

**Neuer
Komfort mit
Tageslicht**

***Luce
naturale e
comfort***



Bundesamt für Konjunkturfragen

Ufficio federale
dei problemi congiunturali

Impressum

Hanno collaborato

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'Energie 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 Schlattingen

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

Contenuto

Comfort	
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
Mezzi ausiliari di progettazione	
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
Indicazioni concernenti il sistema	
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
Analisi	
<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
Proposte di miglioramento	
<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
Pubblicazioni del programma d'impulso 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 Vorhangsfassade 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 vorausberechnet. «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).

È possibile ottenere risparmi energetici variabili dal 40 al 70% mediante l'utilizzazione intensiva dell'illuminazione naturale (esempio: Stockley Park a Londra, architetto: 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

Strumenti d'ausilio alla progettazione con la luce naturale

● I corsi del programma d'impulso RAVEL intitolati «Luce naturale e comfort» godono dell'appoggio della SIA. Essi perseguono l'obiettivo d'illustrare gli stretti legami esistenti tra energia, architettura e comfort visivo o termico sul posto di lavoro.

Il presente manuale indica alcune soluzioni che permettono di giungere ad una concezione energetica ottimale dell'edificio, fornendo segnatamente indicazioni preziose sulle possibilità d'utilizzazione della luce naturale, materia prima degli architetti.

Il presente documento contiene una serie d'esempi e di studi nel settore dell'illuminazione naturale realizzati su computer e persegue l'obiettivo d'illustrare le possibilità di miglioramento nel settore dell'illuminazione naturale sulla base di casi concreti. Esso mostra, d'altronde, a qual punto il risparmio energetico è sinonimo di buona progettazione architettonica.

Primo obiettivo: migliorare il comfort mediante la luce naturale

● Il presente documento ha lo scopo di familiarizzare gli architetti con i principi basilari dell'utilizzazione della luce naturale. Esso fornisce indicazioni fondamentali concernenti, segnatamente, le prestazioni dei sistemi d'illuminazione naturale laterale di tipo convenzionale oppure di concezione avanzata; presenta una vista d'insieme delle possibilità offerte dai nuovi strumenti di progettazione e di studio nel settore dell'illuminazione naturale. Vi si mostra anche, d'altronde, in che modo la gestione della luce naturale può essere resa più efficace mediante l'utilizzazione di sistemi d'illuminazione naturale adeguati:

i dispositivi prismatici che permettono di riflettere l'irradiazione solare diretta, trasmettendone ugualmente la luce diffusa oppure i sistemi anidolici, scaturiti dagli sviluppi recenti della ricerca e che permet-

tono di guidare la luce, come se si trattasse di proiettori della luce naturale, sono due esempi di tali sistemi.

Un «must»: rivedere i vecchi concetti!

● Al momento della progettazione di una facciata non si tratta più ormai soltanto di trovare un elemento che funzioni come «passe-partout» che si ritiene debba adempiere a tutte le funzioni attribuite alla finestra, ma di separare piuttosto ognuna di loro (protezione contro il sole, trasmissione della luce naturale, vista verso l'esterno e funzione anabbagliante): in questo modo si rende la finestra più efficace.

Un'altra necessità: trovare soluzioni nuove!

● Le veneziane fissate sulla parte anteriore delle finestre possono svolgere il compito di protezione contro il sole; gli elementi anabbaglianti devono poter essere orientati in funzione del posto di lavoro ed impiegati con facilità dall'utente. La vista verso l'esterno può essere garantita da aperture sulla facciata; la luce naturale (soprattutto la sua componente diffusa) deve essere introdotta all'interno dell'edificio mediante aperture situate sulla parte più elevata. Se del caso occorre integrare nella facciata dell'edificio dei veri e propri sistemi di gestione della luce naturale.

Queste facciate e questi locali di nuovo tipo creano una percezione nuova dello spazio ed una relazione più intensa tra l'utente e l'ambiente esterno. La loro realizzazione potrà tuttavia essere portata a termine con successo solo dopo che gli architetti e gli altri fautori della costruzione avranno assimilato le conoscenze preliminari in questo settore. È il caso, in particolare, dei meccanismi di percezione visiva e delle tecniche di risparmio energetico.

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. Entre-temps, 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?

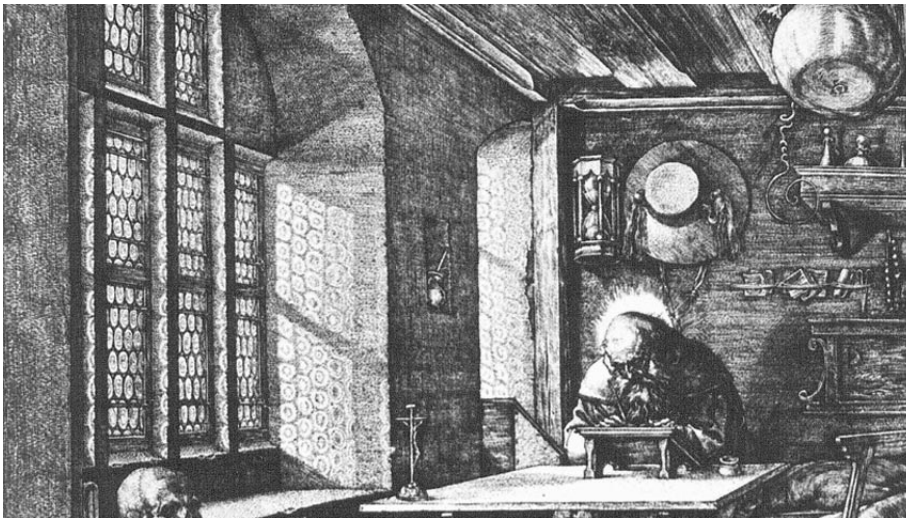
Se servant alors de la liberté offerte par la palette des techniques à disposition, ces pionniers ont risqué des «manifestes construits» utilisant une échelle de valeurs où l'être humain retrouvait un bâtiment taillé sur mesure autant pour ses activités que pour la satisfaction de son besoin de se sentir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

Utilizzazione della luce naturale in tempi lontani («Hyeronimus im Gehäuse», Albrecht Dürer, incisione su rame, 1514).

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 dispositifs d'accompagnement de la lumière extérieure aussi étendus que possible vers le cœur 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.

● Gli edifici sono diventati «sordi»

A causa dell'impiego di un'impiantistica complessa, negli edifici della nostra epoca viene creato un ambiente artificiale.

Al prezzo di un aumento dell'impiego dell'energia, gli edifici sono diventati, per così dire, «sordi» alle condizioni che regnano all'esterno: essi sono quasi completamente separati dal clima esterno, dalle variazioni offerte dalla luce naturale e dai rumori.

● La tecnologia elimina i fenomeni sensoriali

Gli utenti vengono in questo modo privati di singoli fenomeni sensoriali: il contatto con la natura è eventualmente ancora garantito da piante d'appartamento o da un calendario variopinto appeso al muro. Nell'edificio isolato dal rumore esterno, mediante altoparlanti viene simulato un livello minimo di rumore consistente di rumori attenuati. Il clima ambiente viene condizionato artificialmente ed i locali sotterranei vengono illuminati pure artificialmente.

● L'anacronismo creato dall'alta tecnologia

Le conseguenze economiche, energetiche ed ecologiche di edifici muniti di alta tecnologia non sono più adatte ad un'epoca consapevole dell'ambiente.

● Luce naturale quale risorsa: «codice genetico» di una concezione moderna dell'edificio?

L'utilizzazione razionale della luce naturale nell'edificio potrebbe sfociare qui in una specie di «codice genetico» per un uso moderno delle risorse naturali. A partire dai primi schizzi del progetto, realizzati in matita, fino alla realizzazione dell'opera tale «codice genetico» costituirebbe la misura di un concetto coerente dell'edificio, efficiente dal punto di vista energetico ed equilibrato, che crea condizioni valide di abitazione e di lavoro fino nelle zone più oscure e climatizzate artificialmente.

Oggi le pareti sono sottili, le finestre dimensionate in modo ampio e la luce naturale penetra nel locale su un vasto fronte (ufficio dell'architetto Richard Rogers a Londra).



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).

Il consumo di elettricità dell'atrio dell'aeroporto (Monaco II - Franz Joseph Strauss) è stato ridotto del 30% grazie alla scelta di colori chiari (fattore di riflessione di 0.8 invece di 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 beleuchte: 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 Aufmerksamkeitssschwergewicht 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.

Utilizzare i meccanismi di percezione visiva onde risparmiare energia

● I meccanismi di percezione visiva (adattamento, accomodazione) sono estremamente dinamici: l'occhio si adatta ad una quantità quasi infinita di situazioni d'illuminazione. Un compito visivo può essere garantito (scrittura, lettura, ecc.) anche con un'illuminazione moderata a condizione che sia garantito un equilibrio delle luminanze. La natura e la struttura di certi materiali (vernice opaca, mobilio lucido, ecc.) permettono di raggiungere tale equilibrio delle luminanze; in tal modo la percezione dello spazio risulta generalmente migliorata.

Attenuazione dei riflessi fastidiosi grazie alla scelta di materiali adeguati

● La capacità di percezione visiva viene alterata in caso di abbagliamenti fastidiosi, dovuti ad una luminanza troppo elevata (ad esempio riflesso dei raggi solari). Durante l'allestimento del progetto preliminare dell'edificio è quindi importante tener conto di eventuali situazioni di abbagliamento. Le riflessioni fastidiose, dirette o indirette, possono essere attenuate, qualora venga dedicata una cura particolare alla scelta dei materiali e dei colori utilizzati; tale scelta ha d'altronde un influsso sulla penetrazione della luce naturale e, di conseguenza, sul consumo di elettricità nei locali.

Risparmio energetico mediante la differenziazione dello spazio

● L'illuminazione di un locale deve essere differenziata a seconda del suo impiego: le zone in cui avvengono gli spostamenti saranno meno illuminate dei posti di lavoro occupati in modo permanente. A causa del fatto che i posti di lavoro effettivi corrispondono, nel caso di un edificio amministrativo, solo ad $\frac{1}{6}$ della superficie totale del pavimento, il risparmio energetico che può essere realizzato grazie a tale differenziazione è sostanziale.

Risparmio energetico mediante una scelta adeguata dei fattori di riflessione delle pareti

● L'utilizzazione della luce artificiale genera sempre una dissipazione inutile di calore nei locali: tale dissipazione ha un influsso negativo sul comfort termico degli utenti e, di conseguenza, sollecita in modo eccessivo l'impiantistica dell'edificio (diminuzione della temperatura, produzione di freddo). Utilizzando materiali dotati di un alto potere di riflessione si aumentano generalmente i livelli dell'illuminazione naturale e di quella artificiale. La luce riflessa dai materiali ha un influsso anche sui meccanismi di percezione visiva. Le caratteristiche fotometriche dei materiali che costituiscono le pareti devono pure essere tenute in considerazione: i fattori di riflessione dei pavimenti, delle pareti e dei soffitti devono raggiungere 30%, 50% e 70%.

Risparmio energetico mediante una scelta adeguata del colore della luce

● La percezione soggettiva della luminosità dipende dalla lunghezza d'onda della luce osservata: l'occhio umano percepisce meglio il colore giallo (lunghezza d'onda di 555 nanometri). Un colore della luce con una prevalenza del giallo permette di ridurre il livello d'illuminazione grazie a tale caratteristica particolare della percezione luminosa: ne risulta una diminuzione del consumo d'energia. In pratica l'utilizzazione di tale caratteristica è possibile soltanto in locali di vasta superficie (fonti d'illuminazione al sodio).

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.

A Adaptation als Teil der Sehleistung

Die Leuchtdichte der natürlichen Umwelt variiert zwischen $1/10'000 \text{ cd/m}^2$ bei bewölktem Nachthimmel bis $10'000'000 \text{ cd/m}^2$ 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 grünger 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 Blendungsempfinden 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 vereint 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.

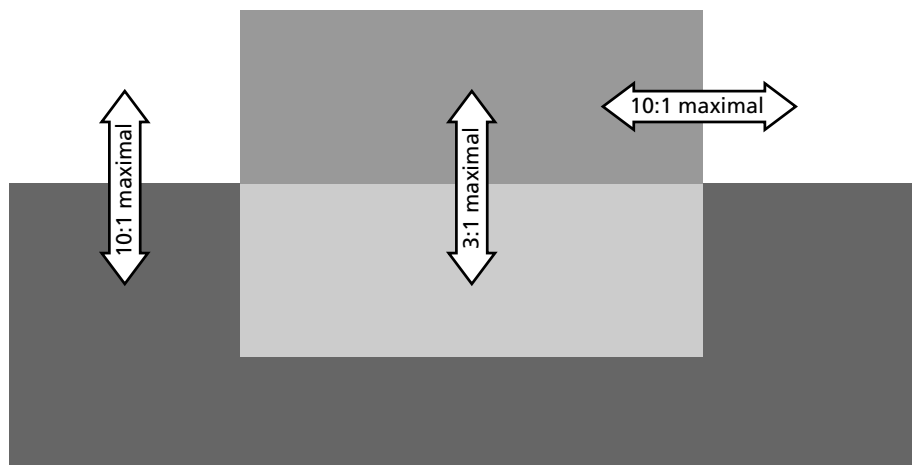
H Hitzeschutz durch Sonnenschutz

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

Beat Kunz
Dipl. Ing. Ergonome
Agero AG Schlattingen

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

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



I contrasti moderati nel campo d'azione (massimo da 1 a 3) e nel campo visivo in genere (massimo da 1 a 10) sono sinonimi di un buon comfort visivo.

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 Muskularbeit 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 Bildschirmarbeitsplätze 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 Storen geschlossen werden – und danach wird das Kunstlicht angezündet.

Le finestre senza tapparelle interne mobili possono essere causa di abbagliamenti notevoli.



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 Farbunterscheidung 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 Fusionswettstreit» 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

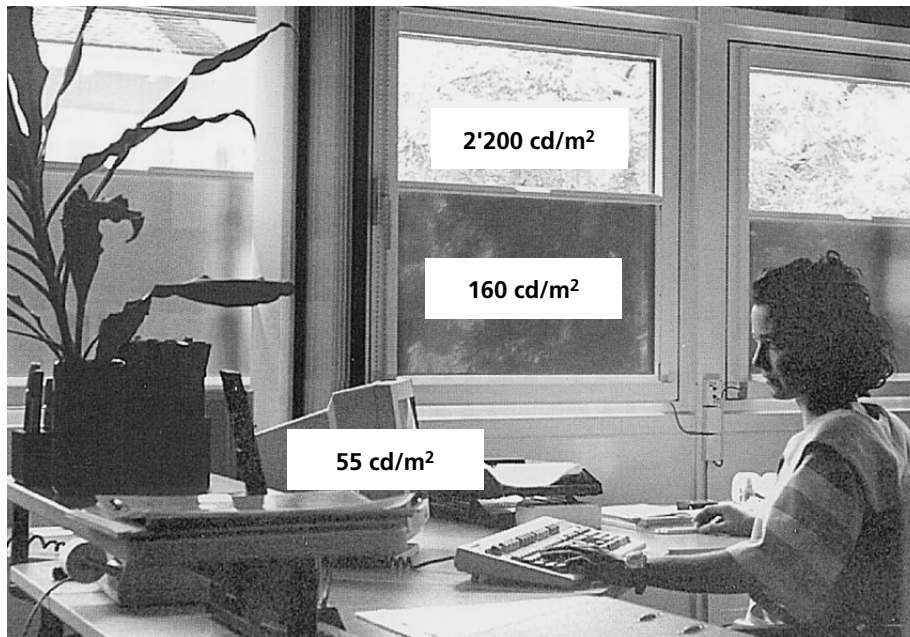
Der Unterschied der Leuchtdichten benachbarter Objekte bestimmt deren physikalischen Kontrast. Mit Hilfe farbiger Kontraste werden Gegenstände voneinander besser unterschieden.

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 Rollo (unten). Die Aussicht wird erhalten. Durch unbeschattete Zonen gelangt Tageslicht in den Raum – z.B. in Oberlichtpartien. Die Leuchtdichtekontraste zwischen entblendeter Fensterfläche 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).



Certe tapparelle interne, di trasparenza ridotta, permettono di attenuare la luminanza di un cielo coperto, ma relativamente luminoso, fino a renderla accettabile anche in caso di lavoro allo schermo. Questa protezione non è tuttavia sufficiente quando risplende il sole.

● In ergonomia il comfort visivo dipende

- dal compito e dal livello di prestazione richiesti
- dalla luminosità dell'ambiente
- dalle attitudini visive degli operatori che cambiano con l'età e in presenza di difetti dell'occhio

● Misura dello sforzo visivo

- dalla finezza dei dettagli che devono essere percepiti
- dal contrasto oggetto-sfondo
- dall'uso di mezzi ottici ausiliari
- dalla cadenza del lavoro
- dalla durata totale del lavoro

● Condizioni di luce che favoriscono la capacità visiva

- un livello sufficiente d'illuminazione
- contrasto buono e saliente tra oggetto e sfondo
- rafforzamento dei colori
- distribuzione omogenea della luce
- assenza di riflessi
- assenza di sfarfallio

● La luce naturale garantisce un rendimento ottimale dell'occhio

- a causa della sua abbondanza
- il suo spettro continuo, la banda passante larga e la sua assenza di vibrazioni
- la grande dimensione delle sue fonti

● Per l'architetto la realizzazione del comfort visivo delle persone che lavorano presuppone

- l'utilizzazione della luce naturale
- il controllo delle luminanze
- la scelta dei materiali e dei rivestimenti in funzione del loro colore e del loro potere di riflessione
- che si tenga conto dell'orientamento dell'edificio e dei suoi dintorni

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

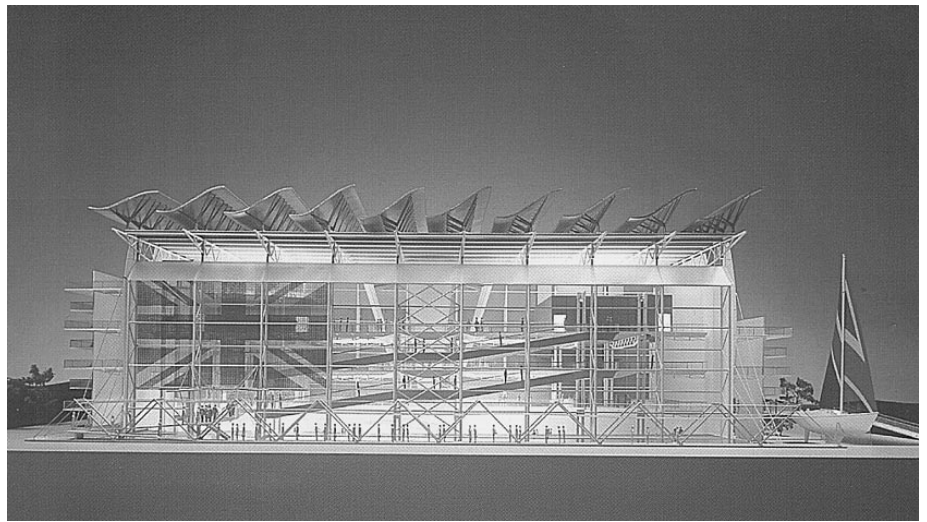
Bei hoher Strahlungstemperatur der Umgebung und niedriger Lufttemperatur liegen für den Menschen ideale klimatische Verhältnisse vor: Man stelle sich z.B. einen kühlen, sonnendurchfluteten Laubwald vor – ein klimatisch traumhafter Ort für den Körper, welcher sich konvektiv an der Luft abkühlen kann. 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).

Certe tapparelle interne, di trasparenza ridotta, permettono di attenuare la luminanza di un cielo coperto, ma relativamente luminoso, fino a renderla accettabile anche in caso di lavoro allo schermo. Questa protezione non è tuttavia sufficiente quando risplende il sole.



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 Aussentemperaturen – möglich sein. Luftein- 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

● Corpo umano e ambiente

Per il corpo umano l'esecuzione di lavori meccanici è possibile grazie all'energia fornita dall'alimentazione. Soltanto un terzo di questa energia è, tuttavia, utilizzata a questo scopo; la parte maggiore viene dissipata in calore, permettendo al corpo umano di mantenere una temperatura praticamente costante di 37.5°C. «Bruciando calorie» ogni cellula fornisce una certa quantità di calore che sarà alla fine dissipata sulla superficie del corpo mediante radiazione, convezione e/o evaporazione-traspirazione. Come qualsiasi corpo fisico il corpo umano emette una radiazione infrarossa che dipende in ampia misura dalla sua temperatura; tale radiazione permette lo scambio di calore con l'ambiente (pareti di un locale, vetri, ecc.), indipendentemente dalla temperatura dell'aria ambiente. Poiché anche l'ambiente emette calore mediante radiazioni infrarosse, questo scambio sfocia in una perdita termica per l'essere umano qualora la temperatura ambiente sia inferiore a quella della pelle (ad es. vetri durante l'inverno) ed in un guadagno in caso contrario (ad es. tela di una tenda riscaldata dal sole).

● Traspirazione: effetto di regolazione

Quando lo scambio mediante radiazione e convezione (corrente d'aria causata dall'apertura di finestre) non è più sufficiente a dissipare il calore eccessivo, entrano in gioco i meccanismi di evaporazione-traspirazione (in generale a partire da 28–30°C). Tali meccanismi permettono al corpo di dissipare in modo efficace il calore eccessivo, utilizzando quest'ultimo per far evaporare il sudore. La presenza di un'umidità relativa elevata (ad es. clima tropicale) diminuisce l'efficacia di questo scambio ed aumenta ancora la sensazione di mancanza di comfort provocata dalla temperatura ambiente. Alle nostre latitudini, ancora più frequentemente di quanto non lo si creda è possibile trovarsi confrontati con questa situazione in edifici vetrati, sprovvisti di protezioni efficaci contro il sole (edifici amministrativi) oppure in presenza di fonti di calore interne troppo importanti (ad es. negli empori o nei

grandi magazzini).

● Vetri e «effetto serra»

I vetri presentano il vantaggio principale di essere trasparenti all'irradiazione solare; la luce e le radiazioni infrarosse vicine, che sono componenti dell'irradiazione solare, attraversano i vetri senza risultarne in pratica attenuate.

Tali radiazioni vengono assorbite all'interno del locale (pavimento e pareti), per poi essere nuovamente emesse sotto forma di radiazione infrarossa dal medesimo meccanismo descritto in precedenza (scambio per radiazione). Il vetro assorbe quasi totalmente questo tipo di radiazione infrarossa (infrarosso medio): l'energia solare viene, per così dire, «intrappolata» all'interno dei locali. Questo fenomeno si chiama «effetto serra».

● Rimedio: protezione contro il sole, inerzia termica e ventilazione notturna

L'utilizzazione di protezioni contro il sole allo scopo di controllare la penetrazione dell'irradiazione solare (soprattutto in estate) è indispensabile, in modo particolare se l'edificio è munito di una superficie vetrata molto estesa. Oltre ad una coibentazione termica sufficiente dell'involucro (SIA 180/1 e 380/1) è indispensabile dare all'edificio un'inerzia termica sufficiente. Si potrebbe distinguere il caso del tetto (isolamento e massa) per ottenere un'attenuazione ed uno sfasamento sufficiente ed il caso delle facciate e dei muri per ottenere un'attenuazione delle variazioni di temperatura. Una costruzione massiccia (blocchi di cemento, lastre, ecc.) è in generale da preferirsi ad una costruzione leggera: le variazioni di temperatura vengono fortemente attenuate nel caso di una forte irradiazione solare.

Si raccomanda di utilizzare la ventilazione notturna per rinfrescare l'edificio durante il periodo estivo. Essa permette di sfruttare la bassa temperatura della notte e di diminuire al mattino la temperatura dell'aria dell'edificio, in previsione del calore apportato dal sole durante il giorno.



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.

In opposizione al clima che s'incontra abitualmente dietro alle nostre facciate di vetro, inondate di sole, si può evocare l'immagine di una foresta dalla luce smorzata. Sul piano del clima quest'ultima rappresenta un ambiente quasi ideale per l'essere umano, con temperature d'irradiazione moderate e bassa temperatura dell'aria. Il clima nella foresta è percepito come un clima gradevole poiché il corpo può rinfrescarsi in modo convettivo rispetto all'aria. L'esposizione alla radiazione infrarossa è ridotta. Come se fosse filtrata da una protezione efficace contro il sole, soltanto una percentuale della luce solare penetra attraverso il fogliame (15%) che riflette i raggi solari da ogni parte; l'occhio può adattarsi rapidamente al livello ridotto dell'ambiente luminoso. L'irrigazione della pelle, dei tessuti e dei muscoli ne risulta migliorata, cosicché i vasi sanguigni si allargano e ci si sente a proprio agio.

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'integrazione adeguata della luce naturale nel progetto architettonico sfocia in un miglioramento delle condizioni di comfort degli utenti ed in una diminuzione del consumo di elettricità dell'edificio. Il successo di questa integrazione dipende dalla volontà del committente che è, tutto sommato, responsabile delle scelte fondamentali per quanto concerne il progetto. Architetti di fama internazionale hanno compreso da lungo tempo tale regola e la mettono in pratica. È il caso, ad esempio, di Norman Foster e dei suoi soci, responsabili del progetto dell'aeroporto di Stansted in Gran Bretagna: grazie alla creazione di aperture zenitali sufficienti (indici di apertura 4%), nonché ad una scelta di rivestimenti a tinte chiare, essi hanno contribuito alla realizzazione di un atrio d'aeroporto caratterizzato da un'autonomia notevole per quanto concerne l'illuminazione naturale.



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 la 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 tous 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 variables 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 vers le 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 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).

Per quanto concerne le caratteristiche di utilizzazione della luce naturale, il lavoro in sezione è decisivo già nella fase di progetto iniziale (progetto «Tour et Plaza» di Tadao Ando, 1976).

Deux types de ciel

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

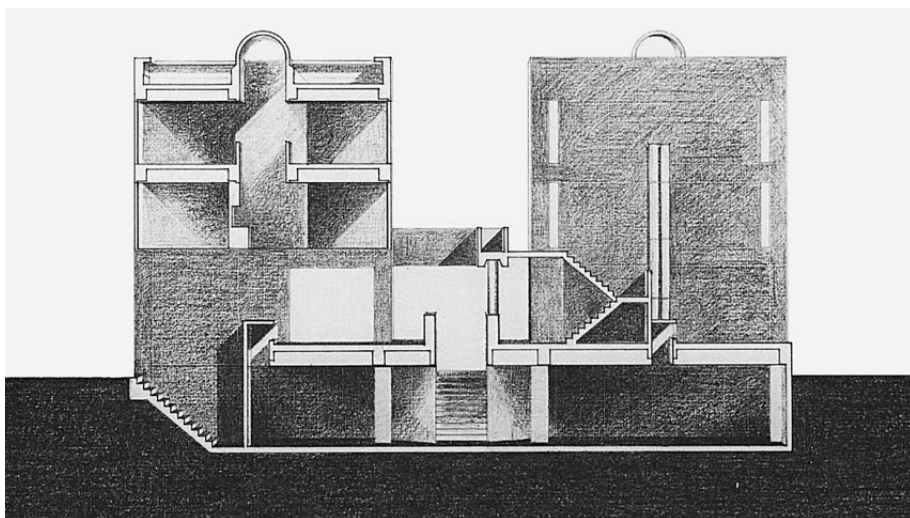
- *un ciel couvert ou un ciel clair atténué par une protection solaire procure une lumière calme ou homogène caractérisée par une moindre intensité, une couleur plus froide et des contrastes moins prononcés.*
- *un ciel clair ensoleillé procure une lumière dynamique caractérisée par une intensité élevée, 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.



● Ampiezza della variazione dell'irradiazione

La luminanza del cielo varia fortemente a seconda del luogo, dell'annuvolamento, della stagione e del grado d'insediamento. La differenza tra il sole che irradia direttamente ed il cielo azzurro o quello coperto è notevole per quanto concerne la luminanza.

● È sufficiente un fattore di luce diurna del 5%

Sotto il cielo del nostro Paese che è coperto in media per il 50%, è sufficiente un fattore di luce diurna del 5% per poter operare sul posto di lavoro con 500 lux durante il 50% del tempo di lavoro effettuato in ufficio. Senza l'adozione di misure tecniche mirate sia per quanto concerne la luce naturale, sia fotometriche (percentuale più elevata di finestre, colori chiari) non è possibile ottenere fattori di luce diurna superiori al 2% a partire da una profondità del locale di 3 metri.

● L'utilizzazione della luce naturale nel locale

Nel caso di utilizzazione della luce naturale nel locale si deve tener conto oltre che di aspetti quantitativi, anche di aspetti qualitativi. Oltre ai problemi di vista, sono particolarmente interessanti i criteri psicologici, fisiologici (abbagliamento, contrasti, colorazione) ed economici (autonomia della luce naturale, costi dell'energia). A questo proposito cfr. anche «ABC dell'ergonomia sul posto di lavoro davanti ad uno schermo».

● Luce laterale e lucernari

La luce naturale può per principio giunge-

re fino ai locali interni attraverso aperture laterali e lucernari. Negli edifici ad un solo piano la scelta della direzione della luce dipende in primo luogo dalla profondità dell'edificio stesso e dalla destinazione cui viene adibito. I lucernari sono «dispensatori di luce» migliori di quanto non lo siano le finestre laterali: con lo stesso apporto di luce naturale essi possono essere circa 5 volte più piccoli! Un edificio di parecchi piani può tuttavia essere illuminato mediante lucernari solo al piano più elevato, a meno che l'architetto faccia penetrare la luce naturale nei locali dei piani inferiori mediante canali oppure attraverso cortili interni o atri costosi. Normalmente la luce laterale deve essere introdotta di fianco nei piani inferiori.

● Il progetto preliminare è determinante!

Le decisioni concernenti l'impiego della luce naturale devono essere prese già durante l'allestimento del progetto preliminare. In seguito è troppo tardi, poiché a progetto preliminare ultimato le aperture possono soltanto essere spostate, ampliate o rimpicciolite. Di conseguenza è possibile eseguire soltanto un perfezionamento parziale.

● «Capitolato d'onere luce naturale»

Gli architetti, i loro committenti e gli ingegneri specializzati potrebbero esprimere tempestivamente le loro idee in merito all'utilizzazione della luce naturale in un abbozzo di progetto eseguito nel quadro di un «capitolato d'onere luce naturale» (programmazione dell'impiego degli spazi). Nell'ambito di studi di modelli, di prove eseguite sugli stessi e di simulazioni è oggi infatti possibile esprimere già tempestivamente considerazioni quantitative e qualitative in merito al comfort offerto dalla luce naturale ed all'autonomia ottenibile con la luce naturale stessa (cfr. anche «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, Liegenschaftenverwaltungen 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 Baustruktur, 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.

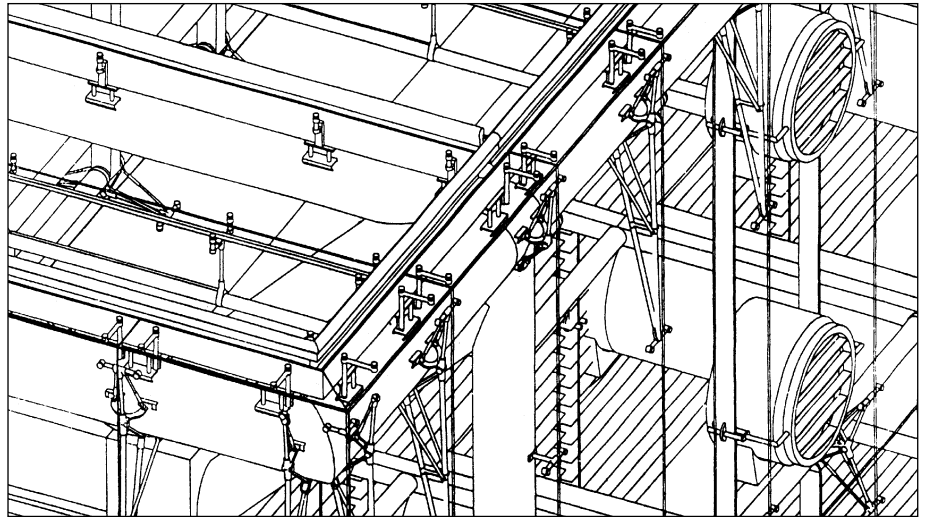
Beim Gebäudeentwurf – ob Baueingabe oder Wettbewerb – wird die Energie oft noch als «Stiefkind» behandelt. Man tut sich schwer mit dem rechnerischen Nachweis gemäss SIA-Empfehlung 380. Energiesparendes Bauen und gute Architektur schliessen sich indessen nicht aus.

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 verflochten 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).

Esempio d'integrazione già in fase di progetto preliminare; protezioni contro il sole, impiantistica ed impianti di sicurezza di un edificio; la scelta di un edificio completamente a vetri rimane opinabile sul piano energetico (architetto Francis Soler, Parigi; ingegnere: YRM, Anthony Hunt Ass., Londra).



«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

● Raggruppare gli equipaggiamenti tecnici

Certi edifici sono muniti di numerosi equipaggiamenti tecnici che svolgono diverse funzioni (dispositivo di sicurezza, avvolgibili automatici, reti informatiche). Certi locali richiedono talvolta una densità di equipaggiamenti particolarmente elevata (ristoranti, posteggi, sale per conferenze, ecc.). Progettare ed installare tali equipaggiamenti in modo non coordinato costituisce spesso una spesa inutile. Sulla base dei bisogni particolari dei singoli utenti è possibile elaborare un concetto generale tale da permettere una diminuzione dei periodi di funzionamento critici, di raggruppare attorno alle centrali i locali con bisogni particolari, limitando in questo modo le perdite di trasporto e permettendo di ridurre il consumo di energia. L'illuminazione dei locali deve costituire parte integrante di questo concetto generale.

● Prevedere equipaggiamenti integrati

Gli equipaggiamenti di distribuzione di energia, di sicurezza, di protezione antincendio, le reti informatiche ed i sistemi cercapersone rendono sempre più difficile la gestione degli edifici. Questi sistemi possono diventare alleati preziosi nella gestione ottimale dell'energia degli edifici, in quanto essi permettono di riattualizzare praticamente in modo continuo i comandi degli impianti grazie al fatto che sono sempre a conoscenza dello stato effettivo degli stessi. L'utilizzazione di queste informazioni permette di aumentare la durata di vita di tali impianti, di ridurre i costi di manutenzione, limitando contemporaneamente il consumo di energia e migliorando il comfort.

● Risorse energetiche limitate

Fino ad oggi l'energia è stata utilizzata in modo abusivo, come se costituisse una risorsa illimitata. In considerazione dell'aumento costante del suo costo, essa permette di rendere economicamente vantaggiosa la gestione centralizzata dell'edi-

ficio, qualora se ne tenga conto nella concezione architettonica dell'edificio stesso fino dal progetto preliminare. Grazie ad una valutazione dei sistemi, eseguita tempestivamente nell'ambito di una progettazione integrale, è possibile giungere ad una realizzazione dell'edificio con piena soddisfazione degli utenti.

● Competenze e padronanza dell'energia

Come nei settori della statica, della protezione antincendio e della sicurezza, l'architetto deve acquisire una maggior competenza nel campo della padronanza dell'energia. Benché oggi essi siano soprattutto competenza degli specialisti, l'impiego ottimale della luce naturale e l'impiego razionale dell'energia devono costituire una preoccupazione prioritaria degli architetti: essi non devono più, comunque, essere il frutto di una cattiva progettazione o del caso.

● Pianificazione mediante nuovi strumenti di progettazione

I programmi informatici e le attrezzature sperimentali (laboratorio per la luce naturale) costituiscono strumenti di progettazione e di dimensionamento che permettono di progettare l'impiantistica di un edificio offrendo le prestazioni migliori con un minor costo energetico.

Questi strumenti permettono di prevedere il comportamento termico degli edifici, di determinare la distribuzione della luce nei locali, di calcolare i livelli d'illuminazione, nonché quelli della temperatura interna in estate per potere in tal modo fare un paragone tra diverse varianti del progetto: l'utilizzazione di tali strumenti deve già aver luogo nella fase di progetto preliminare. La valutazione dei diversi componenti e delle diverse parti dell'edificio, nonché il confronto dei risultati nell'ambito di un vero e proprio gruppo di progettazione (collaborazione interdisciplinare), permette di fare in modo che l'insieme di tali componenti sia superiore alla semplice somma di ogni parte.

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.

Pour quoi 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'éclairement à l'intérieur de la maquette, de même que d'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'éclairement 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⁾.

Oggi gli architetti si possono basare su strumenti di progettazione efficaci: modelli architettonici vengono esaminati sotto il «cielo artificiale» e modelli numerici o immagini sintetiche facilitano le fasi preliminari di pianificazione di un progetto.

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



● Studi sulla luce naturale con modelli

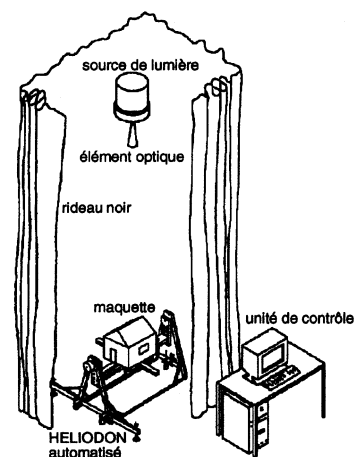
Gli architetti che dispongono di modelli in scala ridotta possono eseguire importanti studi specifici sulla luce naturale già in una fase iniziale di progettazione: mediante i modelli (di regola in scala 1:50 oppure 1:20) gli ambienti luminosi interni possono essere analizzati in modo rapido e senza complicazioni. I sensori dell'illuminazione inseriti nel modello ed accoppiati con una videocamera, rispettivamente con un'unità di controllo della luce naturale, permettono di fare considerazioni qualificate sotto un cielo artificiale oppure un simulatore di luce diretta (heliodon). Tali considerazioni riguardano quindi l'abbagliamento, le zone d'ombra oppure l'illuminazione naturale per ogni giorno o per ogni stagione ed a qualsiasi latitudine. Per la simulazione della luce naturale oggi possono essere visualizzati i raggi diretti del sole, se del caso con un laser.

● Modelli numerici

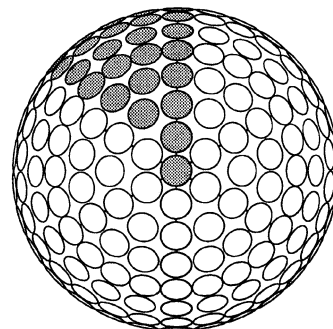
La miniaturizzazione di qualità ed effetti fotometrici (ad es. elementi per la protezione contro il sole, superfici dalla conformazione speciale, riflessioni) costituisce spesso un'impresa difficilmente realizzabile su un modello. È possibile avviare a tale stato di cose utilizzando moderni programmi per computer nei quali sono introdotti i dati fondamentali dei materiali utilizzati nella costruzione. In tal modo è inoltre possibile variare a piacimento sullo schermo del computer qualsiasi tipo di geometria.

● Immagini sintetiche

Le simulazioni della luce naturale eseguite per mezzo del computer possono fornire dati importanti anche nel caso di configurazioni complesse. Mediante le immagini sintetiche è possibile determinare i fattori di luce diurna in funzione della profondità del locale, la ripartizione delle luminanze sulle superfici, un calcolo preliminare delle persone che nell'azienda sono insoddisfatte della luminosità dell'ambiente, nonché la dipendenza dalla luce artificiale. Successivamente l'architetto rende ottimali i parametri decisivi della progettazione.



Simulateur de lumière directe.
Représentation schématique des principaux composants.



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.

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'éclairement 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 Extreträume 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. «Extreträume» werden nötigenfalls durch entsprechende Variation der Eingabegrössen oder durch separate Berechnung simuliert.

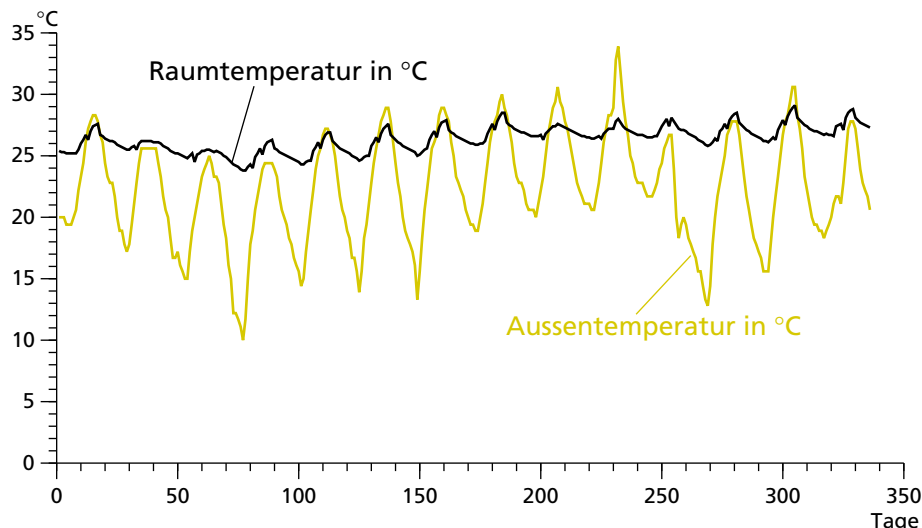
Benötigte Unterlagen sind: Standort und Orientierung des Gebäudes, Angaben zur Bauweise, Glastypen, Art des Sonnenschutzes, Nutzung der Räume, innere Wärmelasten, Lüfterneuerungsrate (am Tag und in der Nacht) sowie installierte Apparate und Hinweise zur Umgebung.

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 Büro-
raumes:** in warmen Sommerperioden
schauelt 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.

**Simulazione dinamica della temperatura
interna di un edificio: è possibile
realizzare lo studio dei periodi critici
sul piano del
comfort termico.**



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 Gebäude-
struktur (Materialien, Schichtstärken),
Fassadengeometrie, Orientierung, Per-
sonenbelegung und Betriebszeiten.
In einem zweiten Schritt werden Haus-
technikinstallationen 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 Zeit-
raumes in stündlichen Schritten. Dabei
werden relevante interne und externe
Einflussfaktoren berücksichtigt (extern:
Meteodaten, intern: Beleuchtung, Perso-
nenbelegung, Apparate).
Die dynamischen Wärmetransport-
vorgänge 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 Beschattun-
gen und Lichtsteuerungen von
anschliessenden Räumen mit verschie-
denen Temperaturzonen (z.B. Winter-
gärten oder Atrien)?
- Welchen Energiebedarf (Heiz- und
Kühllastberechnungen) haben unter-
schiedliche HLKK-Systeme?
- Welche passiven Sonnenenergiegewin-
ne durch Fenster oder über Absorber-
wände 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. Berech-
nung der Auswirkung verschiedener
Sonnenschutzsysteme und Bestimmen der
Kühlleistung) wird kostengünstig z.B. das
Helios-Programm eingesetzt. Die Bear-
beitungszeit (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 erfor-
dern 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-Simula-
tionen.

Je klarer die Aufgaben zu Beginn umris-
sen 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 Gebäude-
design»; 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

● Simulazioni dinamiche

*Certi programmi utilizzabili su PC (Helios,
DOE-2, TRNSYS, Quick, ecc.) permettono
oggi di prevedere l'evoluzione dinamica
della temperatura interna dei locali in fun-
zione del tempo atmosferico, nonché il
fabbisogno di riscaldamento o di raffred-
damento.*

● Risposte espressive ...

*Le simulazioni dinamiche permettono di
rispondere alle domande seguenti,
importanti per quanto concerne il comfort
estivo:*

- *qual è l'effetto della protezione contro
il sole?*
- *Qual è l'influsso della facciata e della
struttura massiccia della costruzione?*
- *Quali sono gli effetti dei carichi termici
interni?*
- *Quale apporto può fornire la ventilazio-
ne naturale?*
- *In qual modo è possibile rendere otti-
mali i parametri dell'edificio?*
- *Quali sono i bisogni reali nel settore
degli impianti?*

● ... in una o alcune settimane

*Lo studio di un edificio può essere esegui-
to studiando il comportamento di uno o
di alcuni locali tipo.*

*Per l'elaborazione di tali studi occorre pre-
vedere, a seconda del tipo di programma
utilizzato, da una a parecchie
settimane di lavoro.*

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, Oeffnungsdisposition 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: Verbaungsgrad, 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

Luce naturale

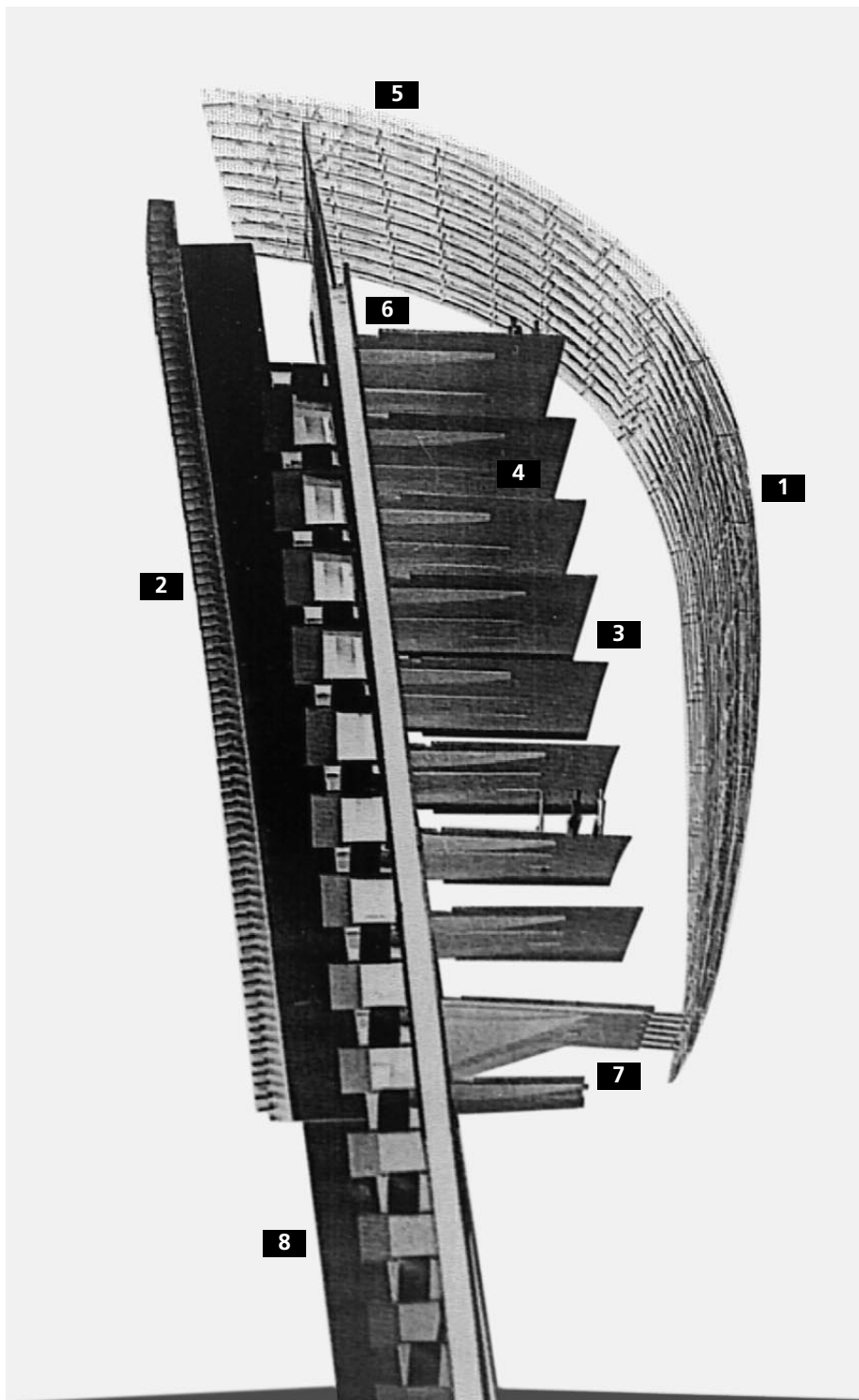
- *tener conto dell'ambiente: orientamento, costruzioni vicine, alberi, natura del suolo*
- *disporre i locali ed i volumi limitando la profondità degli spazi ed aumentando l'altezza vicino all'apertura (eliminare le architravi)*
- *sfruttare le possibilità d'illuminazione all'interno dei volumi mediante pozzi di luce o atrii*

Energia – protezione contro il sole

- *d'inverno sfruttare l'irradiazione solare passiva*
- *d'estate trattenere l'irradiazione solare diretta mediante protezione fissa o mobile a seconda dell'orientamento (fattore di protezione contro il sole: $g < 0.15$)*
- *evitare le protezioni contro il sole che sono causa di un impiego dell'illuminazione artificiale*
- *padroneggiare i carichi termici interni*
- *scegliere un buon isolamento del tetto e delle facciate (attenuazione, sfasamento)*
- *attenuare gli aumenti della temperatura mediante una massa termica sufficiente della costruzione (pareti, pavimenti, soffitti di almeno 300 kg/m³)*
- *eliminare il calore residuo mediante ventilazione notturna naturale*

Comfort visivo

- *cercare una distribuzione regolare della luce nel locale*
- *accentuare l'illuminazione nei punti che ne hanno maggiormente bisogno*
- *orientare i posti di lavoro in modo corretto onde evitare gli abbagliamenti*
- *aver cura di diminuire i contrasti di luminanza (non oltre 1 a 3 sul posto, non più di 1 a 10 nell'ambiente stesso di lavoro e da 1 a 50, al massimo, nel panorama), mediante scelta di materiali con potere di riflessione diffuso (tessitura, forma, colore e struttura)*
- *prevedere coefficienti di riflessione sufficienti: pavimento 30%, pareti 50%, soffitto 70%*
- *mantenere il contatto visivo con l'esterno*



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 Schwertspeichermasse
- 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?

Beschränkter 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 Erdoberfläche 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 ausgeschlossen. Nun muss das Kunstlicht eingeschaltet werden und die Wärmegewinne der Beleuchtung werden durch Kühlung «vernichtet».

Un sistema di protezione contro il sole non dovrebbe impedire la penetrazione della luce naturale.



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 ist.

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 Verdunkelungseffekt; 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 eingestrahelte 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).

Protezione contro il sole su una facciata orientata completamente a sud, realizzata mediante elementi fotovoltaici translucidi (edificio LESO-SPFL). Le tapparelle avvolgibili, situate sulla parte inferiore della finestra, permettono all'utente di evitare un abbagliamento eccessivo.



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 Lichtdurchlässigkeitsstellung 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 prismaförmigen, 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 $< 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- 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).

Esempio estremo di protezione di un edificio contro il sole, realizzata per mezzo di lamine orizzontali fisse; la protezione contro il sole non è garantita sulle facciate ad est e ad ovest (edificio Cartier, St.-Imier; architetto: Jean Nouvel, Parigi).



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. Szolalay; 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

● Vetri «furbi» ...

La ricerca ha permesso di realizzare materiali di vetro che costituiscono veri e propri «vetri furbi». Tali vetri, rivestiti oppure costituiti da parecchi strati, possono modificare «automaticamente» le loro caratteristiche di trasmissione della luce, in funzione dell'illuminazione esterna (vetri fotocromici) oppure in funzione di una tensione elettrica applicata alle loro estremità (vetri elettrocromici). Altri tipi di vetri possono modificare in modo selettivo il loro potere di riflessione del calore (radiazione infrarossa). Questi materiali, ancora allo stadio di laboratorio, devono permettere di realizzare vetri capaci di adattarsi a condizioni meteorologiche mutevoli (cielo coperto – cielo sereno, giorno – notte, ecc.): un'ottimizzazione della captazione dei raggi solari ed una riduzione delle perdite di calore notturne potrebbero in questo modo essere realizzate. Questo tipo di vetro non viene ancora prodotto a livello industriale (dimensioni e durata di vita ridotte); le prestazioni di alcuni di questi vetri devono ancora essere migliorate (ad es. trasmissione a cielo coperto).

● ... impiegando anche gli strati olografici...

Un'altra via seguita dalla ricerca è quella costituita dagli strati olografici: questi strati vengono applicati su vetri convenzionali. Essi sono costituiti da una rete microscopica (ologramma) che permette di modificare il percorso dei raggi luminosi mediante diffrazione.

La luce diretta può, di conseguenza, venire convogliata verso le parti più oscure del locale. Come i sistemi prismatici, questi dispositivi presentano l'inconveniente di scomporre la luce bianca: i colori dell'arcobaleno appaiono così sulle pareti del locale. Lo sviluppo di questa tecnologia promettente non ha ancora raggiunto lo stadio della produzione in serie. Gli sforzi effettuati nel settore della ricerca continuano allo scopo di produrre materiali a buon mercato che posseggano

caratteristiche precise e tali da permettere il cambiamento della direzione della luce in funzione della posizione del sole.

● ... per realizzare edifici ottimali dal punto di vista energetico...

Le protezioni contro il sole si sono spesso e sfortunatamente trasformate in elementi architettonici che ostacolano la luce naturale. Una buona progettazione delle protezioni contro il sole, stimolata dal nuovo fascino esercitato dalla luce naturale, nonché la necessità di diminuire il consumo di elettricità negli edifici, deve permettere di conciliare la funzione di protezione contro i raggi solari (luce diretta) con la possibilità di sfruttare la luce naturale (luce diffusa). La nuova architettura ha il dovere di assumersi l'onere di questa problematica.

● ... la via è già tracciata!

Le misure che permettono di diminuire i fabbisogni d'illuminazione e di raffreddamento dei locali causano risparmi finanziari sia al momento dell'investimento, sia durante l'esercizio. Gli investimenti che permettono di realizzare un involucro «intelligente» dell'edificio vengono generalmente ammortizzati a lunga scadenza grazie al loro particolare effetto benefico sul comfort degli utenti (aumento della produttività). Il costo attuale della manodopera diminuisce in proporzione la durata dell'investimento.

Questi vantaggi individuali a favore del committente vanno di pari passo con gli interessi comuni dei cittadini per i quali la diminuzione dell'onere sulle nostre risorse ed il nostro ambiente costituisce una garanzia di sopravvivenza a lunga scadenza (sviluppo durevole).

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 Raumbeleuchtung. 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 Wärmegewinn – 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

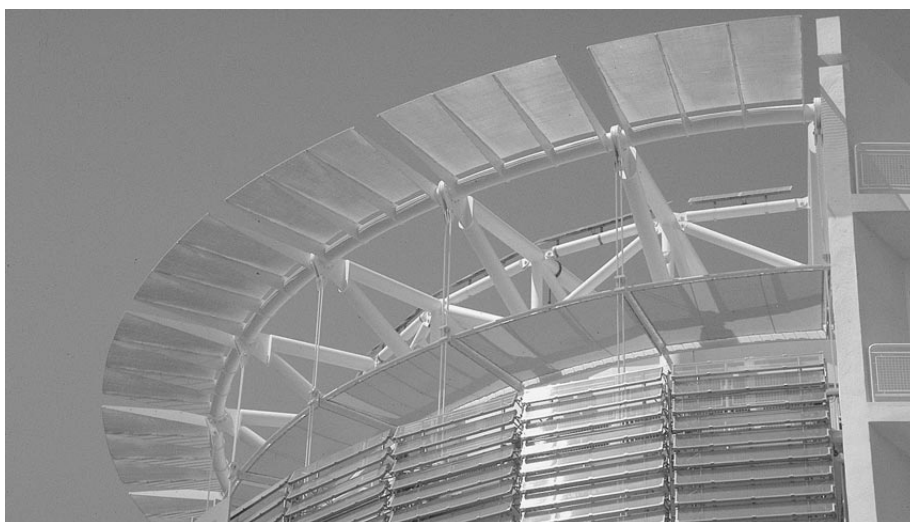
Bewegliche Prismensysteme eignen sich besonders für senkrechte Fassadenbereiche: Auf der Innenseite der Fensteröffnung angebracht, entspricht das System gestalterisch und funktional einem Vorhang. Als Sonnenschutz befinden sich die Prismenlamellen vor der gesamten Fensterfläche. Um den freien Ausblick 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 Hypothese 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.

I pannelli prismatici traggono profitto dalle caratteristiche di riflessione totale della luce per poter respingere l'irradiazione solare diretta. Per essere veramente efficaci questi pannelli devono essere mobili e orientati in funzione della posizione del sole.



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»; Bunkkiel-Kuck, K.; Baumeister-Sonderheft «Fassaden»; Callwey Verlag, München 1993
- 3) «Tageslichttechnik»; Bunkkiel-Kuck, K.; Oswalt/Rexroth (Hrsg); "Wohltemperierte Architektur"; C. F. Müller; Heidelberg 1994

● Utilizzazione della luce naturale in vista di un risparmio energetico

Un dispositivo d'illuminazione naturale deve, nel caso ideale, attenuare la luce diretta proveniente dal sole e dirigerla in una direzione adeguata. Contemporaneamente deve captare la luce diffusa.

● Illuminare le zone lontane

Un dispositivo d'illuminazione naturale deve, oltre alla propria funzione di protezione contro il sole, gestire in modo efficace la luce diffusa. Per le facciate verticali certi dispositivi (pannelli prismatici, sistemi anidolici) permettono di dirigere la luce naturale verso il soffitto: in tal modo si può evitare l'abbagliamento caratteristico in prossimità delle finestre (luminanza superiore a 10'000 cd/m²). Le aperture che portano luce dall'alto (lucernari, sheds) permettono di dirigere la luce naturale verso i punti poco sensibili all'abbagliamento (zone di circolazione)

● Miglioramento del comfort visivo

La luminanza dei vetri deve essere limitata mediante avvolgibili oppure tende, onde poter sfruttare la luce naturale senza portare pregiudizio ai posti di lavoro muniti di schermi. In questo caso i posti di lavoro potranno essere sistemati in qualsiasi parte del locale senza rischio di abbagliamento per gli utenti. La distribuzione della luce naturale nel locale deve essere controllata: l'illuminazione naturale della zona situata vicino alle finestre deve essere ridotta in paragone al caso convenzionale (finestre con vetri), mentre quella delle zone situate lontano dalle finestre deve essere aumentata.

È possibile prevedere la possibilità di utilizzare in modo efficace la luce naturale fino a 6 metri dalle finestre.

● Dispositivo per la luce naturale

La scelta di un sistema di luce naturale dipende dall'obiettivo stabilito. Certi dispositivi servono quali protezioni contro il sole (pannello prismatico mobile), mentre

altri permettono di dirigere la luce naturale verso il fondo del locale (pannello prismatico fisso, sistema anidolico). Le aperture poste alla sommità dell'edificio permettono di ottenere locali ben illuminati dalla luce naturale, senza utilizzare sistemi complessi (apertura semplice). Nel caso di aperture laterali è necessario utilizzare dispositivi complessi.

● L'integrazione del sistema è necessaria

I dispositivi per la luce naturale comprendono generalmente elementi ottici relativamente complessi e delicati: l'umidità e la polvere, in particolare, fanno diminuire rapidamente le loro prestazioni. Su uno dei lati dei pannelli prismatici viene posto uno strato sottile di alluminio: esso aumenta il potere di riflessione della luce diretta ed aumenta contemporaneamente il potere di rifrazione del prisma che riveste un ruolo preponderante per quanto concerne i raggi provenienti dalla parte superiore della volta celeste (zenit).

I sistemi anidolici, che sono deviatori della luce estremamente efficienti, per riflettere la luce utilizzano alluminio di qualità ottica, simile a quello utilizzato oggi nei lampadari. Se i pannelli prismatici possono essere integrati in un vetro isolante (dimensioni di 206 x 206 cm) ed assemblati sotto forma di moduli sono, tuttavia, protetti dai vetri che chiudono ermeticamente questi sistemi alle loro estremità.

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).

I materiali d'isolamento traslucidi permettono di trasformare una vetrata in una fonte di luce diffusa di grandi dimensioni.

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



● Isolamento traslucido

I materiali d'isolamento traslucidi trasmettono la luce in modo diffuso e, in certi casi, parzialmente in modo regolare (trasparenza); essi posseggono, inoltre, qualità interessanti di coibentazione termica. Si tratta di materiali particolarmente adeguati alle finestre dei locali per i quali non si desidera la trasparenza (sale da bagno, trombe di scale, ecc.). Essi permettono, d'altronde, di aumentare l'efficacia energetica delle aperture per le quali la vista verso l'esterno non è assolutamente indispensabile (copertura parziale di un atrio, sheds, ecc.).

● Fotometria complessa

A seconda della costituzione del materiale (struttura di polycarbonato, bolle d'aria, nido d'ape, ecc.) il gioco della luce in quest'ultimo può essere complesso. Si possono manifestare riflessioni e deviazioni dei raggi luminosi che causano effetti di abbagliamento sulla sua parte posteriore; la parte anteriore appare sempre come una superficie opaca di color bianco ed uniforme.

● Nido d'ape, strutture capillari, aerogel

I materiali traslucidi d'isolamento, composti da strutture a nido d'ape o da strutture capillari, permettono di migliorare in modo minimo l'utilizzazione della luce naturale. Questi materiali permettono soprattutto ai vetri di comportarsi come una fonte luminosa uniforme di grandi dimensioni e, di conseguenza, di migliorare le possibilità d'illuminazione naturale in caso di un debole livello d'illuminazione. Le strutture cilindriche, che compongono questi materiali, dirigono in parte la luce naturale. Il loro potere di trasmissione è, tuttavia, troppo esiguo per fare di questi materiali dispositivi efficaci di gestione della luce naturale. Le tegole di aerogel posseggono proprietà ottiche diametralmente opposte. Esse sono costituite da uno stampo di aerogel di silicio (componente della sabbia e del vetro) che possie-

de la caratteristica di essere trasparente alla luce.

Sono così reperibili pannelli traslucidi composti da sfere di aerogel. Questi elementi sono caratterizzati da un grande potere di coibentazione termica: una tegola di aerogel di alcuni centimetri di spessore offre praticamente le stesse prestazioni termiche di un muro isolato. Questi materiali non sono ancora in vendita su vasta scala; la loro utilizzazione nel settore dell'illuminazione naturale per superfici orizzontali sembra tuttavia essere molto promettente.

● Possibilità d'utilizzazione multiple

I materiali d'isolamento traslucidi migliorano, con un costo supplementare minimo, la qualità termica dell'involucro di un edificio: le loro possibilità di applicazione nel settore delle finestre e delle facciate sono estese. La loro integrazione con i vetri permette di combinare questi ultimi con altri elementi convenzionali della facciata. Contrariamente ad altri sistemi questi elementi non richiedono condizioni preliminari per la loro installazione. La loro applicazione è possibile sia negli edifici adibiti ad abitazione, sia in quelli amministrativi ed industriali.

● La ricerca continua

I materiali d'isolamento traslucidi sono oggetto di numerose ricerche a livello internazionale. È stato realizzato un numero elevato di edifici utilizzati per dimostrazione. Ai nostri giorni sono a disposizione degli architetti alcuni programmi di simulazione che permettono di valutare le condizioni d'illuminazione interna dei locali quando vengono utilizzati questi tipi di materiale. Altri programmi permettono di calcolare il comportamento termico di questi locali. È così possibile prevedere la configurazione ottimale, sul piano termico e della luce, di questi componenti d'isolamento traslucidi.

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 Helio- staten 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 Fassadeflächen mit diesen «Sonnenleuchten» 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).

Gli ologrammi, integrati nelle vetrate, permettono di riflettere la luce diretta verso una direzione più adeguata; essi non esplicano un influsso sulla luce diffusa.



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.

● Evitare l'abbagliamento

Certi vetri, muniti di una rete olografica che focalizza la luce parallela proveniente dal sole, permettono di deviare la stessa su elementi assorbenti situati dietro i vetri medesimi (ad es. cellule fotovoltaiche). La superficie di questi elementi è ridotta in rapporto a quella dei vetri (ca 30%). Il resto dell'apertura è trasparente alla luce diffusa; l'illuminazione naturale del locale viene così garantita. Il suo buon funzionamento presuppone sempre l'orientamento continuo dell'ologramma rispetto al sole.

● Selettività spettrale

È possibile realizzare un filtraggio selettivo dell'irradiazione solare mediante elementi olografici. La parte dell'irradiazione filtrata in modo selettivo può essere trasmessa su elementi assorbenti mobili. È così possibile eliminare la parte infrarossa dell'irradiazione solare, riducendo la sua intensità di circa 28%, pur mantenendo intatto lo spettro visibile; viene così ridotto il carico termico degli impianti di raffreddamento. In caso di riscaldamento passivo è così possibile trasmettere l'intero spettro dell'irradiazione solare. Mediante questo procedimento è possibi-

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 Bürobau», 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

le filtrare altre parti dello spettro (UV, colori). Può essere esaminata la possibilità d'influenzare, in una certa misura, sia il colore della luce all'interno di un locale, sia l'apporto energetico dell'irradiazione solare.

● Trasformazione fotovoltaica dell'irradiazione filtrata

Il problema del riscaldamento negli uffici è spesso meno importante del problema del raffreddamento dei locali, soprattutto a causa dei guadagni termici interni importanti che si manifestano inevitabilmente in questo tipo di locale.

È indispensabile munire le finestre di protezioni contro il sole. La protezione contro l'abbagliamento richiede un controllo della penetrazione della luce diretta nel locale.

Gli uffici si prestano ottimamente all'utilizzazione della luce naturale durante tutto l'anno. L'irradiazione solare superflua, respinta grazie alla protezione contro il sole o a quella per evitare l'abbagliamento, può essere utilizzata per produrre elettricità fotovoltaica (FV).

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 Streulinzen 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 energiesparend: Sonnenbeschienene Spiegel substituieren bis zu 600 W/m² Lichtleistung. 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).

Utilizzazione di eliostati dipendenti dalla corsa del sole, onde riflettere nuovamente la luce solare diretta (aeroporto di Stoccarda; architetto Von Gerkan, Marg und Partner, Amburgo).



Konzentrationsspiegel 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-Konzentrationsspiegeln 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 integrierten Solarzellen in elektrischen Strom wandeln. Zusätzlich ist eine Anpassung der Ultraleichtoptiken an den Baukörper bis hin zur Integration in die Bauhülle in Vorbereitung.

● Deviazione della luce diretta mediante specchi

Oggi hanno fatto la loro apparizione sul mercato i sistemi di deviazione della luce naturale diretta mediante specchi. Essi completano altri sistemi di luce naturale, in particolare per quanto concerne l'illuminazione di edifici di grande mole (atri di aeroporti, superfici estese, ecc.). A causa del loro costo relativamente elevato, che non ne permette una produzione su vasta scala, l'accento viene posto sulle costruzioni leggere (ad es. utilizzazione di nuovi strati sintetici) e sulle costruzioni in serie che possono essere direttamente integrate nell'edificio. Viene parimenti sfruttato lo sviluppo della tecnologia solare (eliostati, specchi a focalizzazione).

● Utilizzazione degli eliostati

Gli eliostati sono costituiti da un sistema di specchi piani capaci di seguire la corsa del sole e di dirigere in una direzione fissa il fascio di luce così riflesso; quest'ultimo viene generalmente orientato verso l'interno dell'edificio. Questi specchi appaiono come soli fissi che presentano, tuttavia, tutti i vantaggi del sole vero (intensità luminosa elevata, spettro ideale, ecc.). Il fascio può così essere utilizzato, in presenza del sole (cielo senza nubi), per illuminare l'interno degli edifici.

● Immagazzinamento della luce

Oggi non è possibile immagazzinare la luce naturale. L'utilizzazione di sostanze fosforescenti, come il plancton marino oppure certi prodotti chimici, non permette un'illuminazione efficace. La ricerca permetterà forse di risolvere un giorno questo problema.

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

Nel caso delle finestre laterali la penetrazione della luce naturale diminuisce in modo esponenziale: in vicinanza delle finestre v'è troppa luce naturale e a partire da 3 metri di profondità del locale essa è insufficiente.

Componenti efficaci della luce naturale dirigono perciò, in modo ottimale e nelle zone più profonde del locale, una luce zenitale molto forte.

In tal caso non è quindi raccomandabile un accoppiamento della protezione contro il sole e della guida della luce, poiché una parte principale della luce naturale verrebbe sempre tenuta lontana dall'interno del locale.

Simulazioni eseguite con il computer dimostrano che componenti di guida della luce installati nella zona del lucernario illuminano un locale campione in modo ben differente: in un locale di riferimento normale, munito di vetri isolanti, il fattore di luce diurna diminuisce del 20% a livello delle finestre e del 2% a partire da 3 m di profondità del locale.

Un «lucernario anidolico» presenta al contrario ancora un fattore di luce diurna del 2% ad una profondità del locale di 6 m. Grazie a misure architettoniche è quindi possibile ottenere una maggiore autonomia di luce naturale all'interno dei locali.

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 façon sensiblement différente 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.

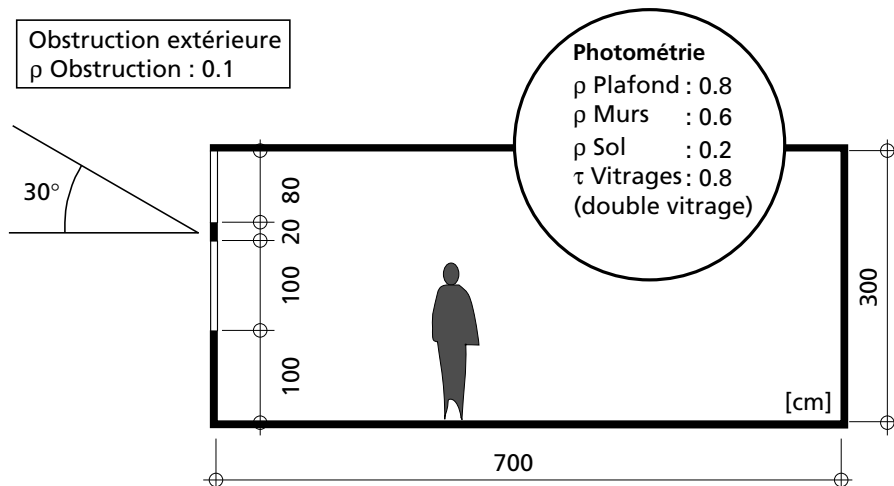
Des calculs sophistiqués

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/m^2) 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) calculée selon le modèle de Guth (4) et par le rapport entre la luminance maximale et la luminance moyenne du champ visuel ($L_{\text{max}}/L_{\text{moy}}$), 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 la 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 isolants) -
Pour la place de travail $FPI = 9\%$, rapports de luminance : ergorama 4.9, panorama 40.2 (vision directe d'une partie du ciel).

Il locale di riferimento (vetri isolanti normali) presenta sul posto di lavoro una grande quantità di luce naturale (fattore di luce diurna: 9%), con contrasti di luminanza molto elevati.

Sezione di principio di un'unità simulata del locale, larga 5 m.

La fotometria dei materiali ai limiti del locale è stata presupposta con i seguenti fattori di riflessione:

soffitto	80%
pareti	60%
pavimento	20%

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



Références:

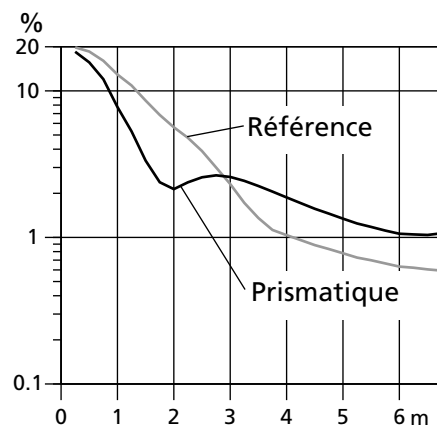
- 1) «Innovative Daylighting: Review of Systems and Evaluation Methods»; P.J. Littlefair; Lighting Research and Technology, vol. 22, n° 1, 1990
- 2) «Outils informatiques en lumière naturelle» – Projet NEFF 435.2; J.-L. Scartezzini, R. Compagnon, G. Ward, B. Paule; CUEPE (Université de Genève) & LESO-PB (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

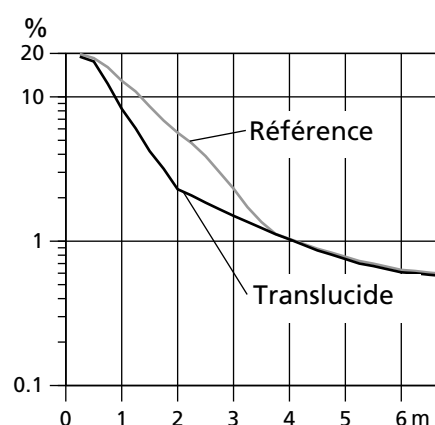


Profils du facteur de lumière du jour: calcul pour le déviateur prismatique.

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 matériau). 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'éclairement de sa moitié arrière.

La diffusion atténue 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 ($363 \text{ [cd/m}^2\text{]}$ au lieu de $2600 \text{ [cd/m}^2\text{]}$). Cette luminosité dépasse légèrement celle de l'obstruction extérieure visible par la fenêtre inférieure.

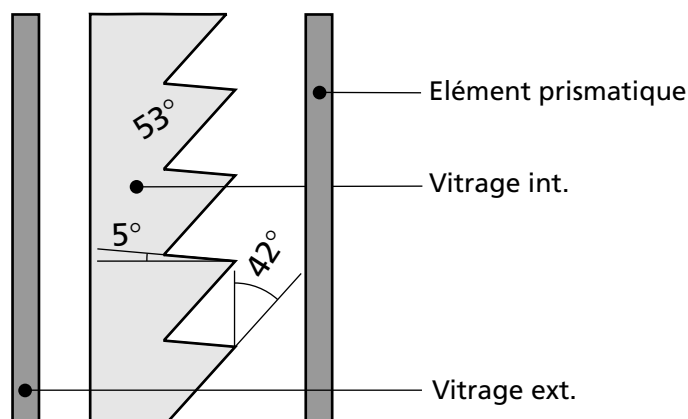
Bandeau lumineux intérieurs

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.

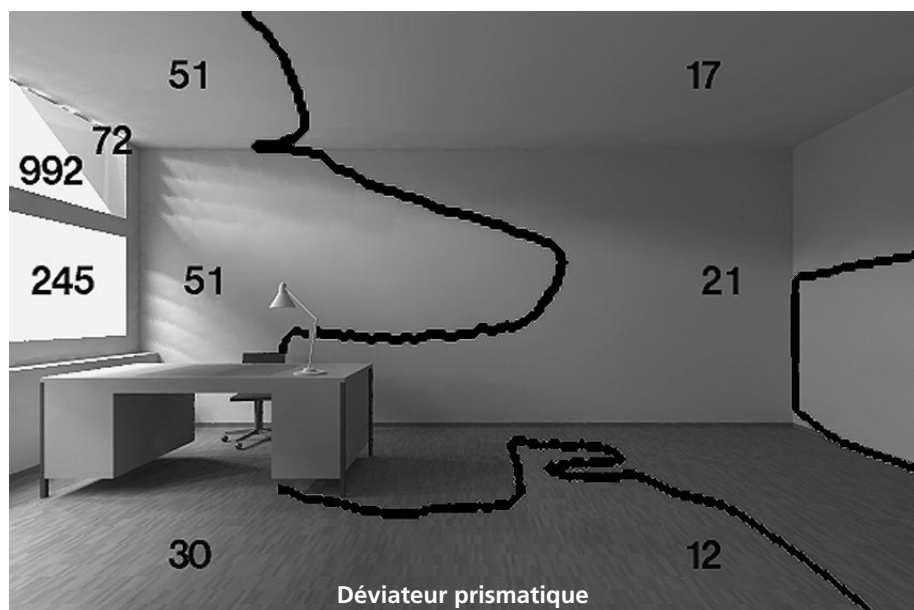
Afin de pallier à ce défaut, la théorie des systèmes optiques anidoliques (sans formation d'image) peut être appliquée pour concevoir un réflecteur dont la courbure permet de dévier l'ensemble des rayons captés au-delà de l'espace occupé par le dispositif ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾.

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



Sezione di principio di un elemento prismatico per un vetro isolante.

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

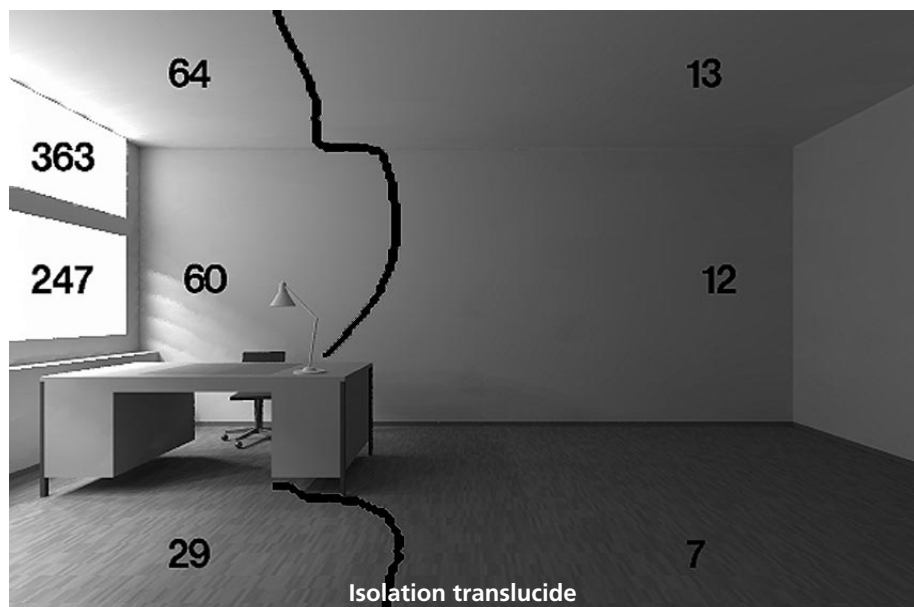


Local équipé d'un déviateur prismatique. Pour la place de travail FPI = 0%, contrastes maxima: ergorama 6.1, panorama 31.7

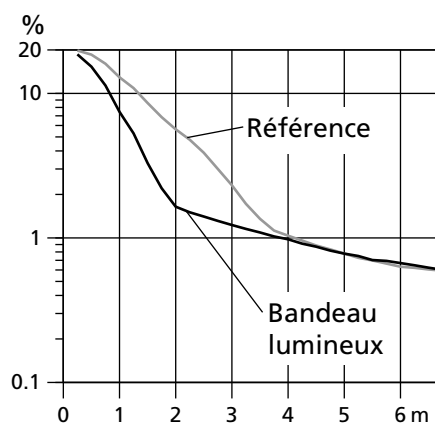
I deviatori prismatici creano una differenza elevata tra la luminanza interna e la luminanza ambientale e generano una maggior luce naturale, chiaramente percettibile all'interno del locale.

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

L'isolamento translucido del lucernario, che esplica un'azione diffusa, attenua le luminanze estreme in prossimità delle finestre senza illuminare in modo notevole l'interno del locale.



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

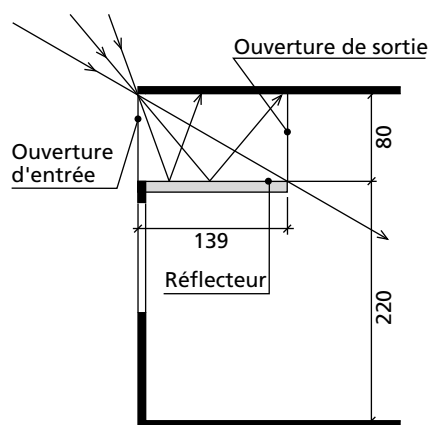
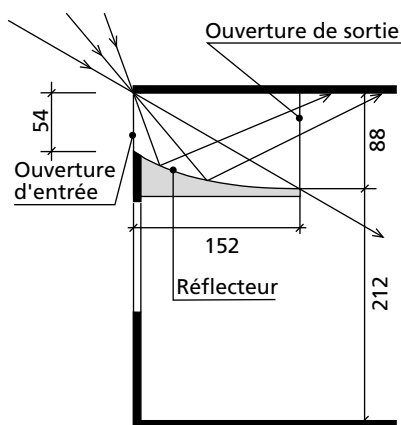
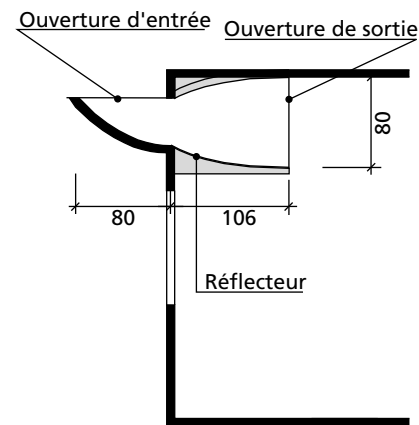


Profils du facteur de lumière du jour: Bandeau lumineux intérieurs

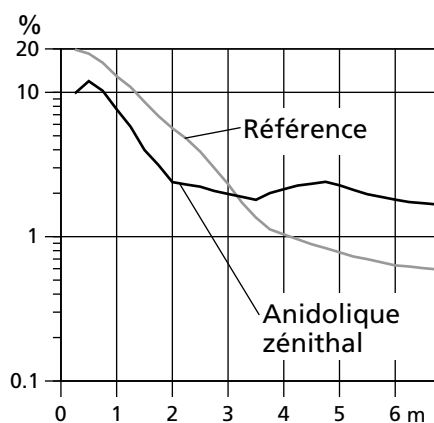
taille, le bandeau anidolique présente en fond de pièce un facteur de lumière du jour légèrement supérieur à celui d'un bandeau horizontal. L'intérêt d'un tel système est évident puisqu'il permet d'obtenir ce niveau d'éclairement tout en réduisant d'un tiers les transferts d'énergie (gains solaires et 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

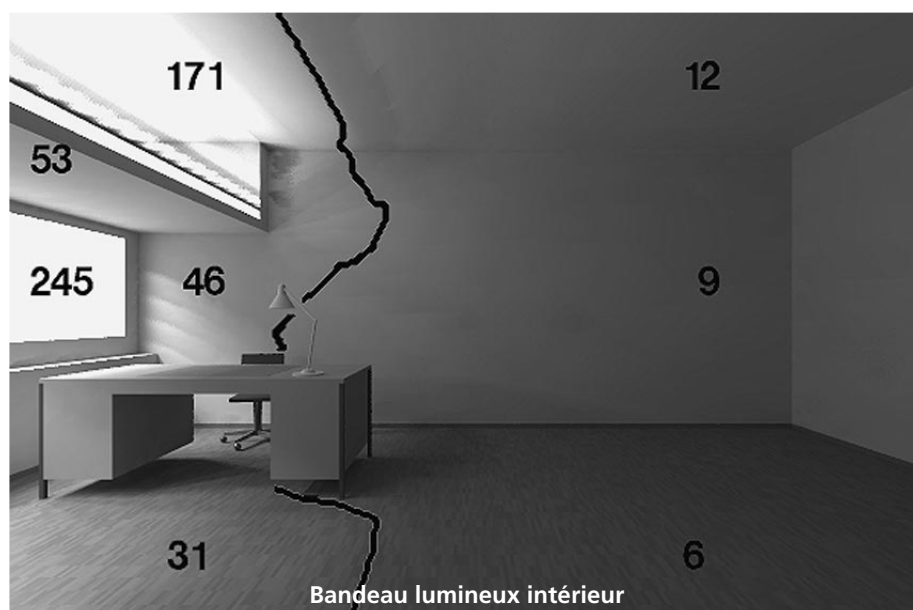
Bandeau horizontal**Bandeau anidolique****Collecteur anidolique zénithale**

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'éclairement 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.

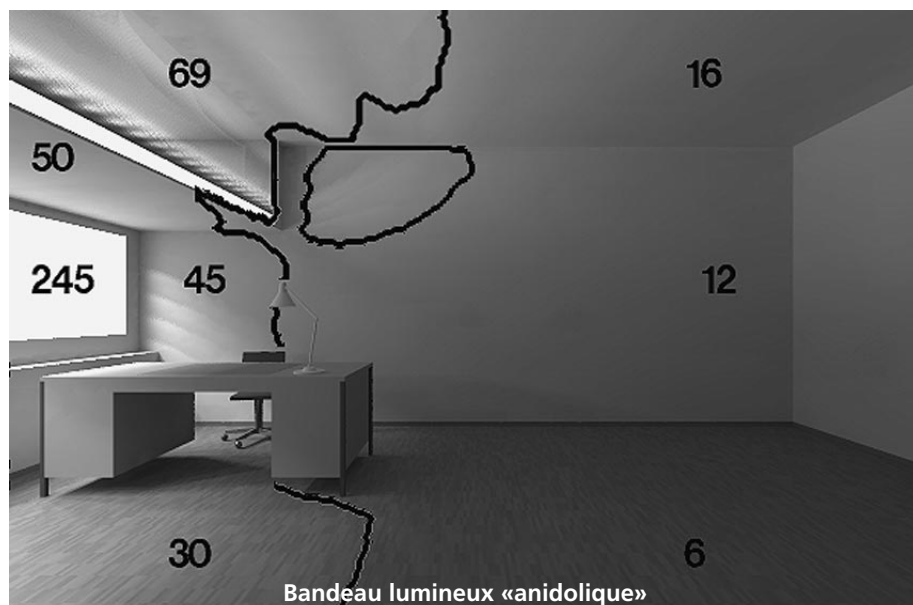


Local équipé d'un bandeau lumineux intérieur horizontal. Pour la place de travail: FPI = 0%, rapports de luminance: ergorama 6.4, panorama: 6.8

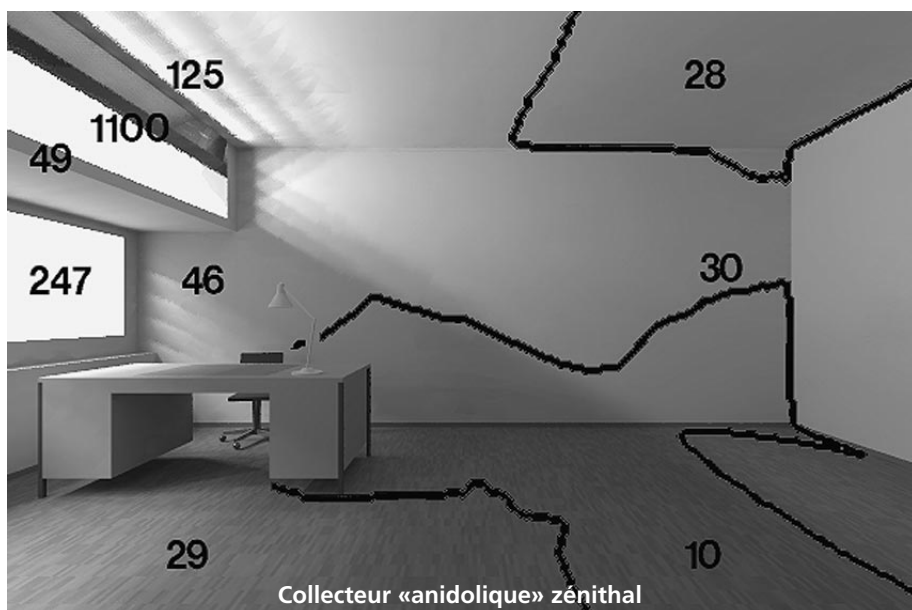
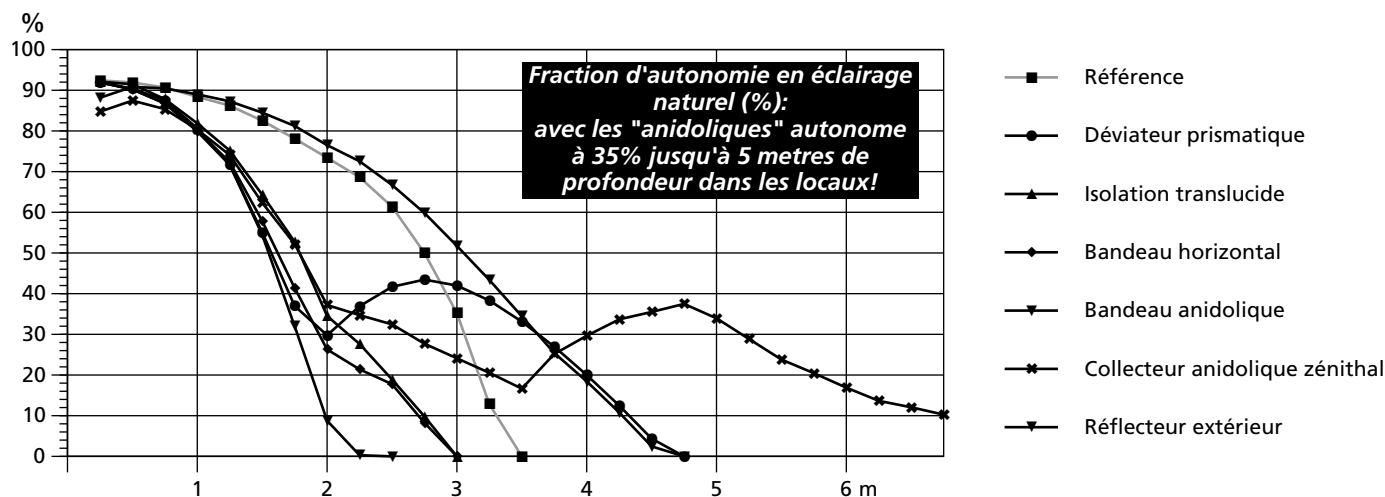
La deflexione della luce verso il soffitto mediante cornici luminose convenzionali, montate all'interno, esplica un effetto positivo sul comfort dell'illuminazione.

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

La configurazione anidolica della cornice luminosa favorisce il propagarsi della luce naturale nel locale con un comfort d'illuminazione uguale.



Bandeau lumineux «anidolique»

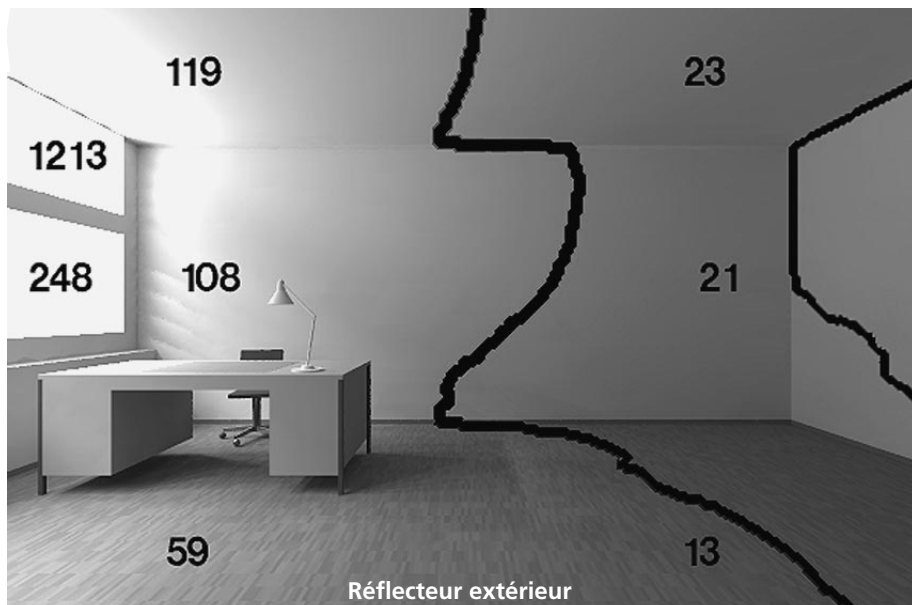


Vue du local muni du collecteur anidolique zénithal. Pour la place de travail: FPI = 0%; rapports de luminance: ergorama 4.3, panorama 5.3

Con un riflettore zenitale anidolico viene raggiunta la ripartizione più favorevole della luminanza nel locale, in uno con un'autonomia massima della luce naturale.

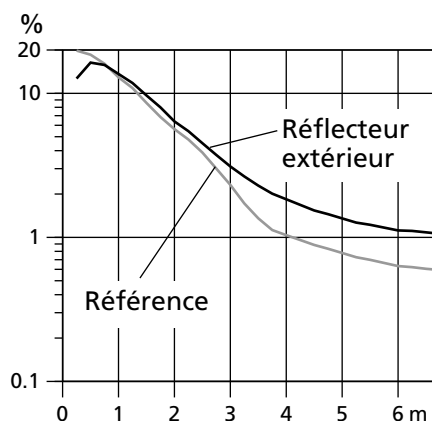
Vue du local équipé du réflecteur extérieur. Pour la place de travail: FPI = 8%, rapports de luminance: ergorama 6.2, panorama 31.6.

Un riflettore esterno montato in modo fisso migliora l'illuminazione di base del locale, ma i valori che esso permette di raggiungere sono inferiori a quelli dei riflettori anidolici.



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 systèmes 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 du jour supérieur à 2% à 5 mètres de la façade (le système anidolique, qui n'a pas été mesuré ici, atteint de 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

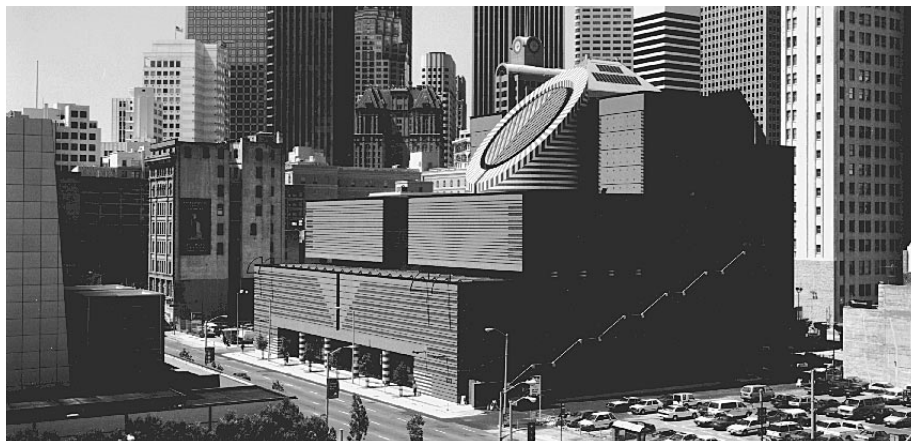
Réglage individuel d'un dispositif anti-éblouissement

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 seule 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.

L'utilizzazione intelligente della luce naturale costituisce una tendenza anche presso un'élite internazionale di architetti. Nel Museum of Modern Art di San Francisco, Mario Botta utilizza in modo coerente la luce zenitale per l'illuminazione naturale di tutte le sale d'esposizione (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 situations abstraites et concrètes; 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.

● Influsso dell'ubicazione

L'influsso dell'ubicazione di un edificio sulla possibilità di sfruttamento della luce naturale è importante: se un edificio si trova in una situazione d'inferiorità a causa di un elevato grado d'insediamento, di superfici vicine scure o che assorbono la luce, il dispositivo di apertura dovrebbe essere adeguato in modo opportuno.

● Aperture degli edifici e fattori di riduzione

Nel progetto originale gli architetti prevedono spesso suddivisioni delle finestre e spessori dei profilati che nella prassi diventano molto più massicci.

È raro che i dettagli corrispondenti dell'esecuzione vengano realizzati secondo il progetto. A causa di un accumularsi di fattori, nel caso più sfavorevole si verificano perdite di luce naturale inutilmente elevate – ad esempio se (troppi) battenti coincidono con intelaiature larghe, con tende che possono essere spostate solo con difficoltà, con vetri sporchi e, di conseguenza, con una bassa trasmissione della luce!!

● Profondità del locale e luce naturale

In nessuno degli oggetti visitati e misurati è stato raggiunto un fattore di luce diurna superiore al 2% ad una profondità dei locali superiore a 5 metri dalla facciata. È illusoria la speranza di poter aumentare le caratteristiche di utilizzazione della luce naturale in punti più profondi dei locali adottando misure tali da permettere di dirigere la luce naturale. Le misure tecniche di miglioramento della luce naturale sono invece perfettamente adeguate per aumentare l'autonomia della luce naturale stessa nelle zone situate presso le finestre durante le ore normali di lavoro in ufficio.

● Livello d'illuminazione ridotto

Un notevole potenziale di risparmio di corrente elettrica consisterebbe nel ridurre le intensità luminose raccomandate per i posti di lavoro in ufficio da 500 lux a circa 300 lux e di completarle con un'illuminazione

individuale diretta sui posti di lavoro stessi. Il guadagno corrispondente di autonomia di luce naturale sarebbe di circa il 25%, con un fattore di luce diurna del 2%.

● Protezione individuale contro l'abbagliamento

Dovrebbe sempre esistere la possibilità di regolare in modo individuale l'incidenza della luce naturale mediante una protezione contro l'abbagliamento.

● Sistemazione oculata del posto di lavoro

Anche qualora nella maggior parte delle unità di utilizzazione di un edificio esistano ancora condizioni di luce naturale generalmente favorevoli, ciò non significa che nei singoli posti di lavoro si possa operare senza essere vittime dell'abbagliamento. Sarebbe possibile conseguire dei progressi notevoli mediante un miglioramento adeguato della sistemazione del posto di lavoro. Tale sistemazione prevede che l'asse visivo principale a partire dal posto di lavoro non sia ad angolo retto rispetto alle finestre, oppure prevede una protezione contro l'abbagliamento orientata verso il posto di lavoro stesso.

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

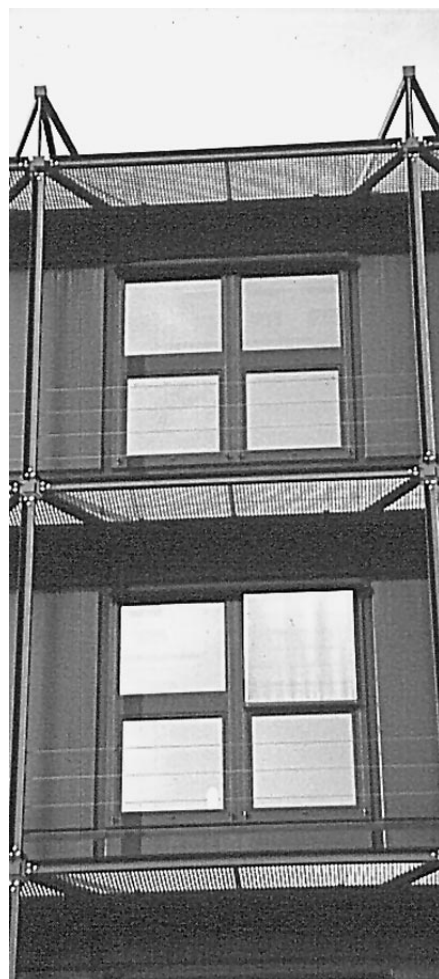
Site: Dégagé

Environs: Parc avec des arbres; toiture gazon et herbe

Façade: avec coursive en dalle de ciment

BFSH1, Università di Losanna

Ampie finestre inserite su un alto fronte di finestre – con solo poche traverse orizzontali – provvedono alla vista e ad una buona penetrazione della luce naturale. I colori scuri della facciata e del mobilio diminuiscono tuttavia la riflessione e conferiscono ai locali un'apparenza più scura.



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

Uffici della Hewlett-Packard a Meyrin

Questo ufficio amministrativo, situato nel verde, raggruppa le superfici attigue destinate agli uffici attorno ad un luminoso cortile a lucernario. Si è rinunciato ad una facciata interna. L'illuminazione proveniente da due lati conferisce agli uffici di grandi dimensioni una buona percezione dello spazio.

Bureaux de IBM à Bâle

Affectation: Commerce et administration

Architectes: Burckhardt & Partner

Réalisation: 1987–1990

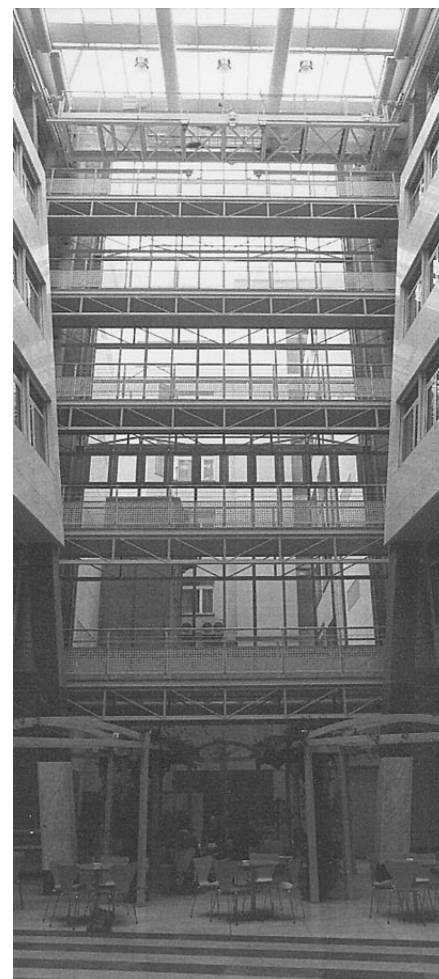
Site: Fermé

Environs: Rue; bitume

Façade: Atrium avec façade inclinée

Uffici della IBM a Basilea

In questo edificio amministrativo, situato al centro della città di Basilea, tutti gli uffici sono stati sistemati attorno ad un atrio centrale a pendenza obliqua. Gli uffici di grandi dimensioni vengono illuminati su due lati: dall'atrio coperto e dalla facciata esterna. La facciata dell'atrio interno è stata coperta con vetri normali per motivi concernenti la polizia del fuoco, nonché acustici e termici.





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

Laboratori della clinica di Münsingen

Costruzioni piatte ad un solo piano vengono illuminate su due lati mediante lucernari convessi e finestre laterali ben proporzionate. L'ambiente a luce naturale, ben realizzato, viene migliorato grazie ad una scelta felice del colore e del materiale.

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

Polizia cantonale a Frauenfeld

L'edificio della polizia cantonale crea, con i mezzi classici utilizzati da un architetto, una luce naturale confortevole: i mezzi più importanti per raggiungere tale scopo sono la disposizione oculata del volume, i locali alti senza doppi soffitti, nonché un impiego moderato di lucernari per le zone di transito o i laboratori.



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

Istituto di patologia dell'Uni di Berna

I locali dei laboratori vengono illuminati lateralmente da finestre normali. Nella «microfinitura» architettonica è stata migliorata la qualità della luce naturale: ad es. con finestre alte, sezioni oblique dei soffitti, modanature chiare delle finestre o materiali fotometricamente idonei.

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

Asilo infantile a Tannay

In questo asilo infantile l'architetto ha tentato di fare penetrare nelle aule la luce naturale da tre punti dello zenit attraverso pozzi di luce, illuminando lateralmente la quarta facciata.



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

Uffici della stazione di Lucerna

Lamelle mobili e ben disposte su una facciata orientata a sud sottolineano la funzionalità di questa costruzione. Anche nella posizione che serve a fare ombra è possibile il contatto visivo con l'esterno. Il comfort visivo viene garantito da una tenda contro l'abbagliamento.

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

Garage «Alpcar» a Coira

Lamelle rigide e sporgenti proteggono questo edificio multiuso dall'intensa irradiazione del sole. Grazie ad una percentuale elevata di vetri per m² di superficie dei piani e grazie a vernici e rivestimenti chiari, viene raggiunta l'autonomia della luce naturale anche in un locale d'esposizione situato in profondità.





Immeuble de Conférence UBS Zurich

Affectation: Commerce et administration

Architecte: Théo Hotz

Réalisation: 1989–1991

Site: Fermé

Environs: Cour; pavé

Façade: Bâtiment totalement vitré

Edificio per conferenze UBS di Zurigo

In un cortile stretto si è dovuto costruire posteriormente, vicino alle facciate esistenti, un edificio per conferenze: la trasparenza costituiva uno degli obiettivi principali. È così sorta un'opera quasi di «vetro» che – anche grazie all'autonomia della luce naturale – è efficiente sotto l'aspetto energetico, funzionale e rappresentativa.

Banque cantonale à Soleure

Affectation: Commerce et administration

Architecte: Hans R. Bader

Réalisation: 1985–1990

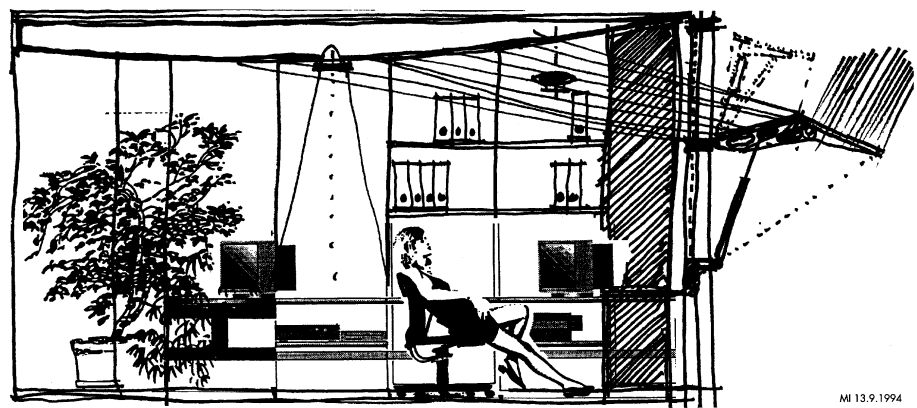
Site: Dégagé/fermé

Environs: Place urbaine; bitume

Façade: inclinée à 45°

Banca cantonale di Soletta

La sezione piramidale dell'edificio permette di fare osservazioni interessanti per quanto concerne la guida della luce naturale: in una situazione urbana viene diminuito lo svantaggio dovuto al grado d'insediamento elevato. Gli uffici possono essere illuminati a giorno mediante lucernari laterali e obliqui, essendo possibile creare un accesso ottimale alla luce zenitale particolarmente intensa.



«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» al LESO, SPF di Losanna

In questo prototipo di ufficio, in un impianto pilota possono essere sperimentati i vantaggi di una sinergia triplice di ombra, di guida della luce naturale e di produzione di corrente elettrica fotovoltaica.

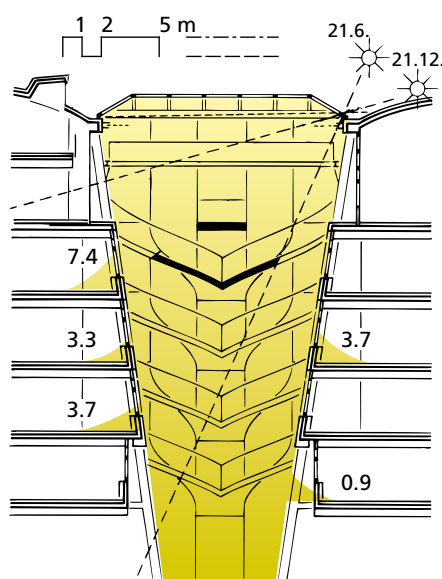
Grazie a lamelle mobili di PV orientate a seconda della posizione del sole è possibile illuminare senza creare calore.

MI 13.9.1994

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%

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.

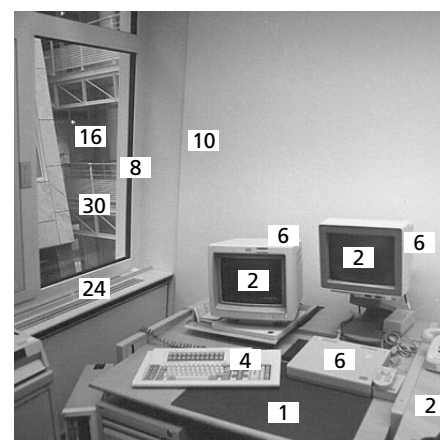
Spatialité

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

Confort visuel et luminances

Poste de travail – position assise:

Ergorama mesuré:	1/10
Panorama mesuré:	1/55



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



Vista dell'atrio coperto con vetri chiari presso la Hewlett-Packard (architetto Jean-Jacques Oberson, Ginevra).

● Vista ed impressione suscitata dall'ambiente: buone

Negli uffici della Hewlett Packard (HP) è garantita la vista da ogni lato fino alle facciate esterne. Grazie a questa trasparenza viene parimenti rinforzata la grande attrattiva dello spazio dell'atrio. Un ambiente chiaro ed invitante adempie a questo scopo. Le proporzioni dell'atrio favoriscono l'irradiazione solare che viene regolata da tendaggi interni a comando automatico. Negli uffici della IBM le aperture strette ed a forma di feritoia che si abbassano fino al piano di lavoro ed in singoli casi giungono fino al pavimento, migliorano il rapporto con l'esterno. La profondità dei locali superiore a 13 metri facilita la possibilità di un arredamento generoso che conferisce una certa fisiologia agli uffici, ma va a scapito di una buona utilizzazione della luce naturale.

● Utilizzazione limitata della luce naturale

Nel vuoto dell'atrio della HP il fattore di luce diurna varia dal 19 al 22% ai piani superiori e diminuisce fino al 12-14% al pianterreno. Ai lati dell'atrio è inferiore al 6-8%. Un rivestimento di tappeti con un livello di riflessione troppo basso (7%) assorbe una quantità notevole di luce naturale. Negli uffici della IBM il fattore di luce diurna è al massimo del 5%, ma su 6/7 dello spazio è minore del 2%. Elevate perdite di luce dovute ai vetri ed alle intelaiature larghe, un basso grado di riflessione dei soffitti (61%) e locali profondi costituiscono i motivi principali dell'esigua autonomia della luce naturale della IBM.

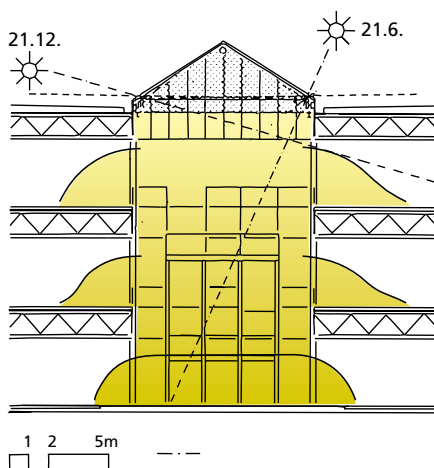
● Buon comfort visivo

Negli uffici della Hewlett Packard predominano basse temperature del colore grazie a parti di metallo verniciate di bianco. Nell'ufficio della IBM sono presenti luminanze omogenee. Esse rendono gradevole la vista dal posto di lavoro per quanto concerne i contrasti e promuovono un'utilizzazione parsimoniosa dell'illuminazione. In ambedue gli edifici, gli atri favoriscono il senso d'orientamento degli utenti ed accentuano il sentimento della variazione di luminosità dell'ambiente all'esterno dell'edificio.

Références:

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

Meyrin: Bureaux Hewlett Packard (HP)



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.

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.

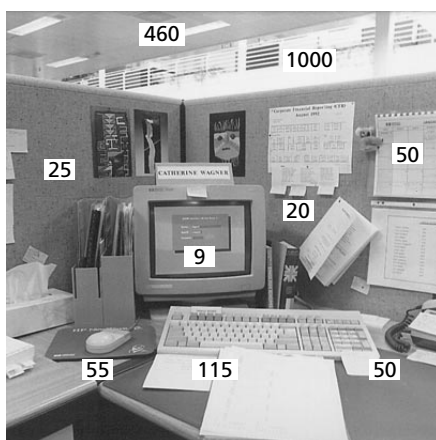
Facteur de lumière du jour

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. Il 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



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.

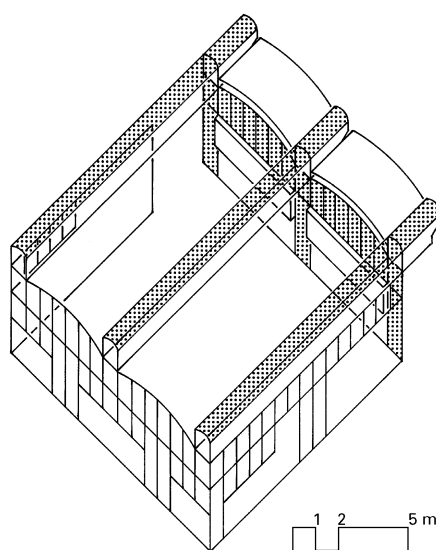
Ateliers avec ouverture zénithale

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 grave 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.

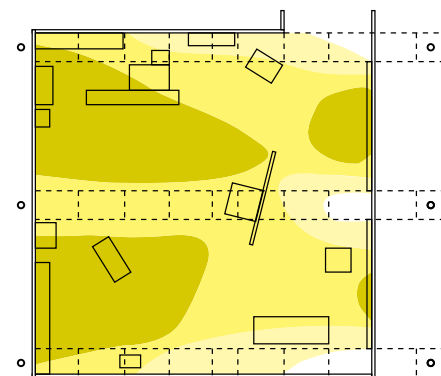
Spatialité

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 lanterneaux:	2.2%
FLJ à 3 m sous lanterneaux:	3.5%

Confort visuel et luminances

Poste de travail situé près de la façade - position debout

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

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%

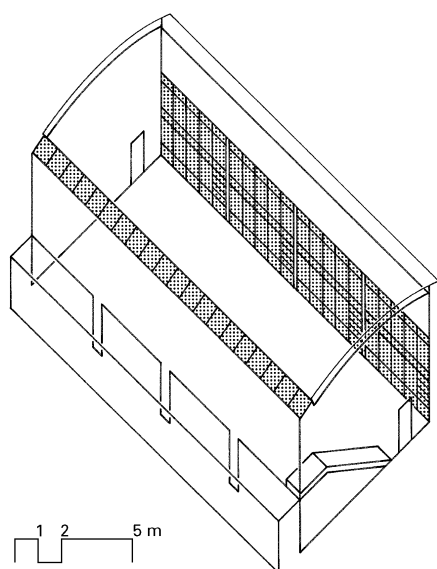
* Temps d'éclairage par la lumière du jour seule de 07.00 - 17.00 heures (en %/p.a.)

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

Situazione tipica di controllo luce dovuta ad una sistemazione infelice dei posti di lavoro.



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%

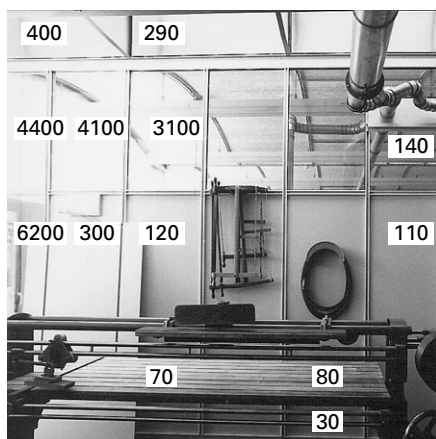
Confort visuel et luminances

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.

● Vista ed impressione suscitata dall'ambiente: buone

A Münsingen le aperture verticali situate nei prolungamenti dei lucernari garantiscono un buon rapporto con l'ambiente esterno e, insieme con il tetto a botte, strutturano e suddividono lo spazio. Nelle officine di Frauenfeld il rapporto con l'esterno è eccellente grazie alle porte vetrate alte 4.20 m. L'apertura zenitale permette alla parete in fondo al locale di essere molto chiara; il locale appare così di dimensioni ancora maggiori.

● Utilizzazione ottimale della luce naturale

A Münsingen il fattore di luce diurna è al massimo del 6%, ma per 2/5 dello spazio è tuttavia inferiore al 2%. Una protezione contro il sole inserita successivamente (istallata in modo fisso sopra i lucernari longitudinali) ha contribuito a peggiorare i valori che originalmente erano migliori. La ripartizione della luce nello spazio è favorita dal materiale ad alta dispersione del lucernario e dal riflettore integrato nella struttura portante. Grazie all'illuminazione naturale doppia, a Frauenfeld il fattore di luce diurna è al massimo del 24% e in nessun luogo è inferiore al 2%! Lo spazio orientato verso sud-est viene riscaldato in modo notevole a causa delle alte porte di vetro, giacché non esiste alcuna protezione contro il sole.

● Comfort visivo in parte insufficiente

A Münsingen la ripartizione delle luminanze al posto di lavoro (ergorama) è omogenea; essa è invece più eterogenea per lo spazio globale (panorama). La temperatura del colore è minore grazie al rivestimento del pavimento di color rosso.

Références:

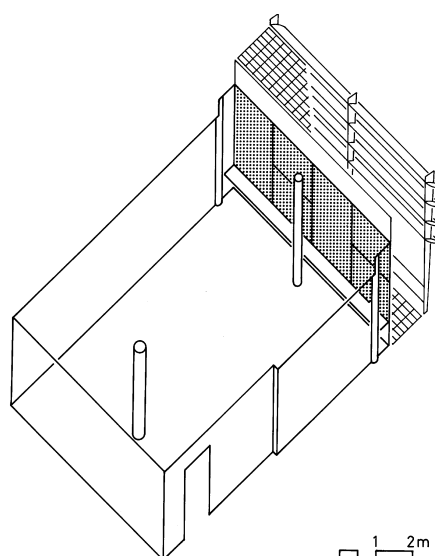
1) Une analyse plus complète est publiée dans la Documentation Suisse du bâtiment. Fiche M1 parue en novembre 1994.

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 opposés 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 où 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



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.

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.

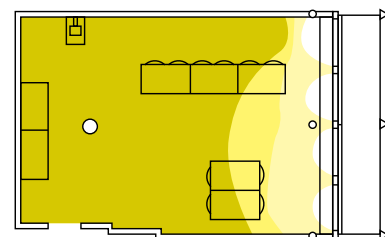
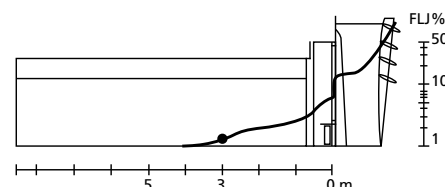
Facteur de lumière du jour

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



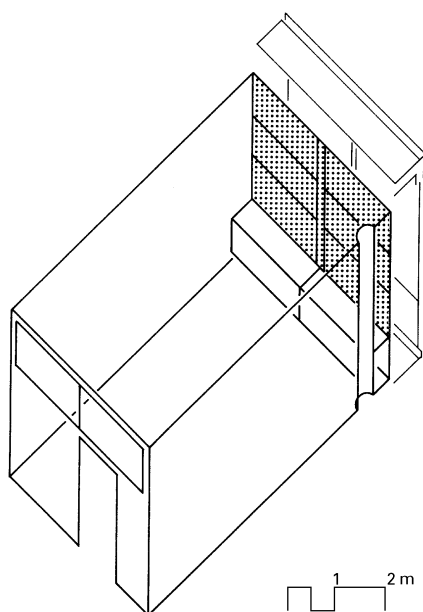
Si la vision ergorama ne prend pas en compte une portion de la fenêtre, les contrastes sont bons. Au contraire, en vision panorama les contrastes sont trop élevés à cause de la proximité de l'ouverture. Par contre, les stores intérieurs à lames verticales permettent de bien moduler la lumière, surtout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

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.

Contrasti elevati nel campo visivo sono inevitabili – non da ultimo a causa dei telai delle finestre di color rosso scuro.



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.

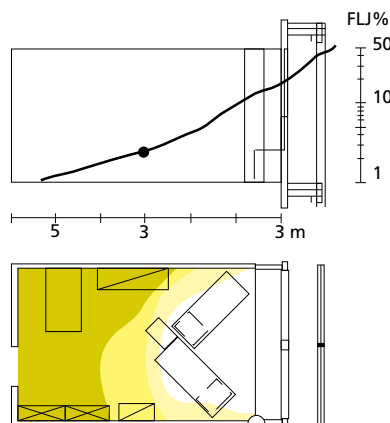
Spatialité

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 près de la fenêtre – position assise

Ergorama mesuré:	1/30
Panorama mesuré:	1/32

● Vista ed impressione suscitata dall'ambiente: buone

Negli uffici dell'Università di Losanna BFSH1 il finestrato che si estende su tutta la larghezza dei locali contribuisce ad allargare l'ambiente in modo generoso e la vista è buona grazie ad un davanzale che risulta basso sia in posizione seduta, sia in posizione eretta. La struttura inclinata (cassonetto) dell'avvolgibile per il sole montato nella corsia diminuisce l'apporto di luce dal 20 al 45% circa! A Lucerna le lamelle mobili della protezione contro il sole garantiscono, quando sono aperte, un buon rapporto con l'esterno e, ciò nonostante, una protezione efficace contro il sole durante i mesi estivi.

● Utilizzazione modesta della luce naturale

Il fattore di luce diurna nel BFSH1 è al massimo del 12%, tuttavia per i 2/5 dello spazio è inferiore al 2% e diminuisce – ad 1 metro dalla finestra – dal 9% al 3% con gli avvolgibili abbassati e le lamelle in posizione orizzontale. A Lucerna il fattore di luce diurna è al massimo del 6%, ma per 7/10 dello spazio è inferiore al 2%. Il soffitto abbassato, la struttura sporgente delle lamelle – anche se regolabili – nonché un basso grado di riflessione del pavimento (12%) costituiscono un ostacolo all'utilizzazione della luce naturale.

● Comfort visivo medio

Nel BFSH1 in vicinanza delle finestre – dove ovviamente si vorrebbe sistemare il proprio schermo – il comfort visivo è limitato da elevati contrasti di luminanza. A Lucerna i contrasti della luminanza al posto di lavoro sono ripartiti in modo uniforme in tutto il locale. Va rilevato l'influsso positivo delle lamelle che presentano un'alta capacità di dispersione della luce.

Références:

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

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%

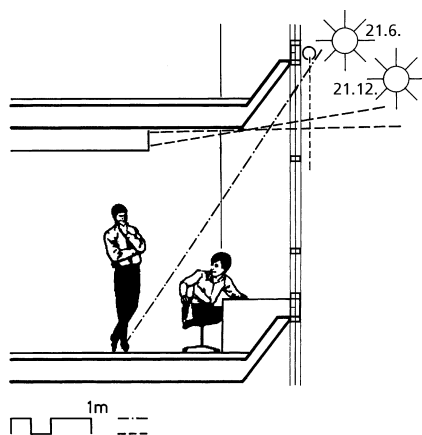
* Temps d'éclairage par la lumière du jour seule de 07.00-17.00 heures (en %/p.a.)

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 que 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 pas 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.

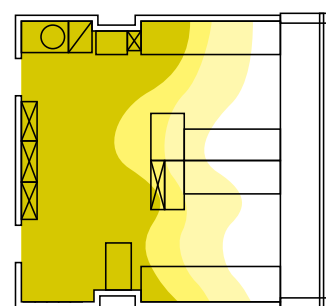
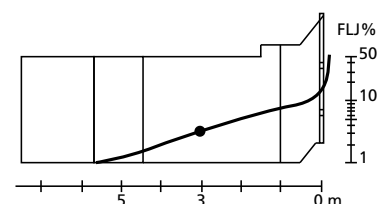
FLJ à 3 m: 3.8%

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%



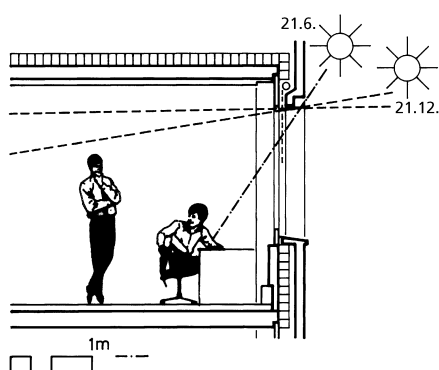
Les luminances sont très homogènes pour le poste de travail, placé perpendiculairement aux fenêtres. L'environnement visuel est ainsi bien adapté.

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

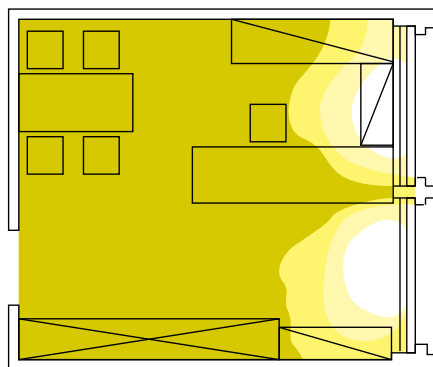
Le FLJ est au maximum de 12%; il est inférieur à 2% pour 7/10 du local. Le rideau intérieur, conçu en quatre panneaux qui se tirent deux par deux devant la fenêtre, ne peut jamais totalement être enlevé; cela contribue fortement à un abaissement de la quantité de lumière. Le coefficient τ du panneau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

● Vista ed impressione suscitata dall'ambiente: buone

Nei laboratori dell'istituto patologico dell'Università di Berna le finestre giungono fino all'altezza del posto di lavoro. Esse permettono un buon contatto con l'esterno. A Frauenfeld le tende interne esplicano un effetto fastidioso. Gli avvolgibili tessili, orientabili, permettono al contrario ancora un certo contatto con l'esterno, verso il basso, anche quando splende il sole.

● Utilizzazione intelligente della luce naturale

Grazie al dislivello del soffitto immediatamente dietro alla finestra ed ai valori di riflessione relativamente elevati (pavimento 30%; pareti 84%; soffitto 81%) Berna offre buoni valori di luce naturale: il fattore di luce diurna è del 10% al massimo, ma a metà del locale è inferiore al 2%. A Frauenfeld l'altezza delle finestre – parallelamente a quella dei piani – è stata aumentata dall'alto verso il basso. È così possibile compensare in modo intelligente gli influssi sfavorevoli dell'ambiente circostante (superfici oscure, alberi, siepi o case vicine).

A Frauenfeld il fattore di luce diurna è al massimo del 12%, ma è inferiore al 2% per 7/10 dello spazio. Un soffitto acustico, concepito in modo da essere troppo efficace, oltre al rumore assorbe molta luce (fattore di riflessione: 60%).

● Comfort visivo medio

A Berna le luminanze misurate sono ripartite in modo uniforme. Le temperature del colore sono elevate, quindi fredde. Ciò spinge gli utenti a ricorrere all'illuminazione, poiché in questo modo viene generata una luminosità dell'ambiente più calda. Un paragone della luminanza a Frauenfeld indica valori sfavorevoli: mobili e sottomano dal colore scuro esplicano qui sia l'effetto di assorbire la luce, sia quello di aumentare i contrasti. La luminosità dell'ambiente può invece essere adattata in modo individuale.

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.

Domaines d'interventions

L'analyse des bâtiments 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 champ visuel. 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.

Bernard Paule

Architecte

CUEPE, Université de Genève

Conches-Genève

	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	Bureaux HP Meyrin	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.

Con immagini di sintesi è possibile simulare le modificazioni della fotometria o dell'apertura.

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 pas de surcoût au niveau de la construction. Par ailleurs, les améliorations peuvent être incluses dans des opérations de rafraîchissement 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

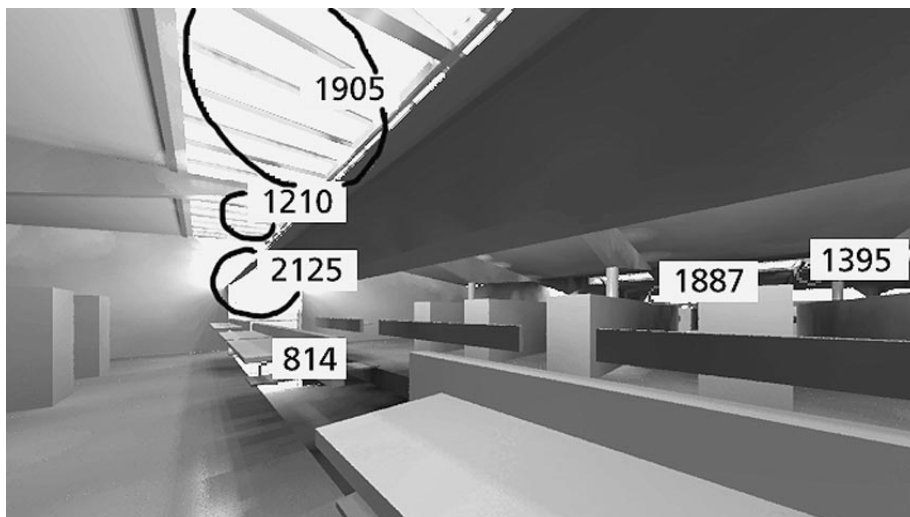
- Impact de la mobilité des lames extérieures assurant la protection solaire.
- Remplacement des lames en aluminium (opaques) par des lames translucides.
- Augmentation du facteur de réflexion du sol.

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'éclairement 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 du 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

● Un'analisi dei casi pratici esaminati nel quadro di LUMEN e di RAVEL indica le più diverse possibilità d'intervento. Esse possono essere riassunte in tre settori tipici d'influsso: adeguamento dei dispositivi di protezione contro il sole, rispettivamente delle facciate di climatizzazione e di servizio, miglioramento delle aperture ed ottimizzazione delle caratteristiche fotometriche nello spazio interno.

● In 3/4 degli edifici esaminati (9 esempi su 12) i fattori di riflessione oppure la geometria della modanatura dei soffitti, rispettivamente delle finestre possono essere migliorati. E' interessante notare che in questo caso resta improduttivo un enorme potenziale di risparmio, poiché le caratteristiche fotometriche di un locale possono ancora essere migliorate anche trattandosi di risanamenti.

● In quasi la metà dei casi (5 esempi su 12) le aperture necessitano di un miglioramento, sia che venga aumentato il coefficiente di trasmissione dei vetri ed aumentata parimenti l'apertura delle finestre, sia che debba essere diminuita la percentuale occupata dall'intelaiatura. Allo stadio di progetto queste «misure di ristrutturazione» sono generalmente gratuite oppure realizzabili a basso costo.

● In un quarto dei casi esaminati (3 esempi su 12) una penetrazione ottimale della luce naturale viene ostacolata dalle strutture che si trovano davanti alla finestra. Una protezione contro il sole sistemata in modo infelice, una facciata di climatizzazione e di servizio che assorbe la luce oppure la mancanza di sistemi di deflessione della luce naturale costituiscono punti di riferimento per migliorie possibili.

● In seguito, mediante simulazioni numeriche, vengono calcolate misure di miglioramento tipiche e, di conseguenza, viene determinato il potenziale di risparmio.

● I risultati hanno soprattutto un valore didattico e non devono in alcun caso essere considerati come una critica delle qualità estetiche del progetto architettonico realizzato. Essi indicano tuttavia un potenziale di risparmio notevole che può essere attivato senza perdita di comfort.

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 propres 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

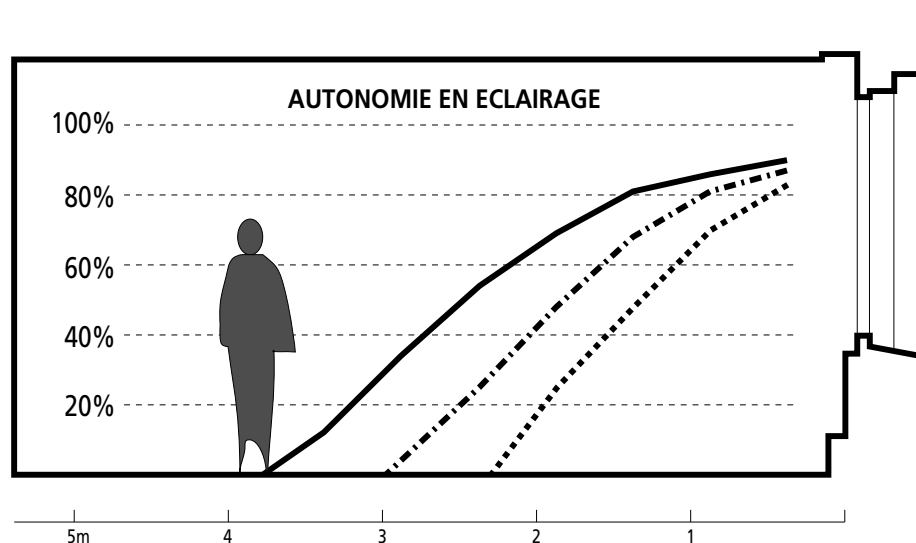
Les vitrages propres et transparents ont une influence négligeable sur le pourcentage d'insatisfaits (38% contre 39% dans le cas initial). Cette modification induit

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

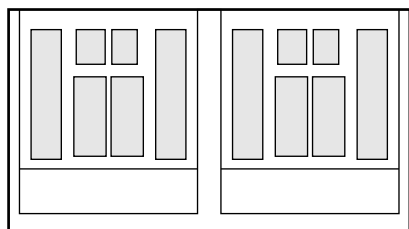
- Dans bien des circonstances, la réduction des menuiseries (rationalisation des ouvrants) va de pair avec une réduction des coûts, comme c'est le cas ici.
- Le nettoyage régulier des vitrages permet d'augmenter considérablement les niveaux d'éclairement.
- Les menuiseries doivent être de couleur claire,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



Mediante un numero d'intelaiature minori e più strette, la percentuale dell'apertura è stata aumentata del 6%. Grazie ai vetri trasparenti e puliti, nonché alle tende aperte, l'autonomia della luce naturale in condizioni identiche di luminanza può essere aumentata accessoriamente fino a metà del locale. Intelaiature più fini e vetri trasparenti sono componenti di una via meno costosa e più efficace per diminuire in modo diretto ed effettivo il dispendio energetico dovuto all'illuminazione.

Bernard Paule
Architecte

CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève

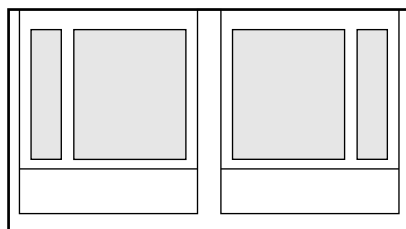


.....

Etat initial

Indice d'ouverture corrigé : 16,5%

τ vitrage : 0.65

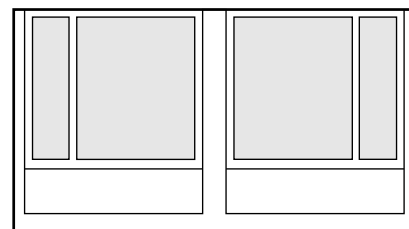


.....

Modification 1

Indice d'ouverture corrigé : 20.6%

τ vitrage : 0.65

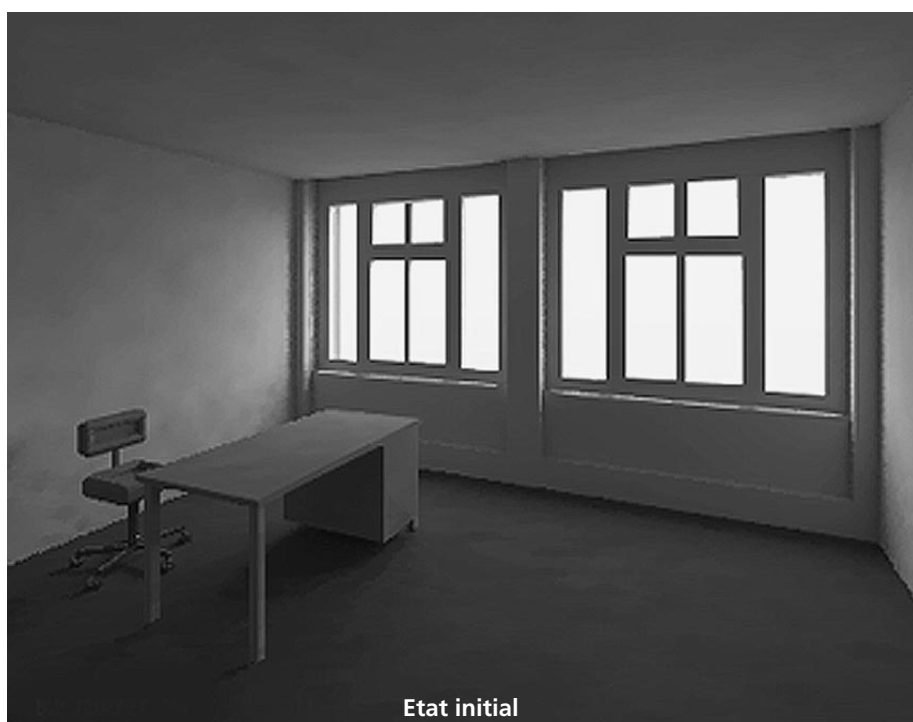


—————

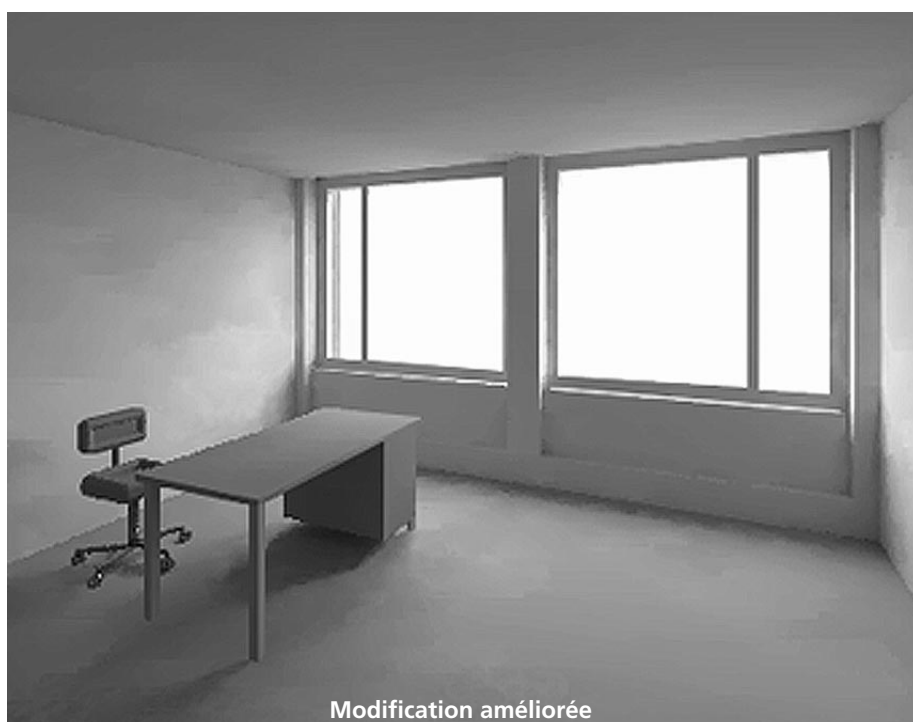
Modification 2

Indice d'ouverture corrigé : 24.1%

τ vitrage : 0.80



Etat initial



Modification améliorée

● Scegliere profilati sottili!

È quasi incredibile, ma dimostrato dalla simulazione: con profili più sottili delle finestre, una percentuale minore di traverse ed un pavimento un po' più chiaro il fattore di luce diurna nel mezzo del locale (da 2 a 4 m dalla finestra) può essere aumentato di oltre la metà (55%).

● Oltre il 50% di autonomia di luce naturale

Un aumento dell'autonomia della luce naturale nella metà posteriore e più oscura del locale elimina la tendenza ad accendere la luce artificiale non appena si accede allo stesso (impressione che il locale sia più scuro). Ciò avviene effettivamente grazie alla percentuale ridotta d'intelaiature, poiché l'autonomia «critica» della luce naturale (oltre al 50% del tempo trascorso in ufficio senza luce artificiale) viene spostata fino alla metà del locale.

● Trasparenza, vetri, tende, ecc.

Non tutti i committenti vogliono o possono permettersi vetri delle finestre perfettamente trasparenti, di eliminare i tendaggi interni oppure di fare eseguire una pulizia periodica delle finestre. Qualora esista un cumulo di questi fattori, essi hanno tuttavia un influsso notevole sulla penetrazione della luce naturale.

● Disposizione razionale delle aperture

In molti casi una disposizione razionale delle aperture – soprattutto rinunciando a battenti inutili e ad intelaiature larghe – va di pari passo con un tipo di costruzione meno costoso. Il motto è: «maggiore quantità di luce con costi di costruzione minori»!

● Protezione contro l'abbagliamento

Una penetrazione più elevata di luce naturale attraverso finestre laterali aumenta tendenzialmente la predisposizione all'abbagliamento (ca 3%). Ciò rammenta che una protezione contro l'abbagliamento orientata verso il posto di lavoro dovrebbe far parte dell'arredamento standardizzato di ogni posto di lavoro munito di uno schermo.

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.

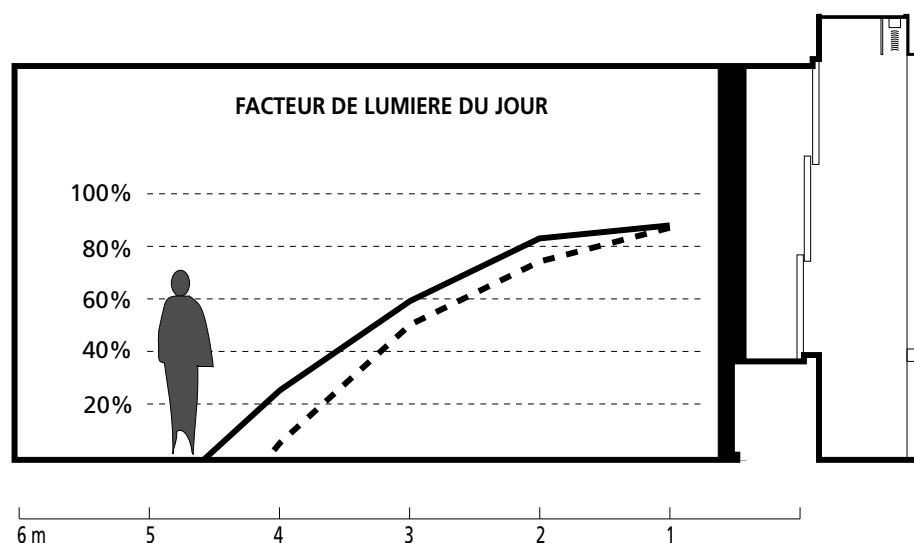
Confort visuel amélioré

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.

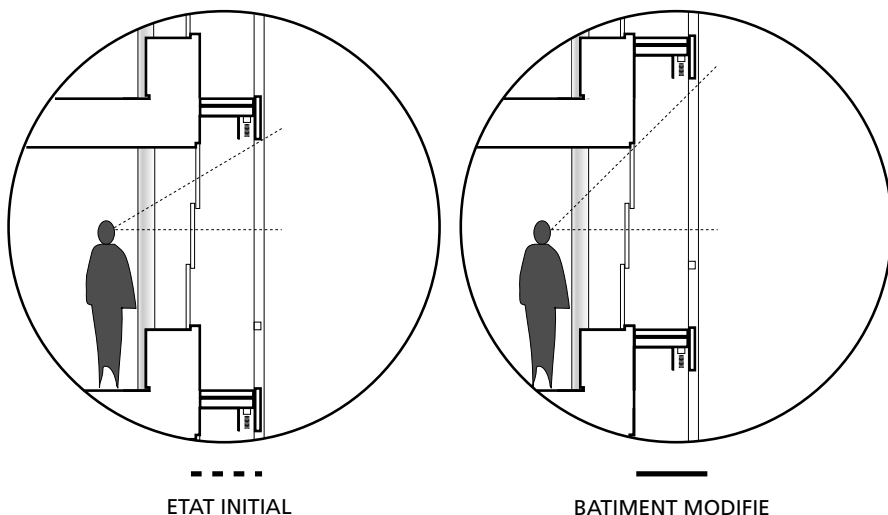
● Le fait de dégager la partie haute des vitrages est primordial pour l'éclairage des zones les plus éloignées de la façade. Les gains entraînés par la réflexion de la lumière sur un élément extérieur (ici la coursive) restent modestes.



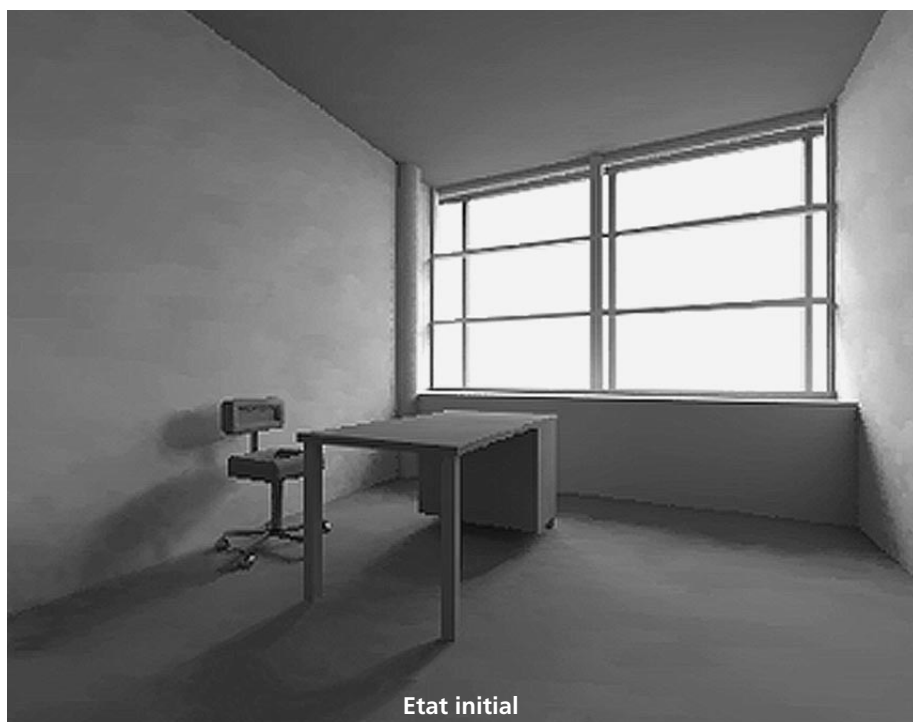
Mediante una sistemazione della scala esterna di emergenza all'altezza del parapetto è possibile aumentare l'utilizzazione della luce naturale in limiti compresi tra il 28 ed il 50%, a seconda della profondità del locale. Questa misura è importante a causa del fatto che grazie all'effetto riflettente della struttura rialzata della scala esterna di emergenza può venire compensato parzialmente il suo disaccoppiamento dalla percentuale di luce zenitale.

Bernard Paule
Architecte

CUEPE, Université de Genève
Conches-Genève



La proposta di miglioramento concerne una situazione mutata della scala esterna di emergenza all'altezza del parapetto. In tale modo può penetrare senza ostacoli una luce zenitale intensa. Si è inoltre fatto affidamento sull'influsso di un rivestimento del pavimento un po' più chiaro.



● Illuminazione zenitale limitata

Le facciate di climatizzazione e di servizio con scale esterne di emergenza vengono eseguite su scala mondiale negli edifici utilizzati per istituti, uffici, ospedali, laboratori o scuole. Di regola le scale esterne di emergenza sono praticamente a livello del pavimento e quelle situate al piano immediatamente superiore sono all'altezza del piano superiore. A causa della struttura stessa delle scale d'emergenza, struttura che genera ombra, la penetrazione della luce viene limitata anche nel caso di un tipo di costruzione trasparente (ad es. a griglia).

● Badare al grado d'insediamento

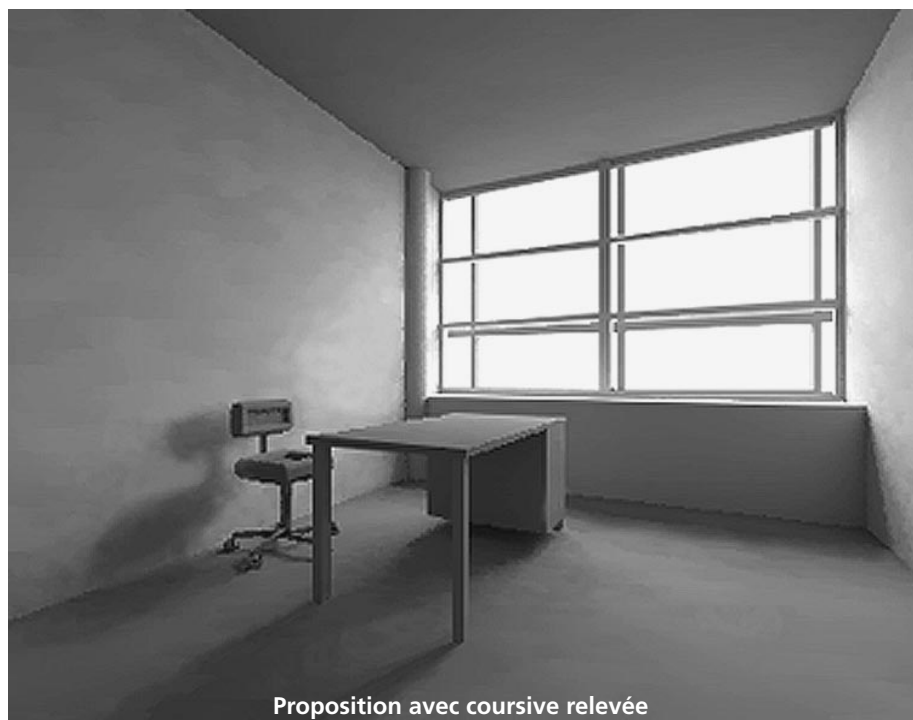
Se un edificio si trova in un punto con un grado d'insediamento elevato (angolo d'ostruzione a partire da 30°), le scale esterne d'emergenza esplicano un effetto ancora più sfavorevole per quanto concerne la luce naturale.

● Guadagno di luce naturale fino al 50%

Nella zona da 1 a 4 m di profondità del locale a partire dalla finestra, il fattore medio di luce diurna può essere aumentato del 28% grazie alle misure proposte. Il valore di punta si riscontra nei punti in cui v'è la maggior parte dei posti di lavoro: 50% in più di luce naturale a 2 metri di profondità del locale!

● Migliore autonomia della luce naturale

L'autonomia della luce naturale aumenta dal 10 fino al 20% a seconda dei punti del locale, senza che il comfort visivo venga modificato in modo notevole.



Apport de lames externes translucides

Dans cette simulation on montre les gains obtenables en remplaçant des lames en aluminium par des lames translucides ou opalescentes 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

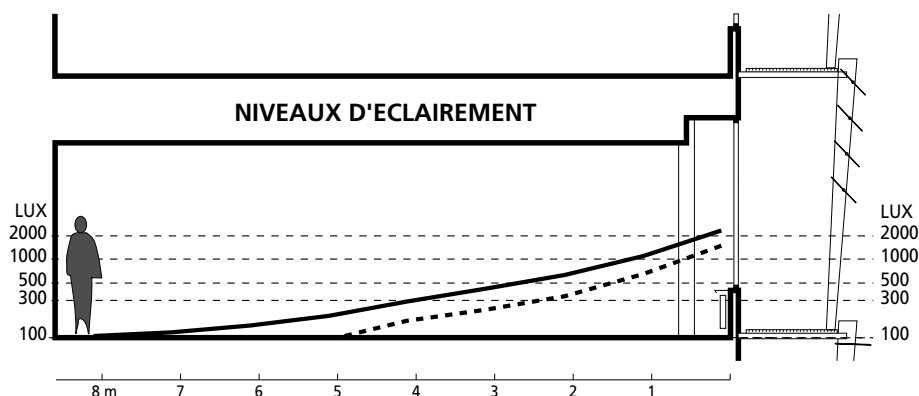
La comparaison des performances montre que par temps ensoleillé en hiver (21 février à midi) les lames translucides permettent de doubler la quantité de lumière disponible. Concrètement, la courbe des niveaux d'éclairage est décalée d'environ 1.50 m vers l'intérieur. Ceci permet d'éviter d'enclencher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

Confort visuel

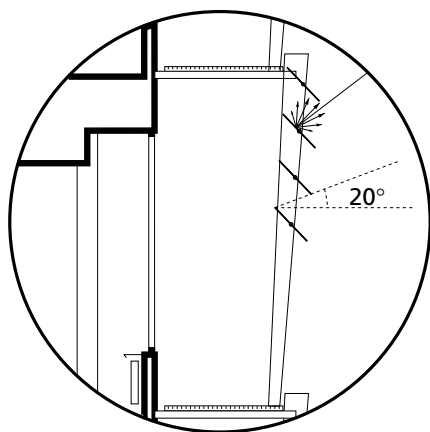
La fraction prévisible d'insatisfaits est identique dans les deux cas (environ 47%). La lumière diffusée par les lames translucides profite à toutes les parois. L'uniformité des luminances dans le champ visuel est donc améliorée. De plus les lames translucides réduisent l'effet de «barreau» induit par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

Observations importantes

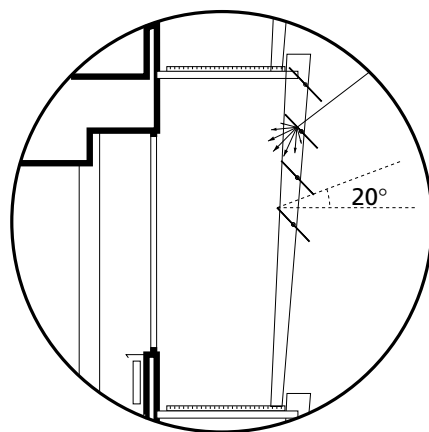
- Il est impératif que le facteur de transmission énergétique des lames constituant la protection solaire, soit inférieur à 15%, de façon à se prémunir contre les surchauffes estivales.
- Les lames de largeur importante doivent absolument être mobiles, afin d'éviter de pénaliser les apports de lumière 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).

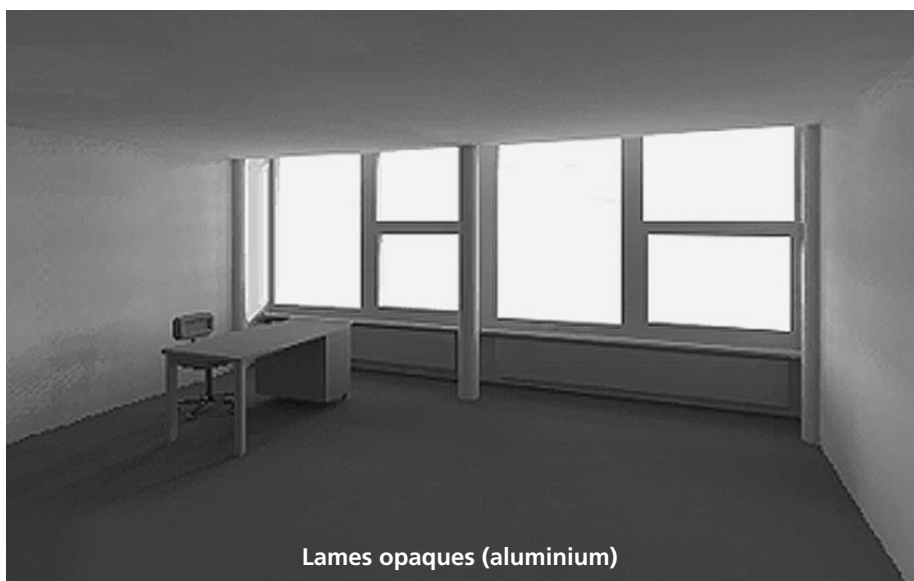


.....
Lames
opaques



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

Nella simulazione, grandi lamelle di alluminio non perforato sono state sostituite con lamelle di vetro opaco



Lames opaques (aluminium)

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

● Lamelle opache invece di grandi lamelle di alluminio

Le lamelle di grandi dimensioni costituiscono un'efficace protezione contro il sole, ma limitano la penetrazione della luce naturale. Ciò esplica un effetto soprattutto a cielo coperto (in Svizzera, praticamente in tutte le regioni, per oltre la metà dell'anno) e con le luminanze del cielo comunque basse del semestre invernale, ha un effetto disastroso sulla penetrazione della luce naturale nei locali posteriori. La possibilità di regolazione mediante motore può bensì permettere di modificare in modo graduale l'ombra creata dalle lamelle di grandi dimensioni, ma non rende per principio il materiale più trasparente.

È questo il motivo per cui, nella simulazione, la grande lamella di alluminio viene sostituita con un elemento opaco e trasparente che in caso di cielo coperto può essere spostato anche in una posizione di guida adatta alla luce zenitale.

● Guadagno di luce naturale fino al 75%

Grazie alle misure proposte, nella zona del locale situata ad una profondità da 1 a 3 metri a partire dalla finestra, il fattore medio di luce diurna può essere aumentato del 75%.

● Autonomia della luce naturale triplicata

L'autonomia della luce naturale aumenta del 300% nei primi 2 metri dietro alla finestra.



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 réfléchie.

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

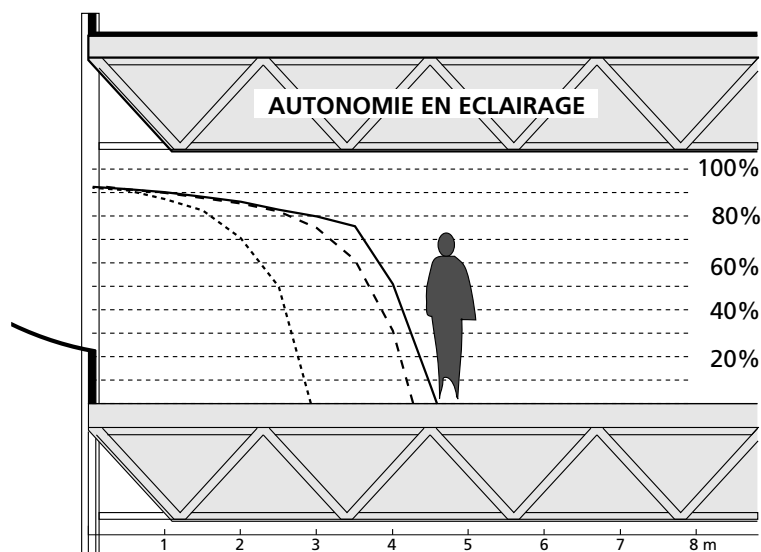
L'autonomie en éclairage à 3 m de l'atrium est encore égale à 75% pour la configuration 1, alors qu'elle est nulle pour la solution initiale. A 4 m de l'atrium l'autonomie est égale à 60% pour la configuration 2, contre 40% pour la configuration 1.

Confort plus ou moins identique

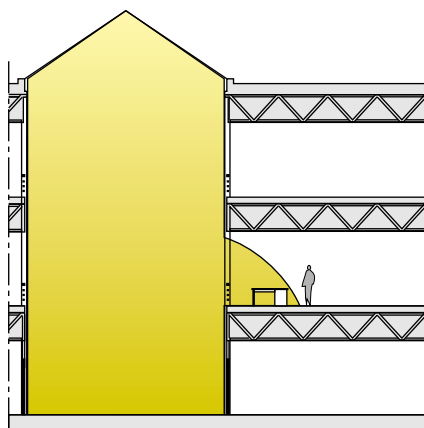
Le pourcentage d'insatisfaits est identique entre l'état initial et la configuration 1 (27%). Par contre, celui-ci augmente dans le cas de la configuration 2 (38%). Ceci s'explique par le fait que le déflecteur, qui est situé dans l'ergorama du premier poste de travail, possède une luminance élevée.

Observations importantes

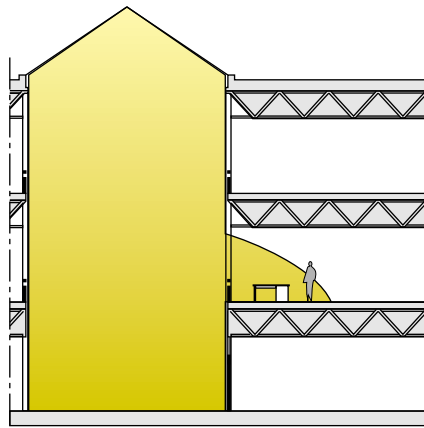
- Dans la réalité, un bâtiment de ce type est aménagé avec des cloisons à mi-hauteur situées parallèlement à l'atrium, à 1,50 m de celui-ci. Cela signifie que les places de travail même les plus proches de l'atrium, ne bénéficient absolument pas de la lumière naturelle.
- Du point de vue énergétique, 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.



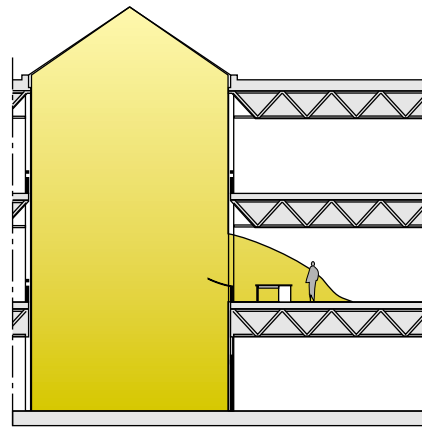
Grazie ad una smussatura del controsoffitto, ad un riflettore montato sul parapetto, nonché ad un rivestimento del pavimento più chiaro di circa il 18%, il fattore di luce diurna dei posti di lavoro sistemati attorno ad un cortile a lucernario può essere migliorato del triplo nei primi 3 metri attorno a tale cortile. In altre parole: un atrio diventa una soluzione valida solo grazie ad una deviazione della luce!



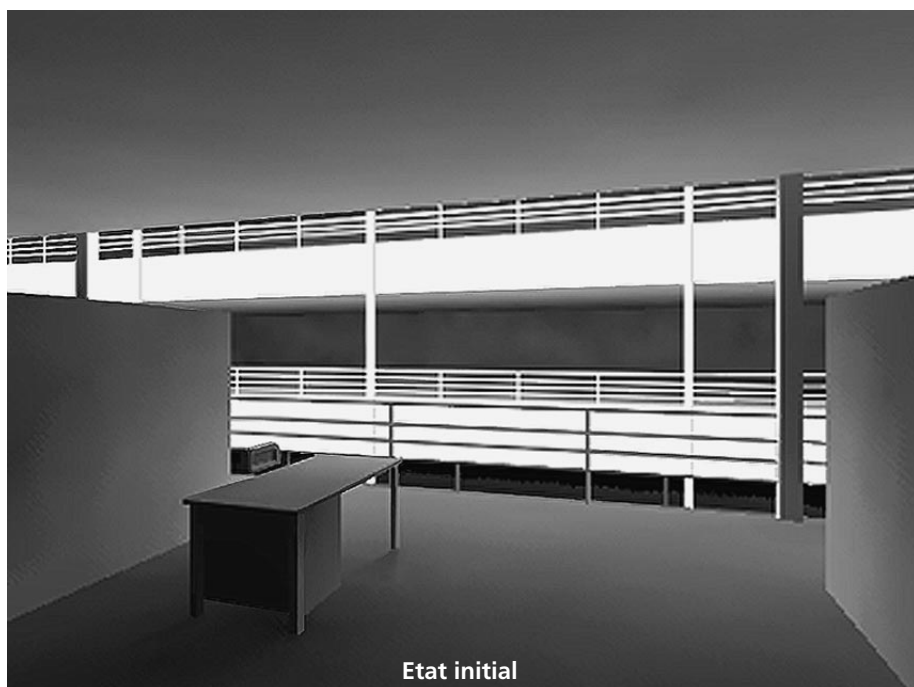
Etat initial



Configuration 1
Biais dans faux-plafond



Configuration 2
idem config. + déflecteur



Etat initial



Proposition avec réflecteurs etc.

● Anche le superfici interne sono utilizzabili

Tutte le superfici adibite ad uffici dell'edificio della Hewlett Packard a Meyrin presso Ginevra sono sistemate attorno ad un atrio centrale che viene illuminato con luce zenitale. Al contrario di quanto avviene in altri cantoni (BS, ZH) nei quali esistono direttive più severe della polizia del fuoco per evitare un incendio con l'impiego di vetrate antincendio, a Ginevra non è stata pretesa la posa di una vetrata interna lungo la parte frontale dell'atrio, giacché esistono gli sprinkler. Nello stato effettivo le condizioni della luce naturale sono favorevoli nei posti di lavoro situati lungo l'atrio.

● Fotometria e geometria sfavorevoli

L'utilizzazione della luce naturale soprattutto in queste zone interne lontane dalle finestre viene però ostacolata da una scelta infelice del colore della moquette (fattore di riflessione 12%), nonché da un controsoffitto massiccio.

● Intervento minimo – effetto grande

Durante la simulazione della luce naturale il fattore di riflessione della moquette è stato aumentato da 12 a 30%, mentre nel soffitto è stato creato un piccolo dislivello e sulla parte esterna del parapetto è stata montata una «lamella per la deflessione della luce» (vedi schizzo della sezione). Con questi interventi – che non comportano né grosse spese, né interventi imperdonabili nell'architettura dell'edificio – il fattore di luce diurna nei primi 5 m dalla parte frontale dell'atrio può essere aumentato di circa il triplo. Mentre inizialmente l'autonomia della luce naturale è uguale a zero, negli adeguamenti simulati essa è stata aumentata fino al 75% all'interno dei primi 3 m.

● Pareti divisorie discutibili

Le pareti mimetizzanti (alte circa 1.50 m) usuali negli uffici di grandi dimensioni impediscono in modo notevole la penetrazione della luce naturale su ambedue i lati. Sulla base di questi presupposti i posti di lavoro risultano attrattivi in modo limitato anche lungo gli atri.

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 «Esherick 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 Lüftungskappen. 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)

La sistemazione delle aperture nell'opera di Louis I. Kahn è geniale.



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

● Luce naturale – parte integrante

La luce naturale costituisce parte integrante di ogni progetto di Louis Kahn, sempre con nuove soluzioni: guida della luce, modulazione, gioco d'ombra e di luce, spazialità e disposizione della struttura in stretto rapporto con l'ubicazione delle aperture. «Un edificio comincia con la luce e termina nell'ombra... Il cielo è il tetto di una piazza... Uno spazio senza luce naturale non esiste». Le soluzioni sviluppate da Louis Kahn vanno al di là di una semplice guida della luce, giacché in generale queste soluzioni concernono parimenti la ventilazione naturale, la protezione contro il sole, il controllo dell'abbagliamento. «L'illuminazione artificiale è la luce della notte; essa non può in alcun caso venire paragonata alla varietà offerta dalla luce naturale». Per Louis Kahn la finestra costituisce molto di più di una forma e di una funzione, giacché essa è l'essenza stessa della struttura spaziale.

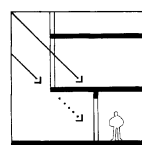
● Protezione contro il sole – firma del progetto

Nelle sue opere giovanili Louis Kahn ha utilizzato sistemi convenzionali di protezione contro il sole, mentre nelle sue opere più recenti ha realizzato soluzioni che hanno conferito un carattere tutto particolare ai suoi edifici: filtro di luce oppure forma di apertura arcaica, vera e propria firma del progetto. Questi dispositivi sono stati essenzialmente previsti per progetti oppure per costruzioni in climi «difficili»; il progetto del parlamento di Dacca ne è un esempio lampante: luce zenitale diffusa in grandi pozzi di luce, abbinando protezione contro il sole, ventilazione naturale e rapporto visivo con l'esterno.

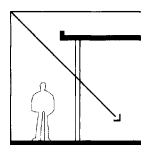
Quellenhinweise:

- 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

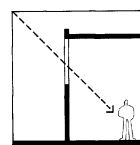
Chronologische Auflistung der Projekte von Louis I. Kahn: in gestraffter Form wird der Entwicklungsprozess der Lichtführung und Lichtmodulation ersichtlich. Beginnend mit der Studentenarbeit aus dem Jahre 1924 und endend mit der Bibliothek in Berkeley 1971–1974 ist das äusserst breite Spektrum von Lösungen 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.



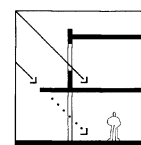
1924



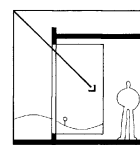
1935-37



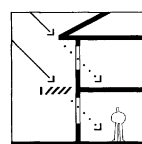
1935-37



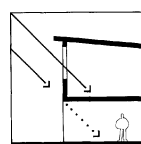
1937-38



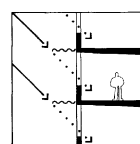
1940-42



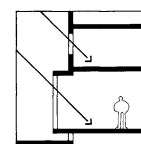
1941-42



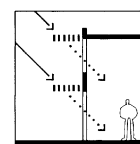
1941-42



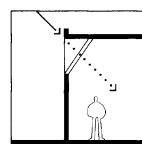
1942



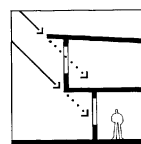
1943-45



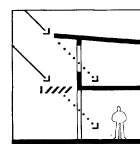
1944



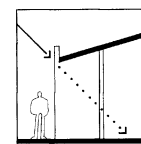
1944-46



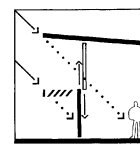
1945



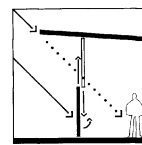
1945-47



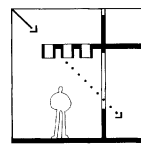
1947-49



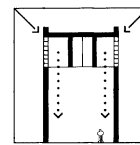
1947-50



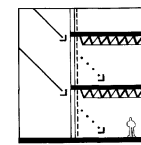
1948-54



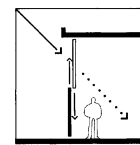
1948-54



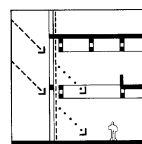
1951-53



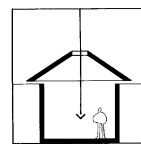
1951-53



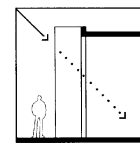
1951-54



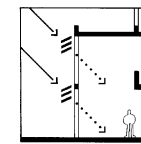
1954-57



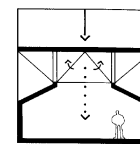
1954-59



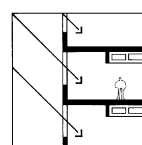
1955-58



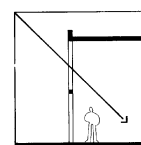
1956



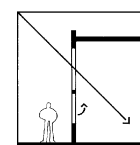
1957-62



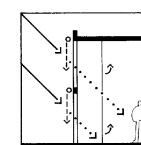
1957-65



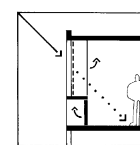
1958-62



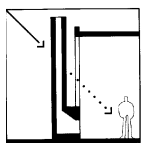
1959



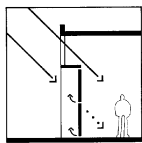
1959-61



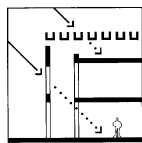
1959-61



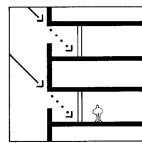
1959-61



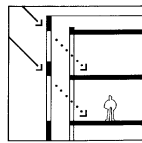
1959-61



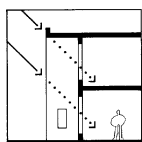
1959-62



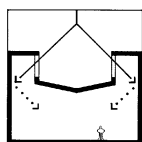
1959-65



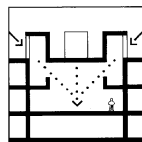
1959-65



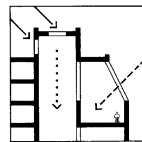
1959-69



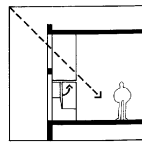
1959-69



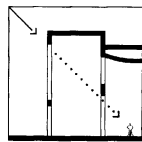
1960-65



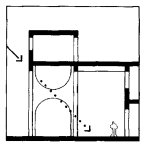
1960-66



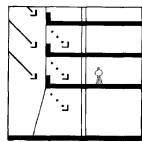
1960-67



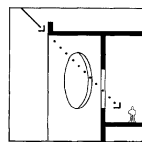
1961-72



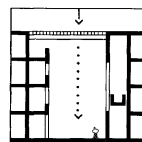
1962-69



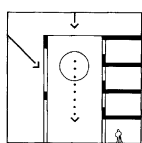
1962-74



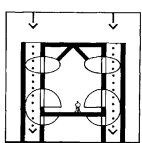
1962-74



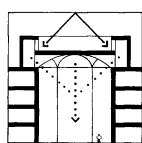
1962-83



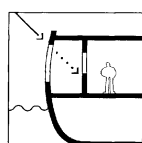
1962-83



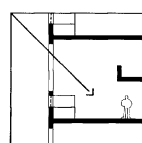
1962-83



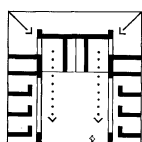
1962-83



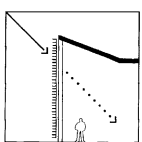
1964-67



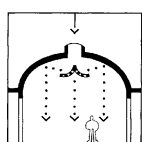
1965-72



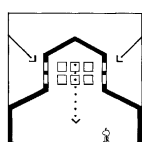
1965-72



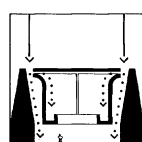
1966-70



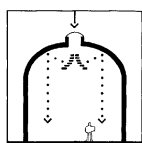
1966-72



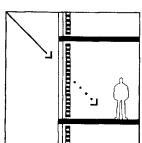
1966-72



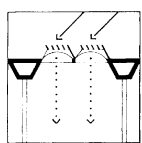
1967-74



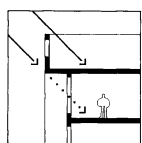
1968-74



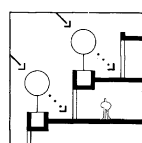
1969-74



1969-74



1969-74



1971-74