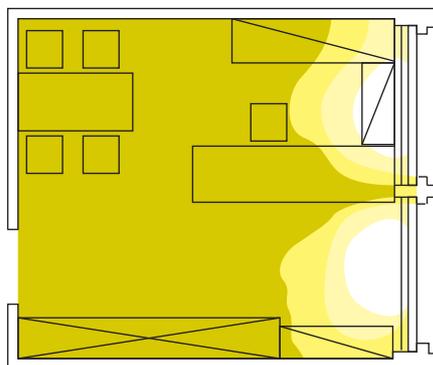
FLJ à 3 m: 1.0%

Confort visuel et luminances

Poste de travail situé à 2 m de la fenêtre – position assise

Ergorama mesuré: 1/14

Panorama mesuré: 1/353



Même si l'analyse des luminances semble peu favorable, le double système de store et rideau permet un réglage multiple de la lumière naturelle. Les meubles en bois et les sous-mains de couleur sombre créent des contrastes trop importants avec une feuille blanche.

● Aussicht und Raumeindruck: gut

In den Labors des pathologischen Institutes in Bern reichen die Fenster bis auf die Arbeitsebene hinunter. Sie vermitteln einen guten Aussenkontakt. In Frauenfeld wirken die Innenvorhänge störend. Hingegen vermittelt die textile Ausstellstore selbst bei Sonnenschein noch etwas Aussenkontakt nach unten.

● Intelligente Tageslichtnutzung

Dank des «Deckenknicke» unmittelbar hinter dem Fenster und mit relativ hohen Reflexionswerten (Boden 30%; Wände 84%; Decke 81%) wartet Bern mit guten Tageslichtwerten auf: Der Tageslichtquotient beträgt maximal 10% liegt aber in der Hälfte des Raumes unter 2%. In Frauenfeld wurde die Fensterhöhe – parallel zur Geschosshöhe – von oben nach unten erhöht. Damit werden ungünstige Umgebungseinflüsse (dunkle Umgebungsflächen, Bäume, Büsche oder Nachbarhäuser) auf intelligente Weise kompensiert! Der Tageslichtquotient ist in Frauenfeld maximal 12% liegt aber auf 7/10 des Raumes unter 2%. Leider schluckt eine allzu leistungsfähig konzipierte Akustikdecke neben dem Lärm viel Licht (Reflexionswert: 60%).

● Mittlerer visueller Komfort

Die gemessenen Leuchtdichten sind in Bern gleichmässig verteilt. Die Farbtemperaturen sind hoch – also kalt. Dies regt die Benutzer zum Einschalten des Kunstlichtes an, weil damit eine wärmere Lichtstimmung erzeugt wird. Ein Leuchtdichtevergleich in Frauenfeld zeigt ungünstige Werte – dunkle Möbel und Schreibunterlagen wirken hier gleichermassen lichtfressend wie kontraststeigernd. Hingegen ist das Lichtambiente individuell anpassbar.

Propositions d'amélioration

L'objet de ce chapitre est de montrer qu'il est possible d'améliorer significativement les performances en éclairage naturel des bâtiments, sans pour autant remettre en cause fondamentalement leur architecture.

Bernard Paule
Architecte
CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève

Domaines d'interventions

L'analyse des bâtiment diagnostiqués dans le cadre des programmes RAVEL et LUMEN fait ressortir trois domaines principaux d'interventions possibles qui sont illustrés dans le Tableau 1. Les propositions d'amélioration qui figurent ici ont une finalité purement didactique, et ne tiennent pas compte des critères esthétiques ayant prévalu à la conception.

Caractéristiques extérieures

Les éléments constructifs situés à l'extérieur du bâtiment, avant les vitrages, influent directement sur la quantité de lumière disponible. Parmi ceux-ci, on distinguera principalement:

- les protections solaires
- les coursives
- les systèmes de déviation de la lumière en direction du plafond.

On remarquera que quatre bâtiments, sur les douze diagnostiqués, pourraient voir leur protection solaire modifiée (changement de matériau, déplacement de la protection, modulation saisonnière).

Caractéristiques des ouvertures

Le transfert de la lumière naturelle vers l'intérieur dépend directement de trois facteurs:

- le facteur de transmission des vitrages
- la taille des vitrages
- l'importance des menuiseries

Cinq des douze bâtiments analysés peuvent être améliorés selon l'un ou l'autre de ces critères. Ceci est particulièrement intéressant dans la mesure où il n'y a pas ici d'ajout de technologie, et donc pas de surcoût si ces critères sont intégrés dès la phase de conception du projet.

Caractéristiques intérieures

La façon selon laquelle la lumière interagit avec les surfaces intérieures des locaux influe considérablement sur les niveaux de facteur de lumière du jour disponibles, ainsi que sur la répartition des luminances dans le champvisuel. Parmi les critères influents, on distingue notamment:

- les facteurs de réflexions des parois
- la géométrie du faux-plafond
- la présence d'une tablette devant le vitrage.

Rappelons que les valeurs «cible» concernant les facteurs de réflexion des parois sont les suivantes: Sol: 0.30, Murs: 0.50, Plafond: 0.70.

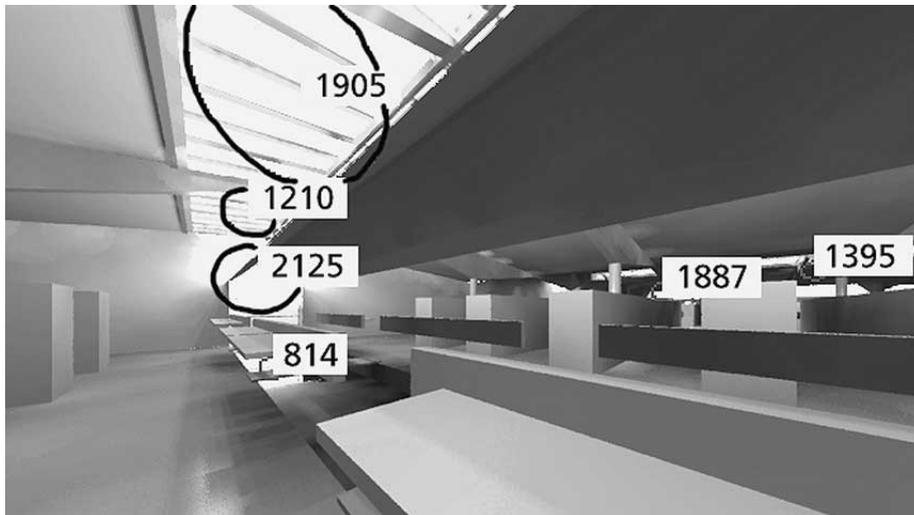
	Ecole de Tannay	BFSH1 Dorigny	Denkraum	Atelier Münsingen	Institut Path. Berne	Bureaux IBM Bâle	Garage Coire	Bureaux Lucerne	S. de conférence Zurich	Bureaux Combi Soleure	Police cant. Frauenfeld
Sonnenschutz / Protection solaire											
Lichtumlenkung / Système déviateur											
Wartungsbalkon / Coursives											
Lichtdurchlass / Facteurs de transmission vitrages											
Rahmenanteil / Réduction menuiseries											
Sturzausbildung / Dimension du linteau											
Photometrie / Facteur de réflexion revêtements											
Deckengeometrie / Géométrie faux-plafond											

Caractéristiques extérieures

Caractéristiques des ouvertures

Caractéristiques intérieures

Image de synthèse mettant en évidence la répartition des luminances dans le champ visuel. Simulation radiance, Imprimerie Schönbühl, Architect: Atelier CUBE



Mit Synthesebildern können die Veränderungen von Photometrie oder Öffnung simuliert werden

Parmi les douze bâtiments diagnostiqués, neuf d'entre eux pourraient voir leurs caractéristiques intérieures améliorées. On remarquera que le nombre de cas pour lesquels les facteurs de réflexion peuvent être améliorés est le plus important. Ceci est d'autant plus remarquable que ce type d'amélioration n'entraîne par de surcoût au niveau de la construction. Par ailleurs, les améliorations peuvent être incluses dans des opérations de rafraichissement des locaux.

Bâtiments analysées

Afin d'illustrer les possibilités d'amélioration des performances en éclairage naturel, nous avons sélectionné quatre des douze bâtiments diagnostiqués.

Nature des modifications

BFSH1 Dorigny

- Déplacement de la coursive externe

Bureaux Lucerne

- Impact de la mobilité des lames extérieures assurant la protection solaire.
- Remplacement des lames en aluminium (opaques) par des lames translucides.
- Augmentation du facteur de réflexion du sol.

Bureaux HP Meyrin:

- Découpe en biais du faux plafond sur l'atrium,
- Mise en place d'un déflecteur,
- Augmentation du facteur de réflexion du sol.

Police cantonale Frauenfeld

- Réduction des menuiseries
- Augmentation de la taille des vitrages par réduction de la retombée du linteau,
- Augmentation du facteur de réflexion du sol.

Conditions de simulation

Pour chacun des cas traités une simulation numérique à l'aide du progiciel ADELINÉ a été effectuée. A chaque fois, l'état initial a été simulé sur la base des données mesurées lors du diagnostic.

La comparaison des résultats avec les mesures indique une bonne corrélation. L'écart moyen relatif est en effet de 10% dans le cas de Frauenfeld et du BFSH1, et de 15% dans le cas de Meyrin et de Lucerne.

La comparaison entre l'état initial et les modifications proposées est basée sur l'analyse des critères suivants:

- Profils de facteur de lumière du jour (Valeurs calculées à 0,80 m du sol, ciel couvert CIE).
- Autonomie en éclairage naturel (Couverture des besoins par la lumière naturelle seule, sur la base d'un niveau d'éclairage intérieur requis de 300 lux). Le choix de cette valeur de 300 lux correspond à l'éclairage ambiant, étant entendu que ponctuellement, un éclairage plus élevé peut être assuré par un éclairage à la tâche. (1).
- Répartition des luminances, visualisée par images de synthèse (à niveaux de gris identiques les luminances sont égales)
- Confort visuel par fraction prévisible d'insatisfaits (%) déterminée d'après l'indice (2) pour un observateur situé à 1,50 m de la paroi vitrée - direction de regard parallèle au plan du vitrage, hauteur de l'œil 1,20 m.

Références

- 1) «Innenraumbelichtung mit Tageslicht», Association Suisse des Electriciens; SEV 1989
- 2) «Computing Visual Rating for a Specific Interior Lighting Installation»; S. K. Guth; Illuminating Engineering Journal, pp. 634 ff, October 1996

● Eine Analyse der im Rahmen der LUMEN und RAVEL-Fallstudien untersuchten Fallbeispiele zeigt verschiedenste Interventionsmöglichkeiten. Diese können in drei typische Einflussbereiche zusammengefasst werden: Anpassung der Sonnenschutzkonstruktion bzw. Klima-Service-Fassaden, Verbesserung des Öffnungsdispositivs oder Optimierung der photometrischen Eigenschaften im Innenraum.

● In drei Viertel der untersuchten Bauten (9 von 12 Beispielen) können die Reflexionsfaktoren oder die Decken- bzw. Fenstersimsgometrie verbessert werden. Interessanterweise liegt hier ein enormes Sparpotential brach, da die photometrischen Eigenschaften eines Raumes selbst bei Sanierungen noch «aufpoliert» werden können.

● In fast der Hälfte der Fälle (5 von 12 Beispielen) ist das Öffnungsdispositiv verbesserungswürdig. Sei es, dass der Transmissionswert der Gläser erhöht, die Fensteröffnung vergrößert, oder dass der Rahmenanteil reduziert werden sollte. Diese «Restrukturierungsmaßnahmen» sind im Projektstadium generell kostenlos oder mit geringen Mehrkosten verbunden.

● In einem Viertel der untersuchten Fälle (3 von 12 Beispiele) wird ein optimaler Tageslichtzutritt durch vor dem Fenster liegende Konstruktionen beeinträchtigt. Ein unglücklich angeordneter Sonnenschutz, eine «lichtfressende» Klima-Service-Fassade oder fehlende Tageslicht-Umlenkungssysteme geben Anhaltspunkte für mögliche Verbesserungen.

● Nachfolgend werden typische Verbesserungsmaßnahmen mit numerischen Simulationen durchgerechnet und dabei das Sparpotential bestimmt.

● Die Ergebnisse haben prioritär didaktischen Wert und sollen keinesfalls als Kritik der ästhetischen Qualitäten des gebauten Architekturprojektes verstanden werden. Sie zeigen jedoch ein erhebliches Sparpotential, welches ohne Komfortverlust aktiviert werden kann.

Impact d'une réduction des menuiseries

Le bâtiment analysé (Police cantonale de Frauenfeld) présente des menuiseries très importantes (indice d'ouverture = 16.5%). L'opération a donc consisté, dans un premier temps, à diminuer le nombre des menuiseries tout en conservant un ouvrant pour chaque élément de la trame (indice d'ouverture = 20.6%). Dans un deuxième temps, des menuiseries plus fines ont été utilisées et la retombée du linteau a été réduite de 15 cm (indice d'ouverture = 24.1%). Par ailleurs, pour cette dernière simulation, le vitrage a été considéré comme «propre» ($\tau = 0,80$).

Impacts facteurs de lumière du jour

La première modification (réduction des menuiseries) induit une hausse moyenne du FLJ de 40% pour les deux premiers mètres de la pièce, et de 55% pour la zone située entre 2 et 4 m de l'ouverture. La deuxième modification (vitrages propre et transparents) entraîne une multiplication par 2.2 des niveaux d'éclairement.

Meilleure autonomie en éclairage

La réduction des menuiseries entraîne un décalage de la courbe d'autonomie d'environ 1.50 m vers l'intérieur de la pièce. La moitié du local dispose ainsi d'une autonomie supérieure à 50%, contre moins du quart de la pièce dans le cas initial.

Confort visuel identique

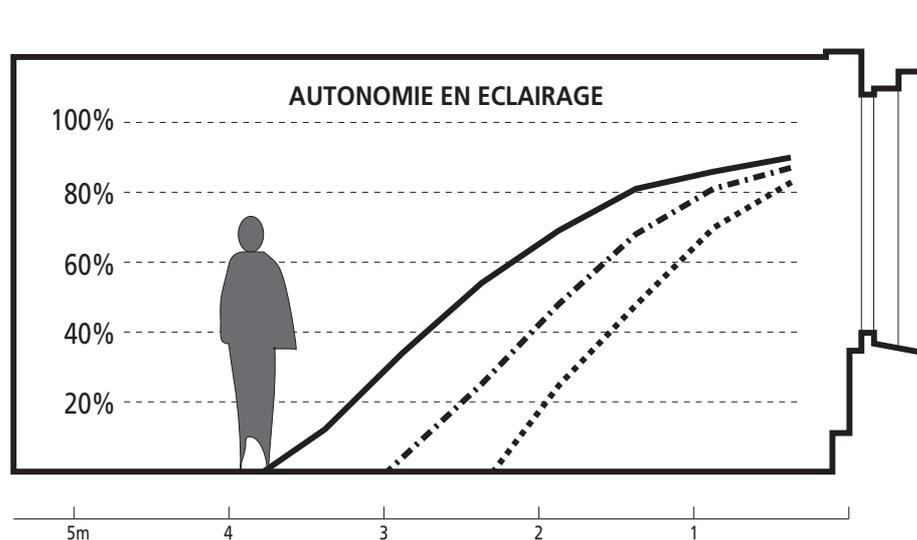
Les vitrages propres et transparents ont une influence négligeable sur le pourcentage d'insatisfaits (38% contre 39% dans

le cas initial). Cette modification induit une légère hausse de l'inconfort puisque la fraction prévisible d'insatisfaits passe de 39% à 42%.

Celle-ci reste cependant peu significative, et s'explique principalement par l'augmentation de la luminance du ciel (plus 28% par rapport au cas initial) du fait de la propreté du vitrage.

Observations importantes

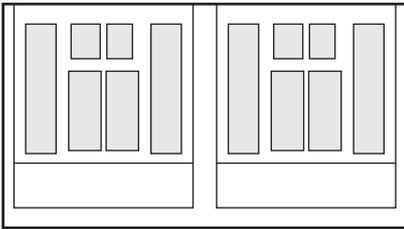
- Dans bien des circonstances, la réduction des menuiseries (rationalisation des ouvrants) va de paire avec une réduction des coûts, comme c'est le cas ici.
- Le nettoyage régulier des vitrages permet d'augmenter considérablement les niveaux d'éclairement.
- Les menuiseries doivent être de couleur claire, de façon à réduire le contraste de luminance avec le vitrage.



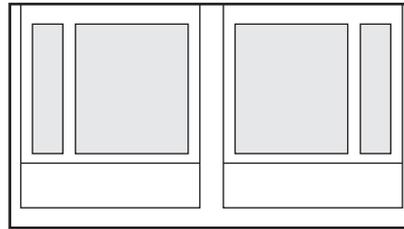
Durch weniger und schmalere Rahmen wurde der Öffnungsanteil um 6% erhöht. Zusätzlich kann durch lichtdurchlässige, saubere Gläser und zur Seite gezogene Vorhänge die Tageslichtautonomie bei identischen Leuchtdichten bis zur Raummitte erhöht werden. Zierlichere Rahmen und lichtdurchlässige Gläser sind Teil eines kostengünstigsten und wirkungsvollsten Weges, um den Energieaufwand bei der Beleuchtung direkt und effektiv zu senken.

Bernard Paule
Architecte

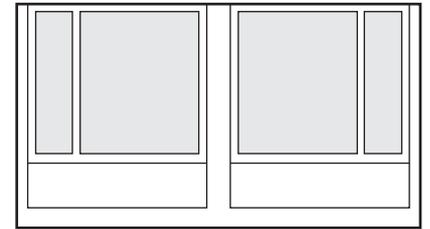
CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève



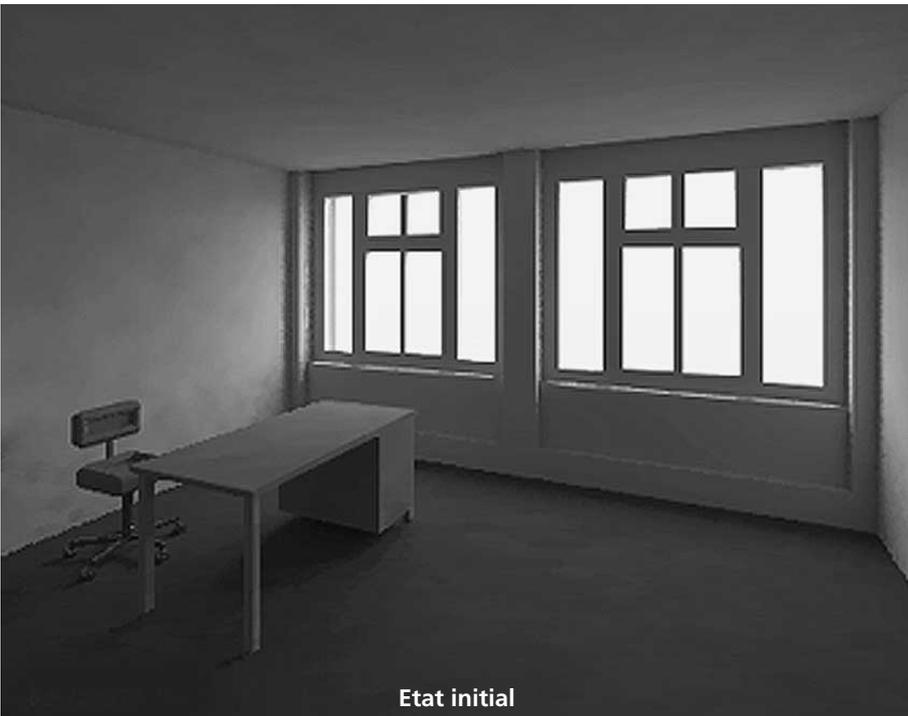
.....
 Etat initial
 Indice d'ouverture corrigé : 16,5%
 τ vitrage : 0.65



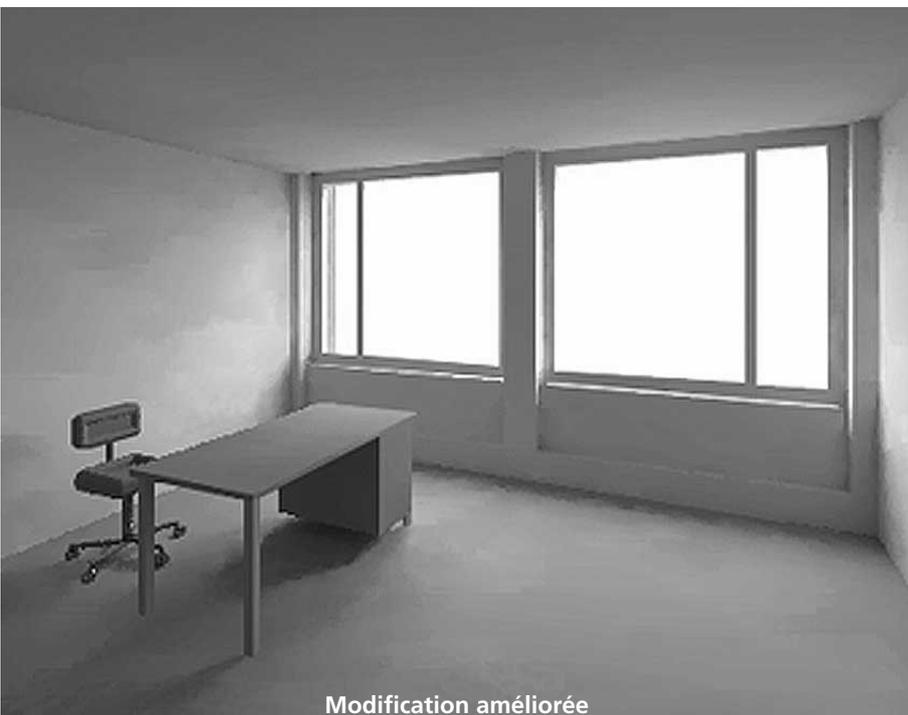
 Modification 1
 Indice d'ouverture corrigé : 20.6%
 τ vitrage : 0.65



—————
 Modificatrion 2
 Indice d'ouverture corrigé : 24.1%
 τ vitrage : 0.80



Etat initial



Modification améliorée

● Schlanke Profile wählen!

Kaum zu glauben, aber durch Simulation nachgewiesen: mit schlankeren Fensterprofilen, geringerem Sprossenanteil und etwas hellerem Boden kann der Tageslichtquotient in Raummitte (2 bis 4 m innerhalb des Fensters) um mehr als die Hälfte (55 %) vergrößert werden.

● Über 50% Tageslichtautonomie

Eine erhöhte Tageslichtautonomie in der hinteren, dunkleren Raumhälfte wirkt der Tendenz entgegen, beim Betreten des Raumes («düsterer» Raumeindruck) unreflektiert das Kunstlicht einzuschalten. Dies gelingt dank dem reduzierten Rahmenanteil tatsächlich, da die «kritische» Tageslichtautonomie (über 50% der Bürozeit ohne Kunstlicht) bis zur Raummitte verlagert wird.

● Transparenz, Gläser, Vorhänge etc.

Nicht überall kann oder will sich ein Bauherr hochtransparente Fenstergläser, den Wegfall von Innenvorhängen oder eine periodische Fensterreinigung leisten. Wenn kumuliert, beeinflussen diese Faktoren jedoch den resultierenden Tageslichtdurchgang ganz erheblich.

● Rationelle Öffnungsdisposition

In vielen Fällen geht eine rationelle Öffnungsdisposition – vor allem der Verzicht auf unnötige Flügel und breite Rahmen – einher mit einer kostengünstigeren Bauweise: «Mehr Licht bei geringeren Baukosten» heisst die Devise!

● Blendschutz

Ein höherer Tageslichteinfall durch Lateralfenster erhöht tendentiell die Blendanfälligkeit (ca. 3%). Dies erinnert daran, dass ein arbeitsplatzorientierter Blendschutz an einem modernen Bildschirmarbeitsplatz zur Standardausrüstung jedes Büros zählen sollte.

Influence de la position des coursives

Le bâtiment (BFSH 1 à Dorigny) possède une coursive, située au même niveau que les planchers intérieurs, dont la largeur totale est de 80 cm.

Si la coursive avait été placée au niveau supérieur de l'allège, afin de dégager le vitrage supérieur, les pénétrations lumineuses dans la pièce auraient été augmentées.

Impacts facteurs de lumière du jour

L'augmentation moyenne du FLJ est de 28% pour la zone située entre 1 et 4 m de l'ouverture, avec un gain maximum de 50% à 2 m.

Meilleure autonomie en éclairage

L'autonomie en éclairage naturel subit une augmentation de 10% à 2 m et de 20% à 4 m. Ceci représente de une à deux heures d'économie par jour.

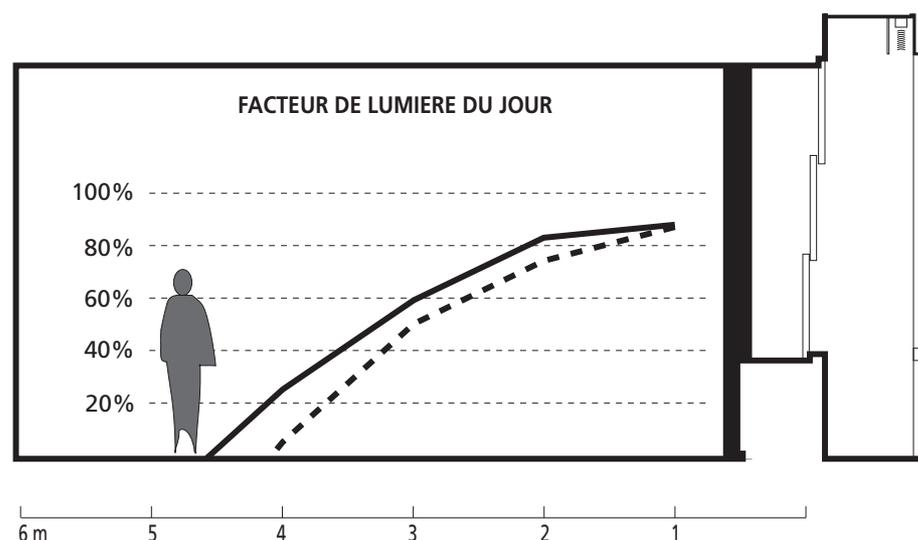
Confort visuel amélioré

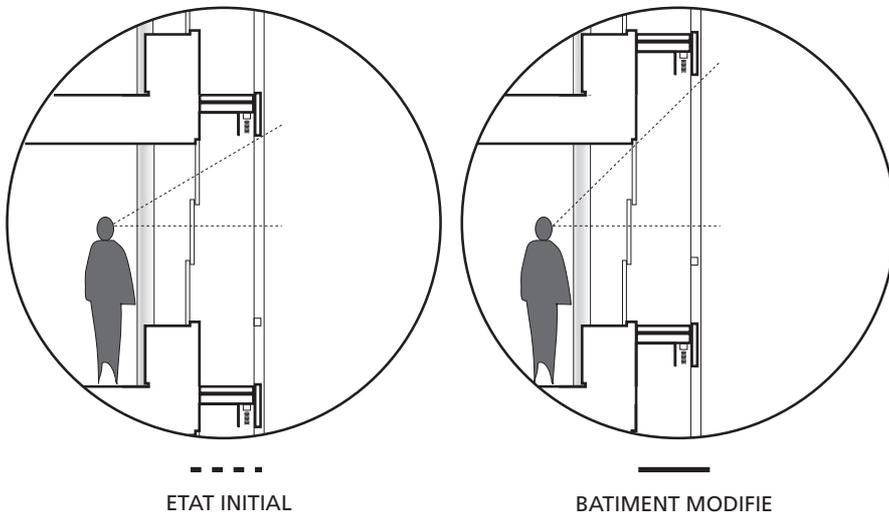
La modification du positionnement de la coursive se traduit par une amélioration légère du confort visuel (le pourcentage d'insatisfaits passe de 66% à 62%). Cette amélioration est surtout due à l'augmentation de l'éclairement pupillaire. Les rapports L_{min}/L_{moy} et L_{moy}/L_{max} sont constants dans les deux cas de figure.

Observations importantes

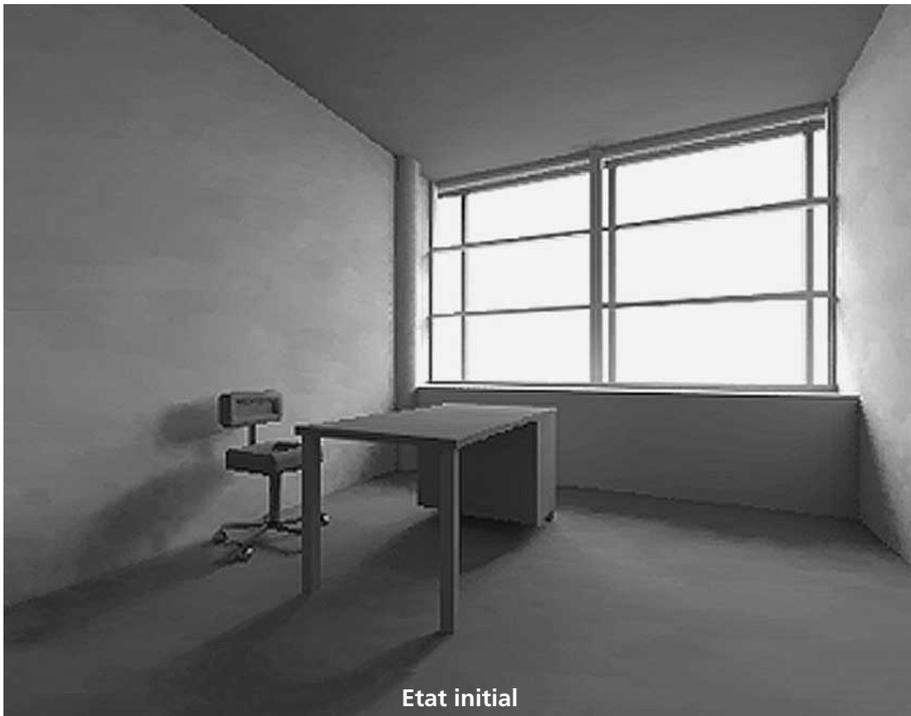
● Au cas où le bâtiment serait situé dans un environnement plus contraignant (masques extérieurs représentant un angle d'obstruction de 30°), les gains apportés par le déplacement de la coursive seraient beaucoup plus significatifs (augmentation de l'autonomie en éclairage de 25% entre 1 et 2 m, et de 40% entre 2 et 3 m). Ceci représente respectivement une économie potentielle de 2h30 à 4h par jour.

● Le fait de dégager la partie haute des vitrages est primordial pour l'éclairage des zones les plus éloignées de la façade. Les gains entraînés par la réflexion de la lumière sur un élément extérieur (ici la coursive) restent modestes.





Der Verbesserungsvorschlag betrifft eine geänderte Anordnung des Fluchtbalkons auf Brüstungshöhe. Damit kann lichtergiebiger Zenitlicht ungehindert eindringen. Zudem wurde der Einfluss eines etwas helleren Bodenbelages gerechnet.



● **Eingeschränkte Zenitalbelichtung**

Klima-Service-Fassaden mit äusseren Fluchtbalkonen werden an Instituts- und Bürogebäuden, Krankenhäusern, in Labors oder Schulen, weltweit erstellt. In der Regel liegt die Höhe des Fluchtbalkons etwa auf der Höhe des Fussbodens – und derjenige des nächsthöheren Geschosses um eine Stockwerkshöhe darüber. Durch die verschattende Fluchtbalkon-Konstruktion wird der Lichtzutritt auch bei transparenter Bauart (z.B. Gitterroste) eingeschränkt.

● **Aufgepasst bei Verbauungsgrad**

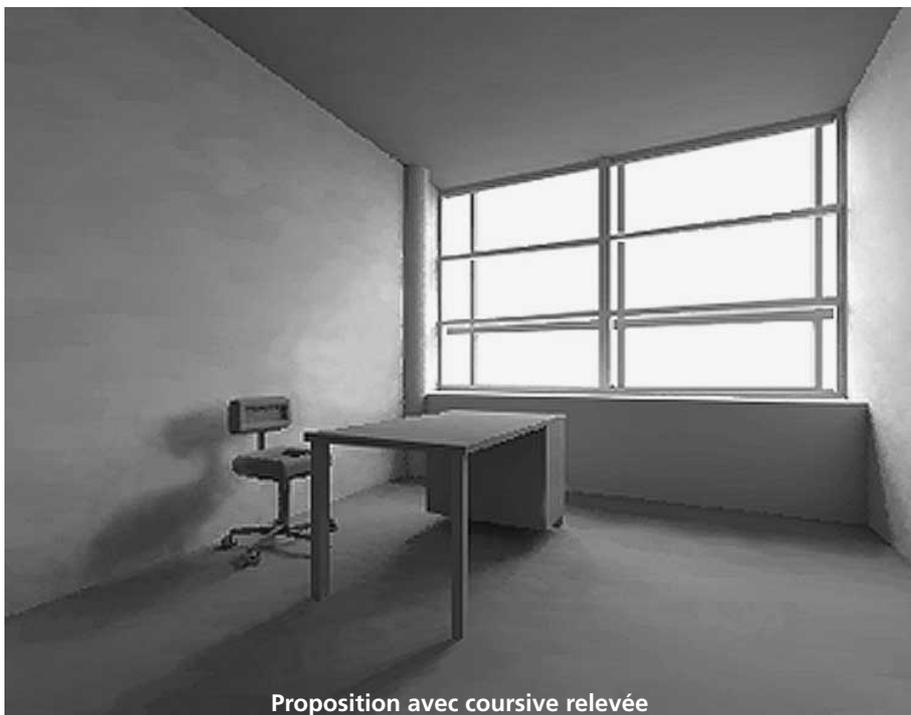
Wenn ein Gebäude in einer eng verbaute Umgebung steht (ab 30°), wirken sich aussenliegende Fluchtbalkone punkto Tageslicht noch ungünstiger aus.

● **Tageslichtgewinn bis 50%**

In der Zone von 1 bis 4 m Raumtiefe innerhalb des Fensters kann der mittlere Tageslichtquotient dank der vorgeschlagenen Massnahmen um 28% erhöht werden. Der Spitzenwert liegt dort, wo die häufigsten Arbeitsplätze sind: 50% mehr Tageslicht in 2 Meter Raumtiefe!

● **Bessere Tageslichtautonomie**

Die Tageslichtautonomie erhöht sich je nach Raumzone um 10 bis 20% ohne dass der visuelle Komfort massgeblich verändert würde.



Apport de lames externes translucides

Dans cette simulation on montre les gains obtenables en remplaçant des lames en aluminium par des lames translucides ou opaques présentant un facteur de transmission lumineuse de 12%. Cette comparaison est effectuée par temps ensoleillé, en mi-saison avec une hauteur solaire de 32°. Les lames sont en position de blocage des rayons solaires hivernaux (angle de recouvrement égal à 20°). Le facteur de réflexion du sol a été porté de 12 à 30%.

Impacts niveaux d'éclairage

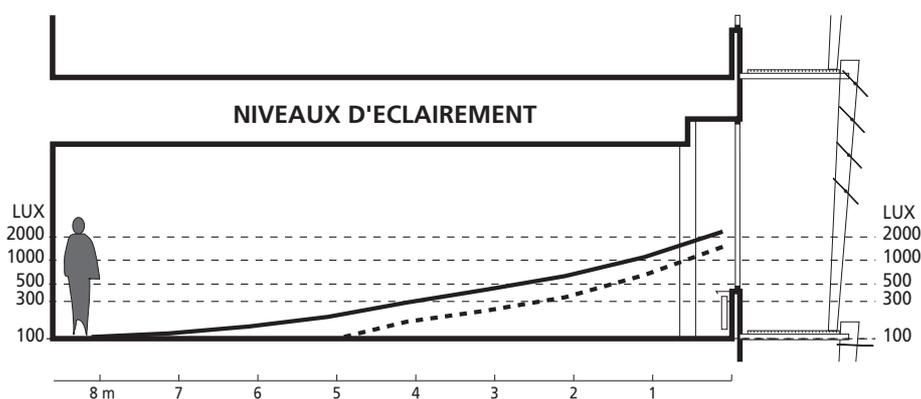
La comparaison des performances montre que par temps ensoleillé en hiver (21 février à midi) les lames translucides permettent de doubler la quantité de lumière disponible. Concrètement, la courbe des niveaux d'éclairage est décalée d'environ 1.50 m vers l'intérieur. Ceci permet d'éviter d'enclencher l'éclairage artificiel lorsque les lames sont fermées.

Confort visuel

La fraction prévisible d'insatisfaits est identique dans les deux cas (environ 47%). La lumière diffusée par les lames translucides profite à toutes les parois. L'uniformité des luminances dans le champ visuel est donc améliorée. De plus les lames translucides réduisent l'effet de «barreau» induit par les lames opaques (ce paramètre n'est pas perceptible ici, du fait de l'exposition des images).

Observations importantes

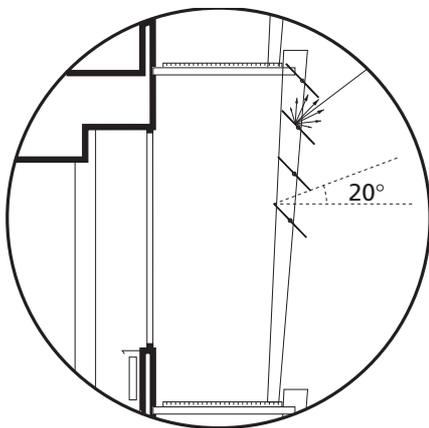
- Il est impératif que le facteur de transmission énergétique des lames constituant la protection solaire, soit inférieur à 15%, de façon à se prémunir contre les surchauffes estivales.
- Les lames de largeur importante doivent absolument être mobiles, afin d'éviter de pénaliser les apports de lumière naturelle par temps couvert. Une mobilité réduite à deux positions (été et hiver) permettrait de limiter la complexité technique.
- L'augmentation du facteur de réflexion du sol permet de renforcer sensiblement l'impression de clarté de la pièce en créant une meilleure homogénéité des luminances, bien que l'impact sur les niveaux d'éclairage reste modeste.



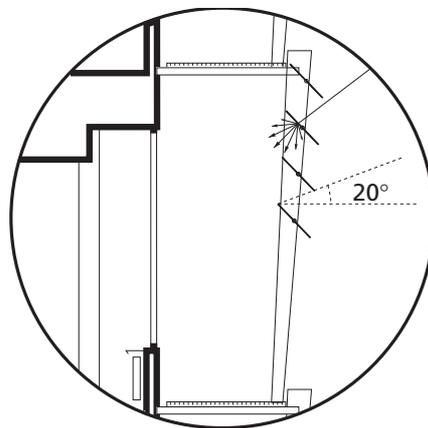
Eclairage extérieur: 43 687 Lux, Hauteur solaire: 32°, Azimuth: 0°, (21 fév 12h00).

Bernard Paule
Architecte
CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève

In diesem Vergleichsbeispiel wird der Unterschied zwischen den mobilen Grosslamellen aus unperforiertem Aluminium und einer im Winter nach oben verschwenkbaren, opaken Glaslamelle untersucht. Dies würde in den fensternahen 3 Metern des Raumes eine Zunahme um 75% und 1 m hinter der Fassade eine Verdoppelung der Tageslichtmenge bringen.

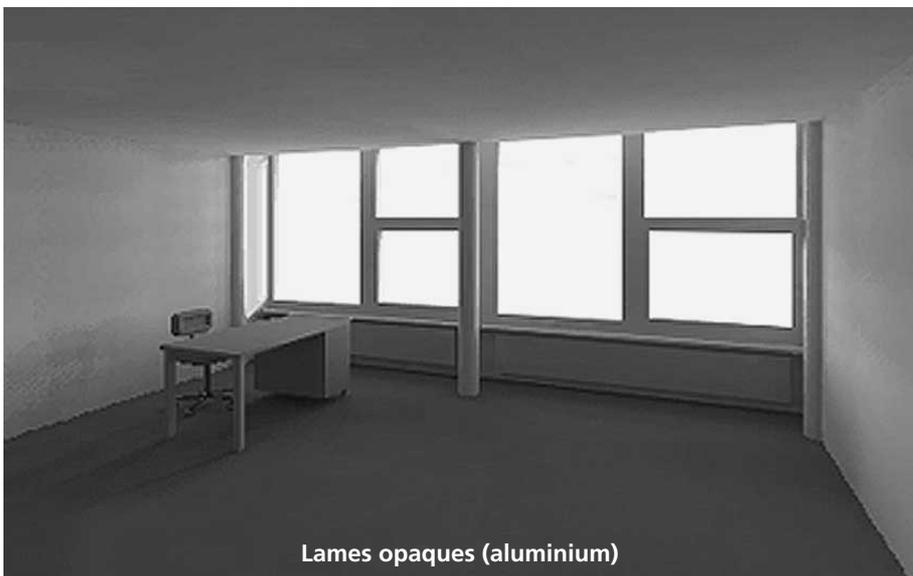


.....
Lames
opaques



—————
Lames translucides
 $\tau = 0,12$

Ungelochte Alu-Grosslamellen wurden in der Simulation gegen opake Glaslamellen ersetzt.



Lames opaques (aluminium)

Lames opaques, position 20°, ciel serein + soleil, psol = 0,12.

● **Opake statt Alu-Grosslamellen**

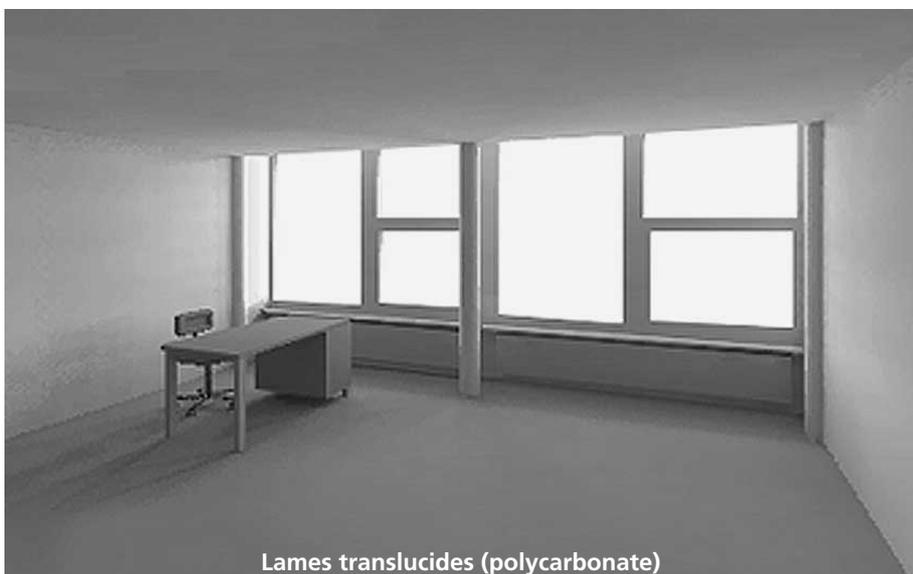
Grosslamellen sind ein leistungsfähiger Sonnenschutz - aber schränken den Tageslichtzutritt ein. Dies wirkt sich bei bewölktem Himmel (in der Schweiz praktisch überall während mehr als 50% des Jahres) und bei den ohnehin niedrigeren Himmelsleuchtdichten des Winterhalbjahres verheerend auf das Tageslichtambiente dahinterliegender Räume aus. Die motorische Verstellbarkeit kann den Beschattungsgrad der Grosslamellen zwar graduell ändern – aber macht das Material nicht prinzipiell transparenter. Deshalb wird in der Simulation die Alu-Grosslamelle gegen ein transluzides, opakes Element ersetzt, welches bei bedecktem Himmel auch in eine Zenitlenkstellung gefahren werden kann.

● **Tageslichtgewinn bis 75%**

In der Zone von 1 bis 3 m Raumtiefe innerhalb des Fensters kann der mittlere Tageslichtquotient dank der vorgeschlagenen Massnahmen um 75% erhöht werden.

● **Verdreifachte Tageslichtautonomie**

Die Tageslichtautonomie erhöht sich in den ersten 2 Metern hinter dem Fenster um 300%.



Lames translucides (polycarbonate)

Lames translucides, position 20°, ciel serein + soleil, psol = 0,30.

Aménagement d'un atrium par déflecteurs

Le bâtiment est organisé autour d'un atrium. Afin de favoriser la pénétration de lumière depuis la verrière de l'atrium, nous avons pratiqué un biais dans le faux-plafond. Le facteur de réflexion du sol a, par ailleurs, été relevé de 0.12 à 0.30. Par la mise en place d'un déflecteur en aluminium, placé au niveau du garde-corps, la lumière provenant de la verrière, en direction du plafond est alors mieux réfléchiée.

Impacts facteurs de lumière du jour

La découpe pratiquée dans le faux-plafond permet de multiplier le FLJ par un facteur 3, à 3 m de l'atrium. La courbe de la configuration 1 est décalée de 1.50 m vers l'intérieur du bâtiment, par rapport à la solution initiale. L'adjonction d'un déflecteur accentue encore cette tendance. Le FLJ de la configuration 2 est plus élevé de 25 à 30% que celui de la Configuration 1 dans la zone située entre 3 et 5 m de l'atrium

Meilleure autonomie en éclairage

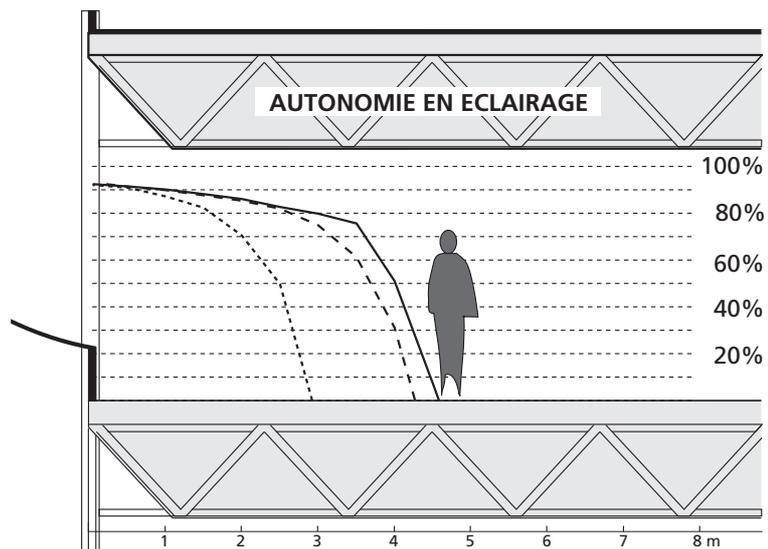
L'autonomie en éclairage à 3 m de l'atrium est encore égale à 75% pour la configuration 1, alors qu'elle est nulle pour la solution initiale. A 4 m de l'atrium l'autonomie est égale à 60% pour la configuration 2, contre 40% pour la configuration 1.

Confort plus ou moins identique

Le pourcentage d'insatisfaits est identique entre l'Etat initial et la configuration 1 (27%). Par contre, celui-ci augmente dans le cas de la configuration 2 (38%). Ceci s'explique par le fait que le déflecteur, qui est situé dans l'ergorama du premier poste de travail, possède une luminance élevée.

Observations importantes

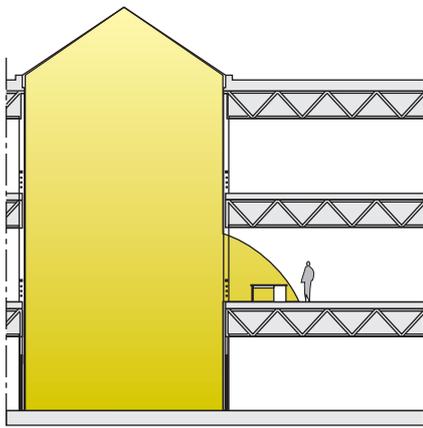
- Dans la réalité, un bâtiment de ce type est aménagé avec des cloisons à mi-hauteur situées parallèlement à l'atrium, à 1,50 m de celui-ci. Cela signifie que les places de travail même les plus proches de l'atrium, ne bénéficient absolument pas de la lumière naturelle.
- Du point de vue énergétique, un tel atrium n'est pas justifiable dans la mesure où il est nécessairement chauffé.
- Ne pas mettre de cloisons opaques parallèlement à l'atrium.
- Un atrium ne peut pas à lui seul compenser le manque de lumière dans les bâtiments très profonds.



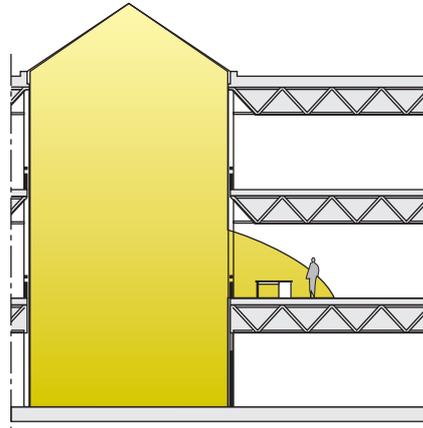
Durch eine Ansträgung der Hohldecke, einen an die Brüstung montierten Reflektor sowie durch einen um 18% helleren Bodenbelag kann der Tageslichtquotient von um einen Lichthof angeordneten Arbeitsplätzen in den ersten 3 Metern um den Lichthof um das Dreifache verbessert werden. Mit anderen Worten: erst mit Lichtumlenkung wird ein Atrium zu einer tauglichen Lösung!

Bernard Paule
Architecte

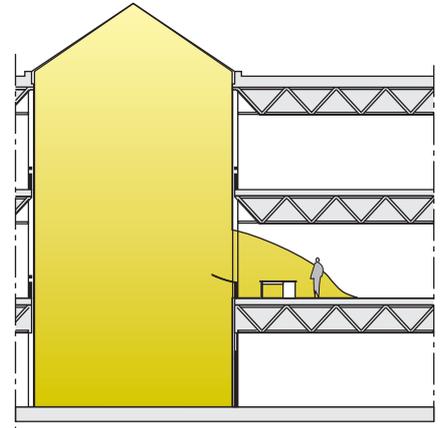
CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève



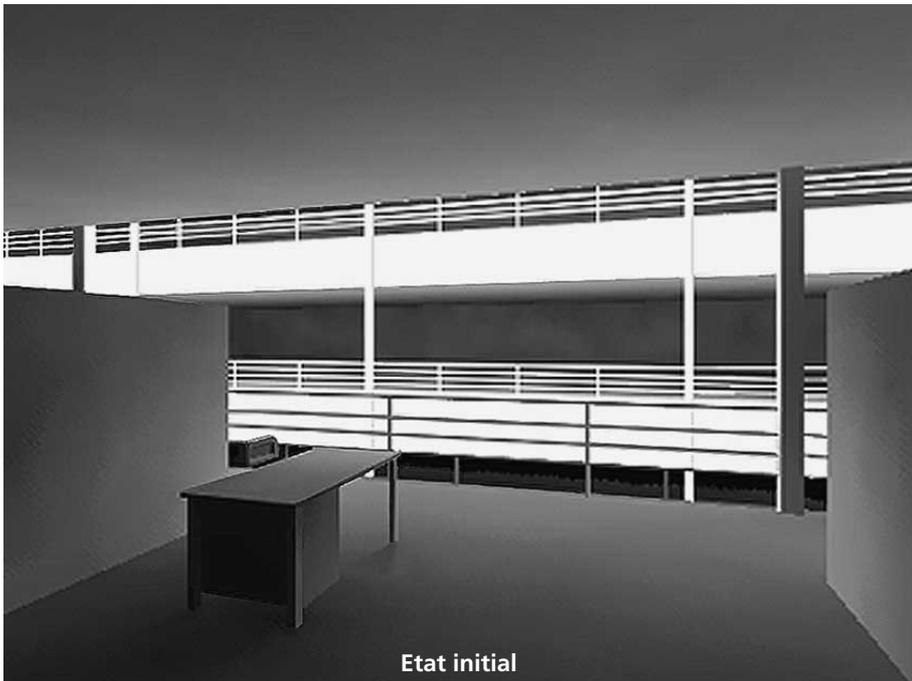
Etat initial



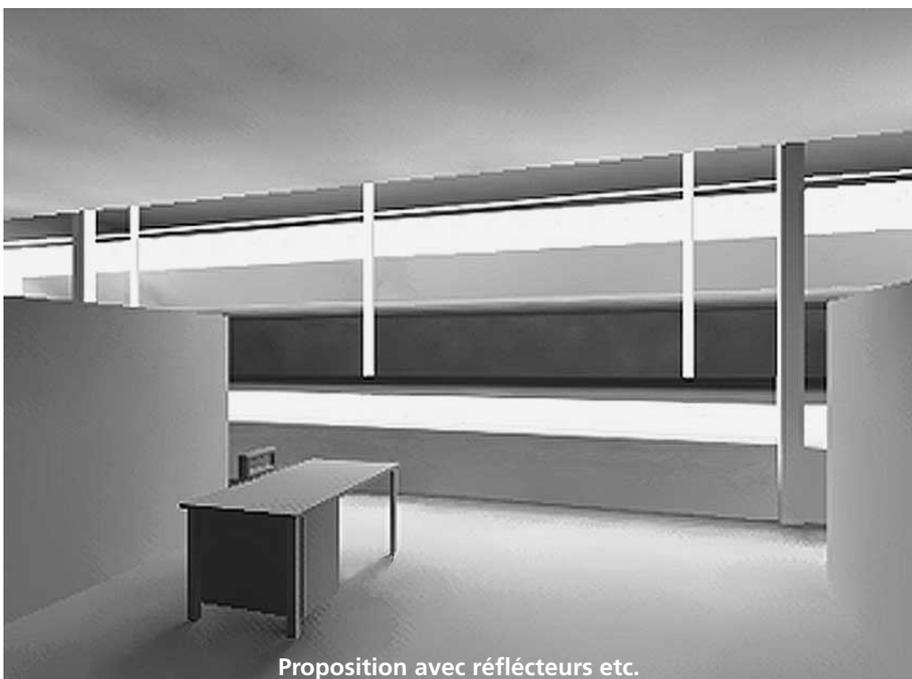
Configuration 1
Bias dans faux-plafond



Configuration 2
idem Config. 1 + Déflecteur



Etat initial



Proposition avec réflecteurs etc.

● **Auch Innenflächen sind nutzbar**

Alle Büronutzflächen des Bürogebäudes der Hewlett Packard in Meyrin bei Genf sind um einen zentralen Innenhof angeordnet. Dieser Innenhof wird als Atrium zenitalbelichtet. Im Gegensatz zu anderen Kantonen (BS, ZH), wo härtere feuerpolizeiliche Auflagen einen Brandüberschlag mit entsprechenden Brandschutzverglasungen verhindern sollen, wurde in Genf keine Innenverglasung entlang der Atriumfront gefordert – es sind Sprinkler vorhanden. Die Tageslichtbedingungen an den Arbeitsplätzen entlang des Atriums sind im Istzustand günstig.

● **Ungünstige Photometrie und Geometrie**

Die Tageslichtnutzung insbesondere in diesen fensterfernen Innenzonen wird allerdings durch eine etwas unglückliche Farbwahl des Spannteppiches (Reflexionsfaktor nur 12%) sowie eine massive Hohldecke beeinträchtigt.

● **Geringer Eingriff – grosse Wirkung**

In der Tageslichtsimulation wurde der Reflexionsfaktor des Spannteppiches von 12% auf 30% erhöht, in der Decke ein kleiner Knick angebracht und an der Brüstungsaussenseite eine «Lichtumlenklamelle» montiert (siehe auch Schnittskizze). Mit diesen Eingriffen – die weder grosse Kostenfolgen noch unverzeihliche Eingriffe in die Gebäudearchitektur beinhalten – kann der Tageslichtquotient innerhalb der ersten 5 m ab Atriumfront etwa um das Dreifache erhöht werden. Während die Tageslichtautonomie im Initialzustand gleich Null ist, liesse sich diese unter den simulierten Anpassungen auf 75% innerhalb der ersten 3 m steigern.

● **Fragwürdige Trennwände**

Die in Grossraumbüros üblichen Sichtschutzwände (ca. 1.50 m hoch) verhindern den beidseitigen Tageslichtzutritt erheblich. Unter diesen Voraussetzungen sind Arbeitsplätze auch entlang Atrien nur bedingt attraktiv.

Tageslicht im Werk von Louis I. Kahn

Das Thema «Tageslicht» ist in der Architektur von Louis I. Kahn für jedes Projekt neu entwickelt worden: Lichtführung, Lichtmodulation, das Spiel mit Licht und Schatten, die Lichtmenge im Verhältnis zu Raum und Struktur sowie jahreszeitliche Veränderung eines Hauses durch das Licht sind in jedem Objekt von Louis I. Kahn einzigartig.

Zeit seines Architekten-Lebens hat er eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Lichtmodulation und Lichtkontrolle erprobt. Erfolgreich: für jeden Bau suchte – und fand – er eine kohärente Lösung.

Zweifellos hat Louis I. Kahn in seinem Oeuvre Attribute einer zeitlos auf Komfort, Funktionalität, Ästhetik und Energie-Effizienz gerichteten Architektur für seine Zeit in visionärer Weise vorweggenommen.

Kahns Umgang mit Licht und Raum

«Ein Gebäude beginnt mit Licht und endet mit Schatten... Der Himmel ist die Decke eines Platzes... Ein Raum ohne natürliches Licht ist kein Raum...»

Louis I. Kahn entwarf sein Architekturprojekt objekt- und standortspezifisch: für jeden Bauherrn, für jeden Himmel eines jeweiligen Kulturraumes definierte er ein neues «Raum-Licht-Konzept».

Dabei suchte er für jeden Bau eine kohärente Lösung. Er betrachtete das Fenster gewissermassen als «ein fein zu stimmendes Instrument, mit dem die Verbindung zwischen Innen und Aussen in immer neuen Variationen zu gestalten war».

Stets nach neuen Lösungen suchend

Wie ein roter Faden lässt sich durch Kahns gesamte Entwurfstätigkeit hindurch seine unermüdliche Suche nach neuen Lösungen nachvollziehen.

Nicht nur hat er bezüglich Tageslichtführung im Raum eine Vielzahl von Möglichkeiten aufgezeigt. Auch setzte er sich bereits frühzeitig mit den Erfordernissen von Lichtmodulation und Lichtkontrolle auseinander oder erprobte neuartige Komponenten der natürlichen Lüftung, des Sonnenschutzes und der Blendungskontrolle.

Tageslichtautonomie als Ziel

Fast rastlos suchte er nach sinnvollen Wegen zur natürlichen Belichtung: «Ein Raum ohne natürliches Licht kann nicht wirklich seinen Platz in der Architektur finden. Künstliches Licht ist das Licht der Nacht, es kommt aus fest platzierten Beleuchtungskörpern ist nicht zu vergleichen mit dem unvorhersehbaren Spiel des natürlichen Lichts».

Fenster sind mehr als «Windaugen»!

In Louis I. Kahns Entwurfsansatz waren Fenster in ihrer vielfältigsten Ausbildung (Englisch: «the window» = das Windauge) Ankerpunkt für die spezifische Disposition im jeweiligen Objekt. Dabei hat er sich mit allen erdenklichen Wand-

und Deckenöffnungen, Belichtungs- und Belüftungselementen zeitlebens beschäftigt. Das Fenster war für ihn mehr als eine formale und funktionale Einheit: es war Bestandteil seiner Raumstruktur.

Der «Tageslicht-Virtuose»...

Durch die Art der Lichtführung, die Ausbildung der Fenster, die variierenden Sichtbezüge von innen nach aussen, die integrierten Lüftungsläden, die Sonnenschutzelemente und andere Bestandteile haben seine Bauten zu jeder Jahres- und Tageszeit einen völlig anderen Charakter. An seinem Frühwerk, dem «Esherrick House» (1959–61), lässt sich ein geradezu virtuoser Umgang mit Licht und Raum eindrücklich ablesen.

... schafft Lesbarkeit im Grundriss

Die sich mit dem Tageslichtgang verändernden Stimmungen antizipierte Kahn bereits im Grundriss: «Der Grundriss eines Gebäudes sollte sich lesen lassen wie ein harmonisches Ganzes aus Räumen im Licht. Selbst der Raum, der eigentlich dunkel zu sein hat, sollte aus einer verborgenen Öffnung wenigstens so viel Licht erhalten, dass man weiss, wie dunkel es innen ist. Jeder Raum muss sich aus seiner ihm eigenen Struktur und dem ihm eigenen natürlichen Licht bestimmen lassen».

Innovative Sonnenschutzlösungen

Im Frühwerk Kahns sieht man eher konventionelle Sonnenschutz-Lösungen: separate, vorgesetzte Komponenten dominieren. In seinem Spätwerk entwickelte er Sonnenschutzkomponenten, die seiner Architektur einen ganz persönlichen Charakter verliehen. Im Laufe verschiedener Versuche entstanden so auch die funktionale und formale Integration oder Trennung von Fenstern und Lüftungsklappen. Zudem tauchten verschiedene Lichtfilter und archaische Öffnungsformen auf – Kahns individuelle Handschrift sichtbar in unterschiedlicher Weise an jedem seiner Bauten.

Genial konzipierte Öffnungen zeichnen das Spätwerk Louis I. Kahns aus. Krönung seiner Experimente in raffinierter Lichtführung und Lichtmodulation sind Bauten im heißen Klima Pakistans. Entstanden sind architektonische «Juwelen», welche seine gesammelten Erfahrungen in Tageslichttechnik und Raumbildung vereinigen. (Wandelhalle im Parlament Dhacca)

Le positionnement des ouvertures dans l'œuvre de Louis I. Kahn est génial.



Ziel: «Heatless lighting»

Ganz besonders bei Bauten in klimatisch «schwierigen» Verhältnissen (so z.B. in Angola, Indien, Pakistan, Bangladesch und Israel) suchte Kahn nach Sonnenlichtfiltern, Schwerspeichermasse und Lösungen mit natürlichen Lüftungen. Dabei gelang es ihm, mit Sonnenlichtfiltern und archaisch geprägten Öffnungsformen eine für das Lebensgefühl im historisch-kulturellen Kontext des jeweiligen Landes stimmige, funktional und formal überzeugende Aussage zu generieren: Riesige, schattenspendende «Lichtfilter», welche die Durchlüftung gewährleisten und den Sichtbezug nach aussen herstellen wurden dabei zum «Markenzeichen» seiner Architektur. Louis Kahn bemerkte dazu: «Bei Bauten, die ich für Indien und Pakistan, jetzt Bangladesch, entworfen habe, wurde der ordnenden Kraft des Lichtes nachgegeben. Der Aussenraum gehört der Sonne; der Innenraum den Bewohnern».

Aufregende Gesamtlösungen

Kahns tageslichttechnisch und strukturell wohl komplexestes Werk – an dem er 10 Jahre lang herumstudiert hat! – ist sein Projekt für das Parlament von Dhacca. In genialer Lichtführung wird diffuses Zenitlicht über dem 30 Meter hohen Plenarsaal unter einer parabolischen Schirmkuppel von den Seitenwänden durch Parabelöffnungen aus einem äusseren Ring nach innen reflektiert. Von da gelangt es modelliert nach innen. Wärme sowie unerwünschte Einsicht wird von draussen ferngehalten. Tageslichtnutzung sowie natürliche Lüftung sind trotz Tropenklima möglich.

«Material lebt durch Licht, wir existieren durch Licht, die Berge leben durch Licht, die Bäume leben durch Licht, die Atmosphäre lebt durch das Licht.

Alles was ist, lebt vom Licht.»

Louis I. Kahn

«Jede Materie ist Licht, das nicht aufhört Licht zu sein, wenn es Materie wird».

«Das Licht der Sonne wusste nicht was es war, bevor es auf eine Mauer stiess».

Louis I. Kahn

● **Lumière naturelle – partie intégrante**

La lumière naturelle fait partie intégrante de chaque projet de Louis Kahn, toujours avec de nouvelles solutions: conduite de la lumière, modulation, jeu d'ombre et lumière, spatialité et disposition de la structure en rapport étroit avec l'emplacement des ouvertures.

«Un bâtiment commence à la lumière et se termine à l'ombre... Le ciel est le toit d'une place... Un espace sans lumière naturelle n'existe pas».

Les solutions développées par Louis Kahn vont au delà d'une simple conduite de la lumière, puisqu'en général, ces solutions maîtrisent également la ventilation naturelle, la protection solaire et le contrôle de l'éblouissement.

«L'éclairage artificiel est la lumière de la nuit; il ne peut en aucun cas être comparé à la diversité de la lumière du jour».

Pour Louis Kahn, la fenêtre est plus que forme et fonction, car elle est l'essence même de la structure spatiale.

● **Protection solaire – signature du projet**

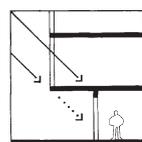
Dans ses œuvres de jeunesse, Louis Kahn a utilisé des systèmes de protection solaire conventionnelles, alors que dans ses œuvres plus tardives, il a réalisé des solutions qui donnèrent leur caractère propre à ses bâtiments: filtre de lumière ou forme d'ouverture archaïque, véritable signature du projet.

Ces dispositifs ont essentiellement été prévus pour les projets ou constructions dans des climats «difficiles»; le projet du Parlement de Dacca est à ce titre exemplaire: lumière zénithale diffuse dans de grands puits de lumière, mariant protection solaire, ventilation naturelle et relation visuelle avec l'extérieur.

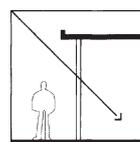
Quellenhinweise:

- 1) «Louis Kahn – Licht und Raum, Light an Space»; Urs Büttiker; Birkhäuser Verlag; Basel, Boston, Berlin 1993
- 2) «Louis Kahn – Die Architektur und die Stille – Gespräche und Feststellungen», Alessandra Latour, Birkhäuser Verlag; Basel, 1993

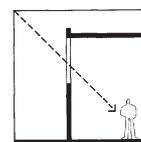
Chronologische Auflistung der Projekte von Louis I. Kahn: in gestraffter Form wird der Entwicklungsprozess der Lichtführung und Lichtmodulation ersichtlich. Beginnend mit der Studentenarbeit aus dem Jahre 1924 und endend mit der Bibliothek in Berkeley 1971–1974 ist das äusserst breite Spektrum von Lösungen betreffend Ausgestaltung von Licht und Raum erkennbar. Kahn hat sich nicht auf festgelegte Gesetze oder Regeln abgestützt: Jeder Entwurf war eine Herausforderung, beim «Punkt Null» anzufangen, wobei Lichtführung und Struktur des Raumes bei ihm untrennbar miteinander verbunden sind.



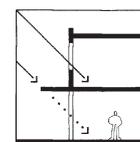
1924



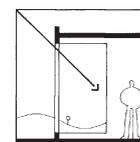
1935–37



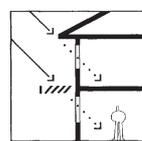
1935–37



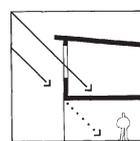
1937–38



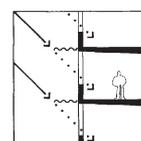
1940–42



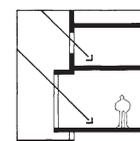
1941–42



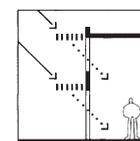
1941–42



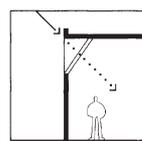
1942



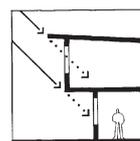
1943–45



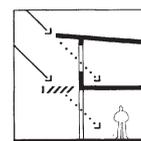
1944



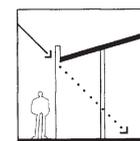
1944–46



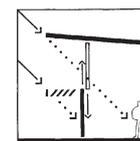
1945



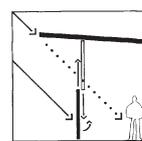
1945–47



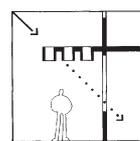
1947–49



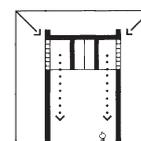
1947–50



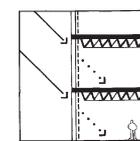
1948–54



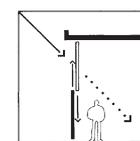
1948–54



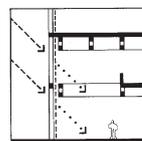
1951–53



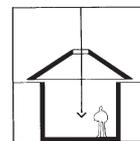
1951–53



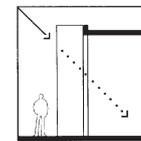
1951–54



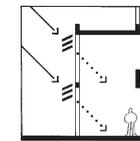
1954–57



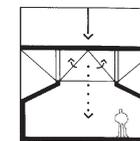
1954–59



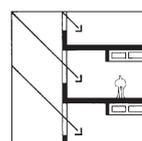
1955–58



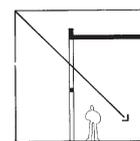
1956



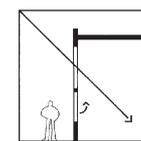
1957–62



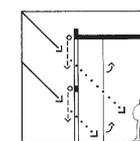
1957–65



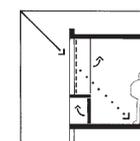
1958–62



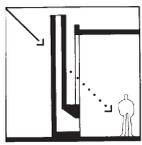
1959



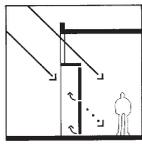
1959–61



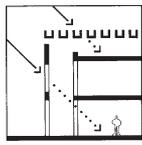
1959–61



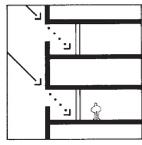
1959-61



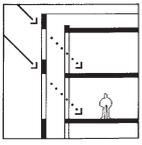
1959-61



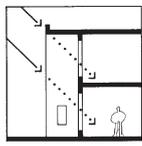
1959-62



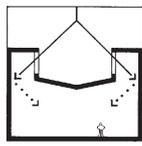
1959-65



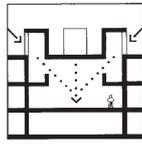
1959-65



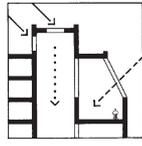
1959-69



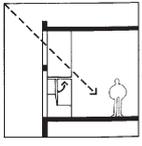
1959-69



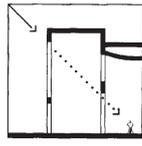
1960-65



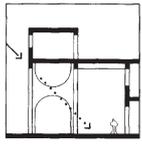
1960-66



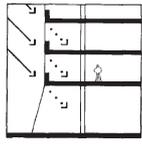
1960-67



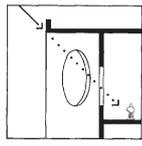
1961-72



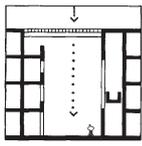
1962-69



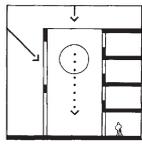
1962-74



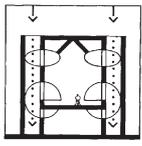
1962-74



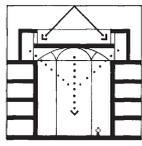
1962-83



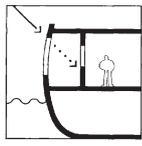
1962-83



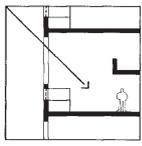
1962-83



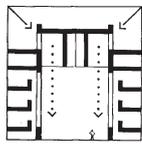
1962-83



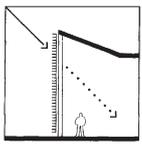
1964-67



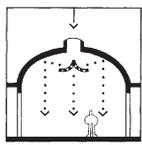
1965-72



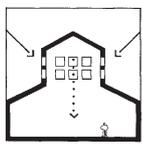
1965-72



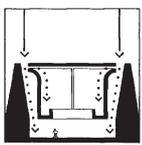
1966-70



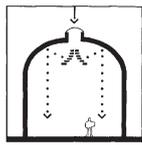
1966-72



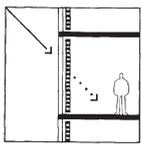
1966-72



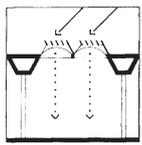
1967-74



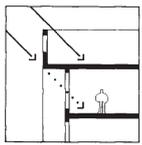
1968-74



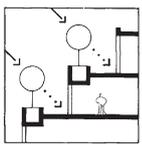
1969-74



1969-74



1969-74



1971-74