

Forschungs- und Demonstrationsmodule für innovative Tageslicht-Technologien

# DEMONA

NEFF-Projekt 658



Boden-Dätwil, Zürich- und Lausanne-Ecublens 15.3.1997

S c h l u s s b e r i c h t

ARGE Miloni EWE EPFL-LESO-PB

**Auftraggeber:**

**NEFF - Nationaler Energie-Forschungs-Fonds**

Pfluggässlein 2

Postfach

4001 Basel

061 262 04 44

Dr. Jean-Louis von Planta

Dr. Alec Baer

**Auftragnehmer:**

**Planung und Projektleitung:**

**Architekturbüro Miloni**

Im Grund 12

5405 Baden-Dättwil

Telefon: 056 493 01 80

Reto P. Miloni / Brigitte Keller

**Messungen und Auswertung:**

**Electrowatt Engineering AG**

**(vormals EWI Electrowatt Ingenieurunternehmung AG)**

Bellerivestrasse 36

8034 Zürich

Telefon: 01 385 22 11

Miklos Kiss

Martin Berweger / Markus Hubbuch

**Simulationen und On-site-Monitoring:**

**EPFL - LESO - PB**

Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment - ITB-DA

Bâtiment LESO/EPFL

1015 Lausanne

Telefon: 021 693 45 45

Professor Jean-Louis Scartezzini

Gilles Courret / Laurent Michel

Baden-Dättwil, Zürich und Lausanne 15.3.1997



Inhalt	Seite	Redaktion
<b>A Zusammenfassender Bericht</b> .....		
0 Zusammenfassung .....	4	Miloni/Scartezzini/Kiss
1. Forschungsanlass und Zielsetzungen .....	5	Miloni
2. Planung und Bau der Module .....	6	
2.1 Konzeption Grundstruktur der Container .....	6	
2.2 Disposition Messplattform .....	6	
2.3 Kriterien und Auswahl der Tageslichtsysteme .....	6	
2.4 Modellbau, Messungen und Simulationen .....	6	
2.5 Komponentenentwicklung und Systemdefinition .....	7	
2.5.1 Fassadensystem .....	11	
2.5.2 Elemente in der Verglasungsebene .....	12	
2.5.3 Vorbauten und Sonnenschutzkomponenten .....	13	
2.5.4 Einbauten .....	13	
2.6 Bau, Transport und Aufstellung .....	13	
3. Messung und Systembewertung der tageslichttechnischen Wirksamkeit .	14	Kiss/Miloni/Scartezzini
3.1 Mess- und Auswertungsmethodik .....	14	
3.2 Tageslichtsignatur .....	16	
3.3 Tageslichtautonomie .....	19	
3.4 Messungen und Beurteilung der Systemfunktionalität .....	21	
3.4.1 Referenzmodul mit Tageslichtlenkstoren .....	21	
3.4.2 Mikrojalousie mit Light-Shelf .....	24	
3.4.3 Beschattungslamellen und Lichtwellenleiter .....	27	
4. Schlussfolgerungen .....	29	Miloni/Scartezzini/Kiss
5. Umsetzung in die Praxis .....	30	Miloni
5.1 Modulpräsentationen .....	30	
5.2 Prototypenbau Musterzimmer Lenzhard .....	30	
5.3 Schulungen, Informationsveranstaltungen .....	30	
5.4 Weiterentwicklungen am LESO-PB: die anidolische Decke .....	30	LESO-PB/Courret
6. Verdankung .....	30	
 <b>Anhang</b>		
<b>B Anforderungen</b>		
Pflichtenheft/Cahier des charges .....	2 Seiten	LESO-PB/Courret
<b>C Pläne</b>		
Situation, Grundrisse, Schnitte, Ansichten, Details .....	43 Seiten	Miloni
<b>D Messungen</b>		
Messkonzept und Messungen verschiedener Tageslichtsysteme .....	53 Seiten	EWI/Kiss
<b>E Containeraufstellung in Lausanne und Modellsimulationen</b>		
Contribution du LESO-PB .....	64 Seiten	LESO-PB/Courret
<b>F Systemberechnungen spezieller Komponenten</b>		
Fassadenmodul mit Lichtlenkung, transparenter Verschattung und HOE .	27 Seiten	ILB/Prof. Müller
Beleuchtung .....	25 Seiten	Zumtobel/Barben
<b>G Veröffentlichungen und Oeffentlichkeitsveranstaltungen</b>		
Publikationen .....	25 Seiten	Miloni
Aktivitäten TageslichtFORUM Zürich .....	2 Seiten	Miloni



## A Zusammenfassender Bericht

### 0 Zusammenfassung

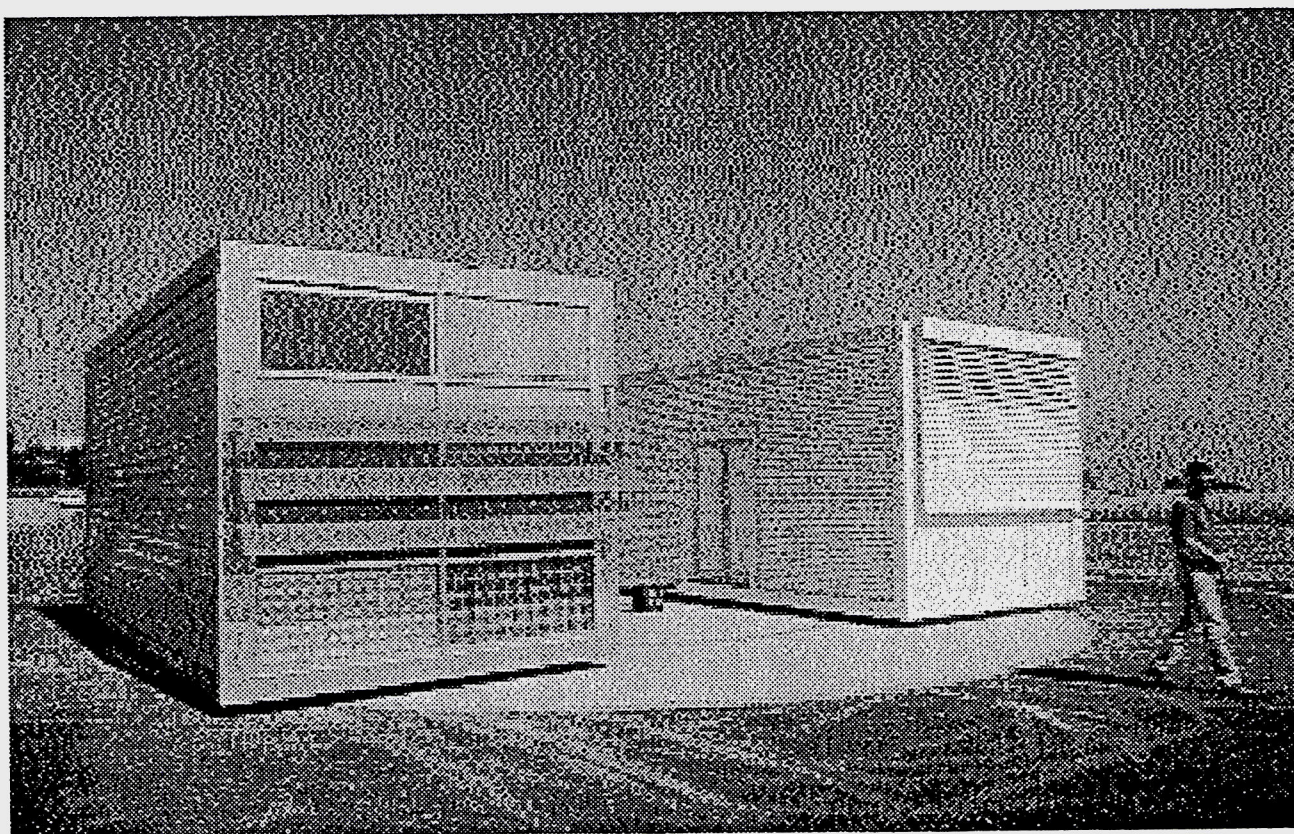
Zur Ausmessung innovativer Tageslichtsysteme wurden zwei in ihren Raumabmessungen und Ausstattung identische Module auf einer stabilen Plattform an der ETH Lausanne aufgestellt. Diese beiden Demonstrationsmodule für innovative Tageslichttechnologien (modules de démonstration en éclairage naturel - DEMONA) sind roll- und drehbar.

An diesen Demonstrationsmodulen wurden einzelne innovative Tageslichtsysteme montiert und ausgemessen. Die Ergebnisse sind in typischen Büro-, Schul- oder Gewerberäumen anwendbar.

Als integrales Beurteilungsinstrument wurde eine "Tageslichtsignatur" entwickelt, mit welcher die Leistungsfähigkeit einer tageslichttechnisch interessanten Lösung multifunktional beurteilt werden kann.

Die gebauten Varianten wurden ausgewählten Fachbauherren, Fassadenplanern und Energieberatern sowie Architekten gezeigt und zudem in Referaten und Fachartikeln einem vielgestaltigen Interessentenkreis nähergebracht. Die seitens der Industrie, der Medien und Fachbauherrschaft ausgelösten Impulse zur Entwicklung und Integration Tageslichtkomponenten sind beachtlich. Die Umsetzung in die Praxis ist somit gelungen.

In den kommenden Jahren werden die beiden Forschungs- und Demonstrationsmodule durch das LESO-PB im Rahmen weiterer EU-Forschungsprogramme weiterbenutzt.



*Im Rahmen des Forschungsprojektes DEMONA wurden innovative Tageslichttechnologien geplant, entwickelt, gemessen und bewertet. Grundlage dazu bildeten zwei mobile Forschungs-Container mit auswechselbaren Frontfassaden, die am LESO/EPFL aufgestellt und tageslichttechnisch in verschiedenen Ausführungsvarianten vermessen wurden. Zudem wurden eigene Komponenten entwickelt: Unter anderem wurde ein kostengünstig herstellbares neues Fassadenprofil in Fischbauchform entwickelt, welches bezüglich Kontrast, Lichtlenkung, Materialausnutzung und Statik neue Möglichkeiten eröffnet.*



## 1. Forschungsanlass und Zielsetzungen

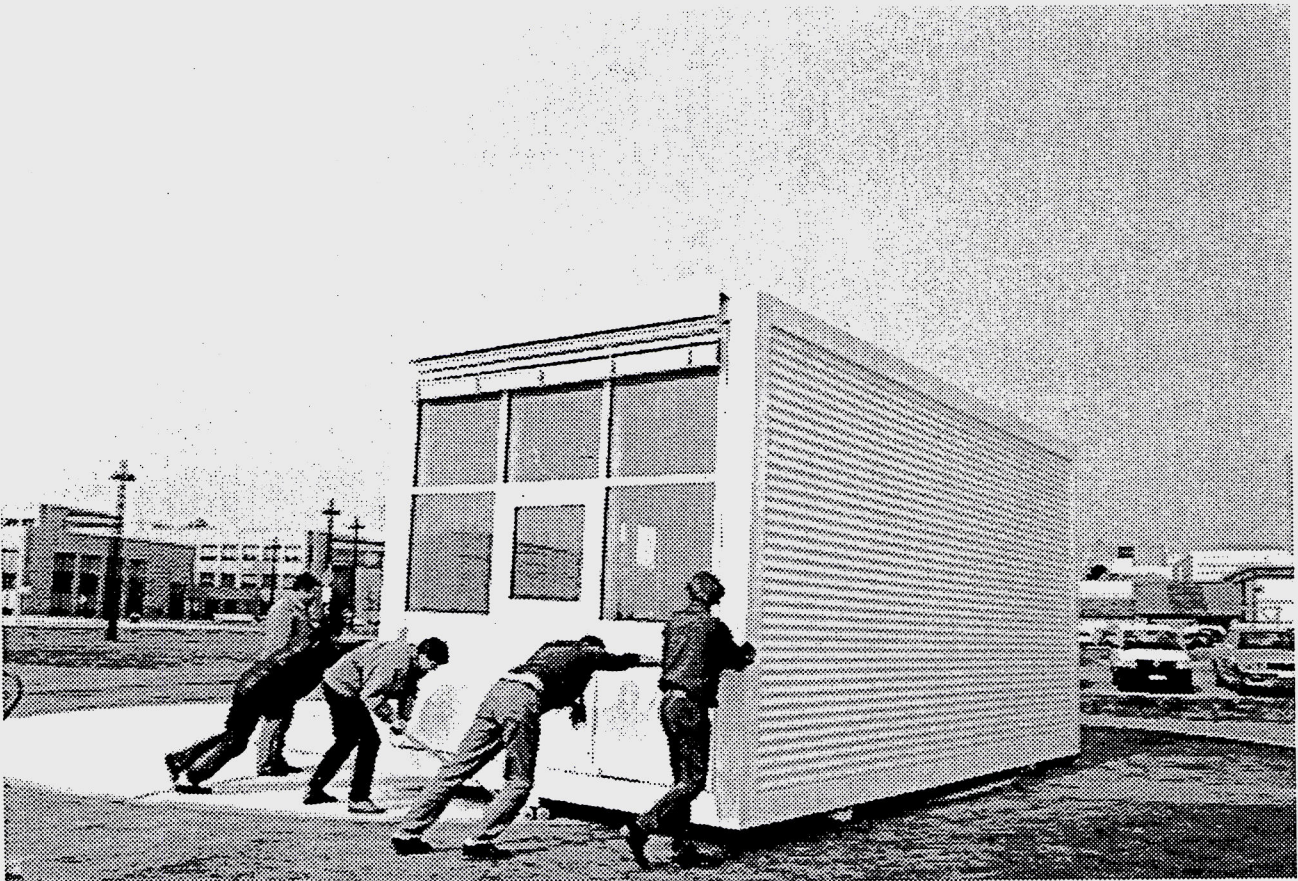
Es besteht ein starker Bedarf nach neuen innovativen Fassadensystemen, welche die Tageslichtnutzung im Raum wesentlich verbessern. Zielsetzung dieses Projektes war darum, für die Industrie einen Messcontainer im Massstab 1:1 bereitzustellen, und die erforderlichen Mess- und Bewertungsmethoden für tageslichttechnisch effiziente Lösungen auszuarbeiten.

Gleichzeitig sollten die Mess- und Auswertungsmethoden an typischen Fassadenbeispielen getestet und einer breiteren Öffentlichkeit in ihrer Anwendung gezeigt werden.

Insgesamt sollte im Sinne einer Zusammenfassung wichtiger Syntheseindikatoren auf die einfache und schlüssige Gesamtbewertung eines Systems grossen Wert gelegt werden. Dies verlangt, dass neben der Tageslichtfunktion auch Blend- und Sonnenschutz, Bedienungsfreundlichkeit etc. zu beurteilen sind. Neben möglichst objektiven Massstäben für die Bewertung der Systeme interessierte aber auch das Kosten/Nutzen-Verhältnis eines eingesetzten Systems. Diese umfassende Sicht kann im Rahmen des Forschungsprojektes nicht für alle möglichen Systeme angewendet werden. Sie wird jedoch in diesem Bericht für einige Beispiele anwendungsgerecht präsentiert.

Für die Bewertung spielt die Tageslichtautonomie, d.h. die effektive Einschaltzeit der künstlichen Beleuchtung eine grosse Rolle. Diese ist einerseits sehr stark vom System und andererseits vom Benutzerverhalten abhängig. Diesbezüglich war aufzuzeigen, wie diese Faktoren zusammenhängen, und wie die Tageslichtautonomie näherungsweise praxisingerecht ermittelt werden kann.

Für eine umsetzungsorientierte Ausarbeitung schien uns wesentlich, die wichtigsten Faktoren prägnant herauszuschälen und ebenso vereinfacht wie anwendergerecht darzustellen.



***“Roll-out“ des Referenz-Modules.***



## 2. Planung und Bau der Module

Das Projekt sah vor, zwei räumlich und photometrisch identische Container zu konstruieren, diese an geeignetem Standort aufzustellen, mit unterschiedlichen Fassadenkomponenten auszurüsten und anschliessend einem einheitlichen Messprogramm zu unterziehen (siehe Pflichtenheft vom 2.5.1995 im Anhang B).

### 2.1 Konzeption Grundstruktur der Container

Die beiden Container wurden in einer Stahlblechverbundkonstruktion erstellt, damit einerseits maximale Steifigkeit bei minimalem Gewicht und andererseits eine modulare Austauschbarkeit von Fassadenkomponenten gewährleistet werden konnten. Dabei wurde angestrebt, dass zwei Personen die Container auf der Messplattform von Hand drehen können müssten.

Die im Interesse tiefer und hoher Räume grosszügig gewählten Container-Dimensionen (Aussenlänge/-breite/-höhe ohne Ringösen/Rollen: 696/345/345 cm) führten trotz Leichtbauweise zu einem Gewicht von über 4.0 To, welches auf dem nicht ganz ebenen Untergrund den Einsatz eines elektrischen Hubstaplers notwendig machte (Pläne siehe Anhang C).

### 2.2 Disposition Messplattform

Die EPFL stellte grosszügigerweise einen idealen Platz für die Aufstellung der beiden Container zur Verfügung: unmittelbar neben dem DEMOSITE Parkplatz. Hier können die Container auf einer kreisrunden Plattform in allen Himmelsrichtungen gedreht werden, wobei der Verbauungsgrad (Beschattung durch Horizont oder Nachbargebäude) und die Umgebungseffekte (Bäume etc.) gering ist (weniger als 10° über dem Horizont - Situationsplan siehe Anhang C). Auch wurde die Messplattform mit einer lastwagengängigen Zufahrt und allen notwendigen elektrischen Anschlüssen versehen (Telefon, Datenleitung, 220 V für Licht und separaten Stromverbrauch).

### 2.3 Kriterien und Auswahl der Tageslichtsysteme

Bei der Auswahl der Tageslichtsysteme zielte das Team im wesentlichen auf einen sensiblen Umgang mit Wärme und Licht. Allerdings ist dabei unübersehbar, dass die Ansprüche im Bau moderner Glasfassaden, welche sich an optimalem thermischem und visuellem Komfort orientieren, in sich widersprüchlich sind. Denn neben der Erhöhung des Tageslichtquotienten und der besseren Lichtverteilung im Raum geht es darum:

- ganzjährig echte Transparenz und Aussicht zu schaffen
- Blendung in einer "Kontaktzone" für die Nutzer zu unterdrücken
- die Wärmestrahlen der Sonne vom natürlichen Tageslicht zu trennen
- die Helligkeit im Sichtbereich zur Erleichterung der Adaption vernünftig zu moderieren
- wenn nötig Mensch und Einrichtung vor schädlicher UV-Strahlung zu schützen
- ein helles Ambiente zu erzeugen
- direkte Strahlungsexposition und hohe Oberflächentemperaturen zu reduzieren
- den Raum - soweit saisonal vertretbar - mit Frischluft zu versorgen
- Energie im Gebäude so zu sparen, dass natürliche Ressourcen genutzt und sinnvolle Synergien generiert werden.

Auf der Suche nach der "polyvalenten Fassade" wollte man dabei im Referenzmodul von der besten, heute verfügbaren Beschattungs- und Lichtlenktechnologie ausgehen und im Testmodul verschiedene "innovative Lösungen" wie transparente und sonnenschützende Glas-Lamellen mit Siebdruck-Beschattung, Lichtwellenleiter etc. austesten.

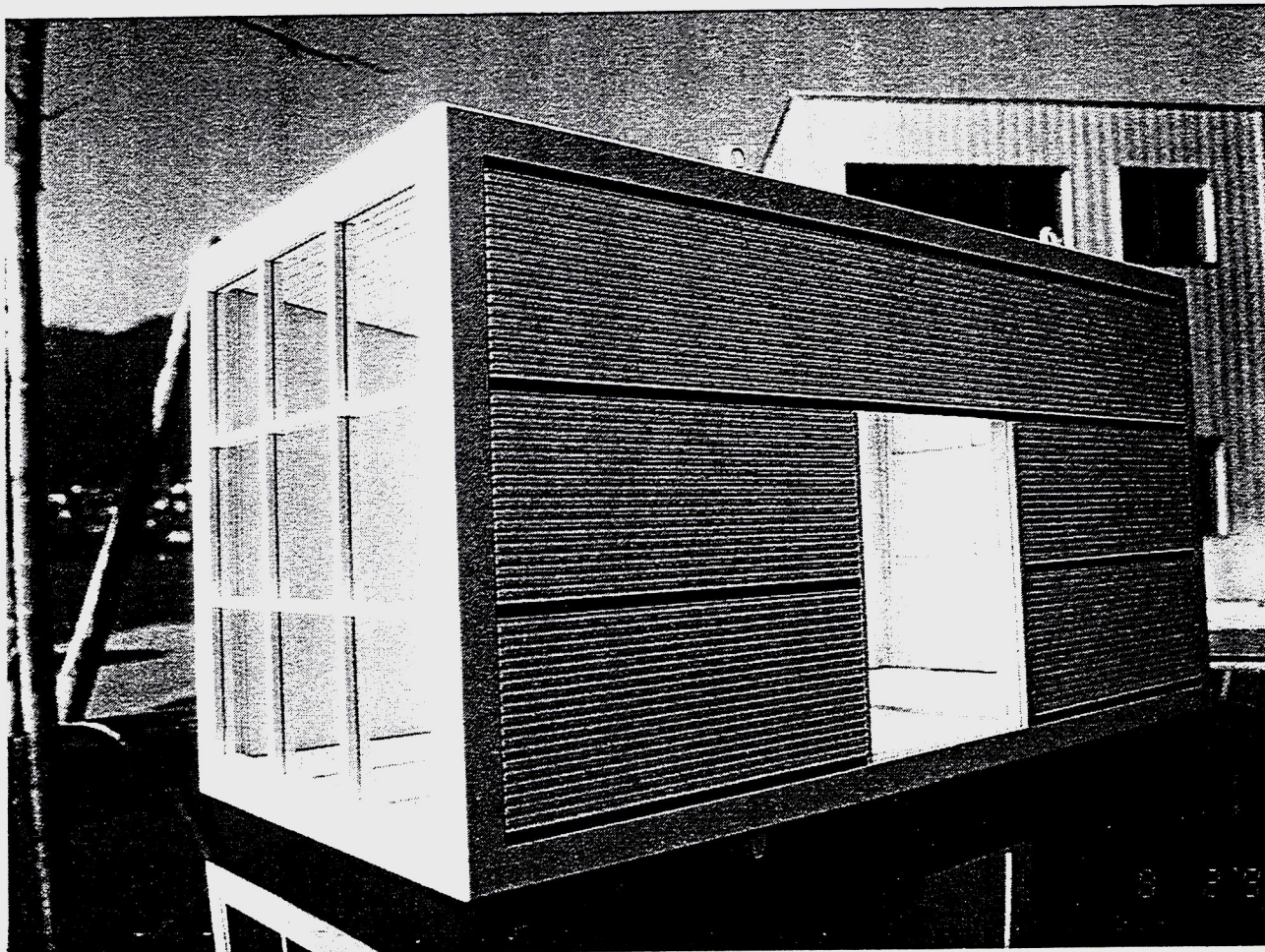
Dies mit dem Ziel, die Tageslichtautonomie im Vergleich zum Referenzmodul zu verbessern.

### 2.4 Modellbau, Messungen und Simulationen

In einer ersten Phase wurde ein Modell im Masstab 1:20 gebaut und dieses unter dem künstlichen Himmel am LESO-PB gemessen. Dabei wurde u.a. herausgefunden, dass eine gewölbte Decke gegenüber einer konventionellen flachen Decke keinen signifikanten Beitrag an die Raumaufhellung zu leisten vermag (siehe auch Anhang B; Bericht LESO-PB).



*In der Planungs- und Evaluationsphase wurde ein naturgetreues Modell im Massstab 1:20 hergestellt, welches unter dem "künstlichen Himmel" des LESO-PB tageslichttechnisch vermessen wurde. Dadurch wurden erste Optimierungen erreicht: z.B. wurde die im Modell gekrümmte Decke Doppeldecke auf Empfehlung des LESO-PB in Wirklichkeit flach ausgeführt.*



## 2.5 Komponentenentwicklung und Systemdefinition

Im Anschluss an die Modellmessungen entschied man sich, vier Systeme zu bauen. Dabei sollten die Randbedingungen eine optimale Vergleichbarkeit gewährleisten. Dies bedeutet, dass die beiden Container:

- über dieselbe Nettolichtmasse verfügen (Breite/Höhe/Länge: ca 3.1/6.6/3.1 m)
- eine identische Photometrie aufweisen (gemessene Werte: Boden 15 %; Decke 80 %; Wände 80 %)
- mit einer einheitlichen Beleuchtungsanlage ausgerüstet sind

Im Verlaufe der Evaluation wurden zahlreiche Tageslichtkomponenten evaluiert und sogar weitgehend durchkonstruiert (siehe auch Pläne und Skizzen dafür im Anhang). Im Evaluationsverfahren schieden als technisch nicht machbar oder nicht sinnvoll folgende Lösungen aus:

- Lösung mit fluidized glazing (zu unerprobt und zu kompliziert)
- totalreflektierende Hologramme (sehr komplizierte Aufhängung und Regelung sowie exorbitant teuer)
- Transparente Wärmedämmung bzw. Plexiprismenlösung (bereits hinreichend an anderen Objekten erprobt)
- lamiera stirrata (zu grosser cut-off bei bedecktem Himmel)

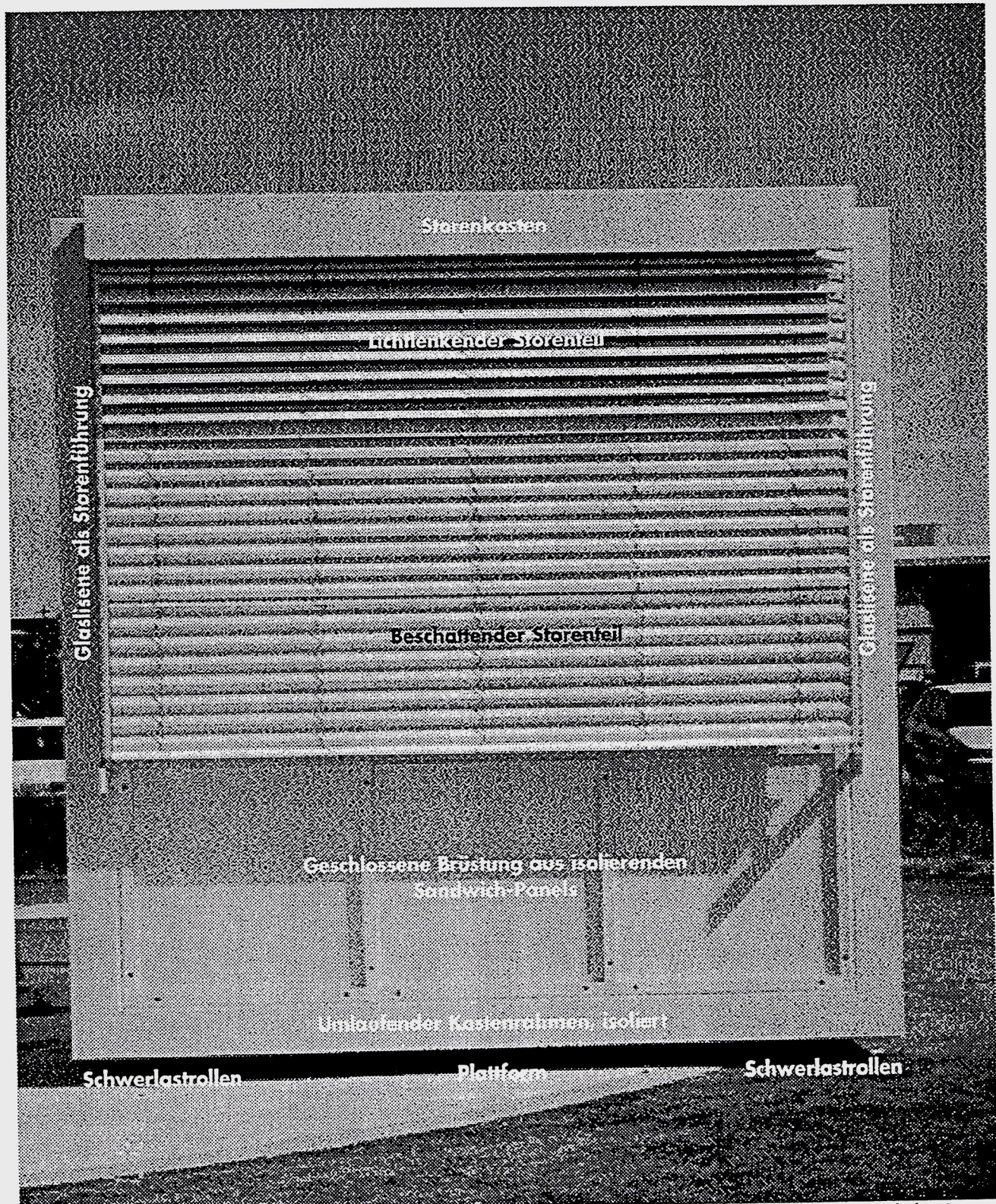
Die gewählten und gebauten Lösungen lassen sich wie folgt charakterisieren:



## Die "gute" Lösung (Vorderseite Container A) - Referenzfall vorne

Es handelt sich um eine einfache, gute Lösung mit Rechteck-Pfosten-Riegelprofilen 50/150 mm, raumhohen, weiss lackierten Profilen (RAL 9010):

- im Durchsichts- und Oberlichtbereich sind hochtransparente Gläser eingebaut (ca. 6 m<sup>2</sup> Lateralöffnung)
- als aussenliegender Sonnenschutz ist ein Tageslichtlenkstoren vorgehängt, welcher Seitenführungen (Lisenen) aus Glas aufweist



Der Referenz-Container entspricht in seiner Ausführung gewissermassen "state-of-the-art"-Tageslichttechnik: ein hoher Raum, eine helle Photometrie, ein grosszügiger Nettoglaslichtanteil bezogen auf die Bodenfläche, ein hoch montierter Tageslichtlenkstoren mit Feldbusanschluss zur tageslichtabhängig regulierten Kunstlichtbeleuchtung.



## Die "minimale" Lösung (Rückseite Container A) - Referenzfall hinten

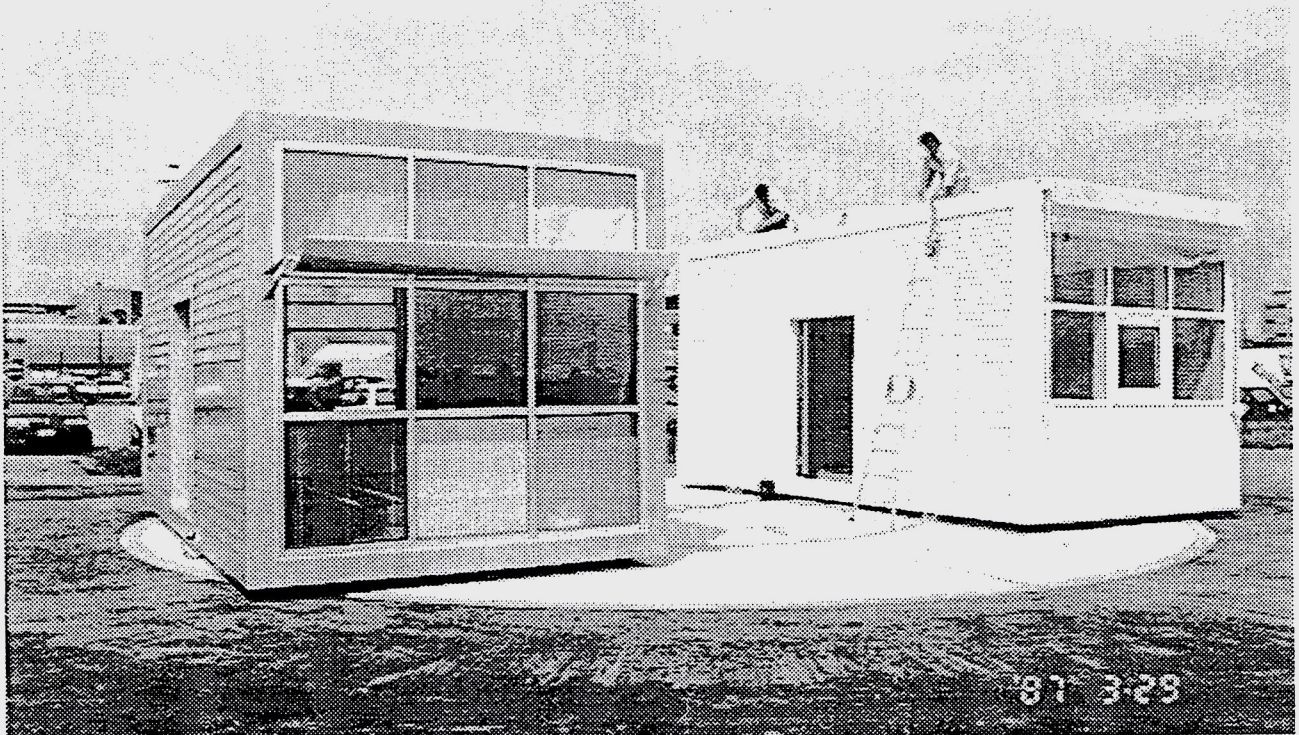
Zum Studium einer zweiseitigen Raumbelichtung war die Rückseite des Referenzmoduls mit einer zentralen Lateralöffnung versehen worden. Im übrigen entsprach diese in der Ausführungsart dem Frontteil:

- Rechteck-Fensterprofile 50/150 mm, raumhoch, weiss RAL 9010
- Verglasung nur in einem Sichtfeld (ca. 1 m<sup>2</sup> Lateralöffnung)

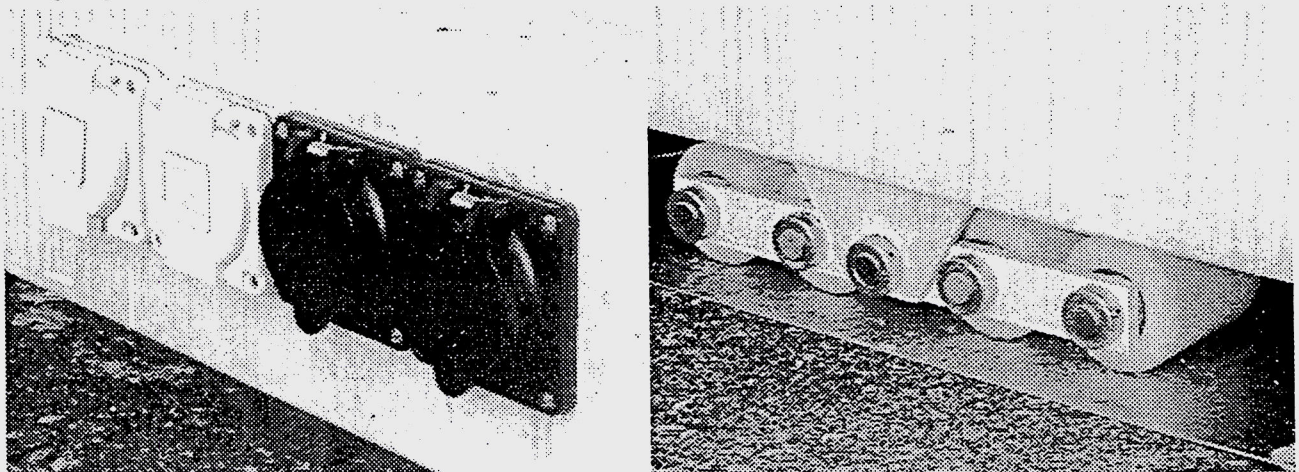
## Die "helle" Lösung (Vorderseite Container B) - Mikrojalousie mit und ohne Lichtschwert

Eine innovative Lösung mit wurde für die Frontseite des Demonstrations-Containers ausgeführt:

- Fassadenprofile aus natureloxierten Aluminium-Fischbauchprofilen (50/160 mm), ebenfalls raumhoch montiert
- Brüstung und Oberlichtbereich waren mit handverstellbaren Isolierglas-Jalousien verglast
- über der Augenhöhe ein Light-Shelf als "sun-breaker" und zur Lichtumlenkung
- im Durchsichtsbereich hochselektive Gläser



Links im Bild der aussen silberfarbene Demonstrations-Container mit einseitig montiertem Light-Shelf und handverstellbaren Isolierglas-Jalousien in der Brüstung und im hochgesetzten Seitenfenster. Rechts davon der weisse Referenz-Container mit hochgezogenem Tageslichtlenkstoren. Beide verfügen über steckbare Kabelanschlüsse und Schwerlastrollen (untere Bilder)..

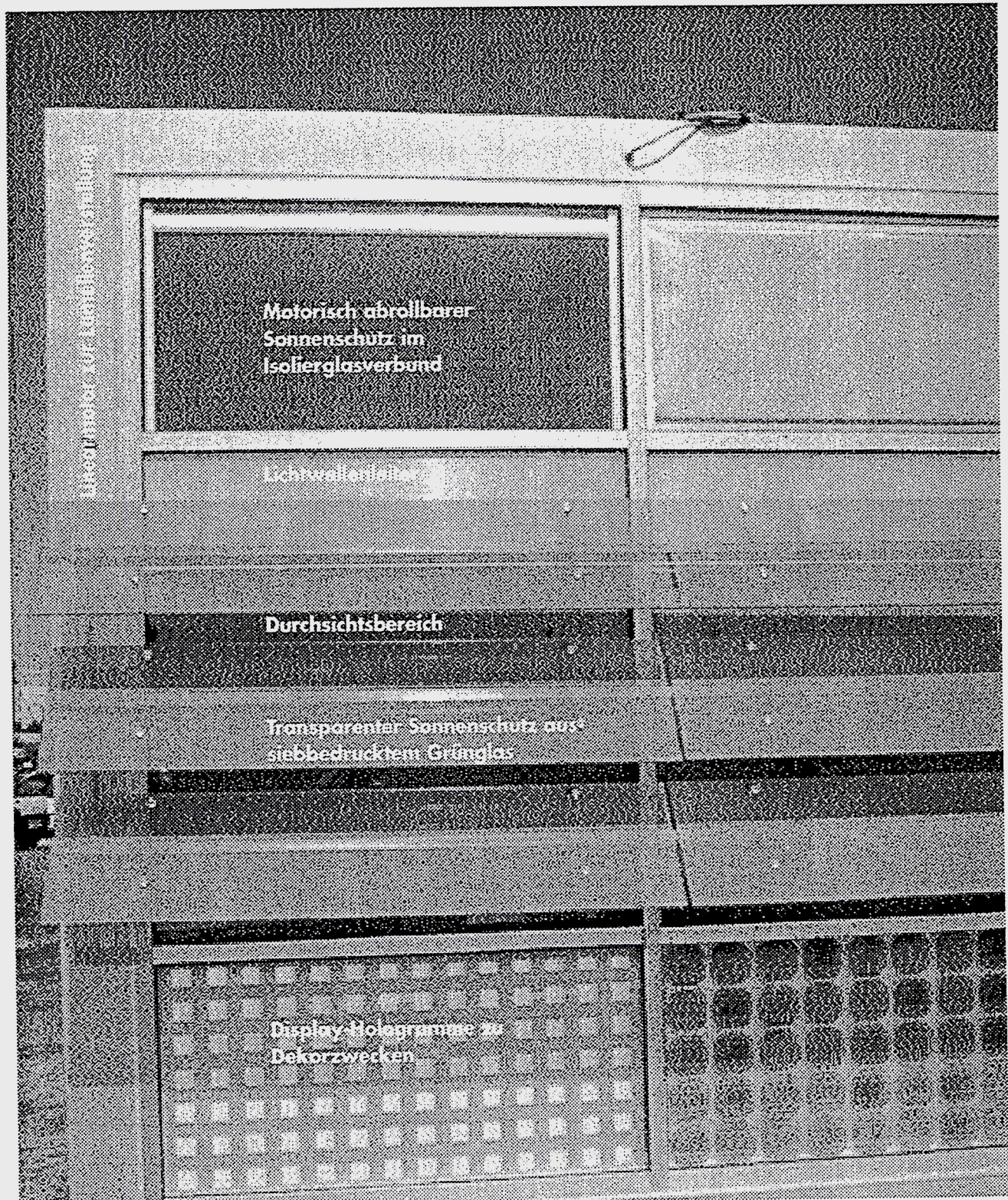




## Die "High-Tech"-Lösung (Rückseite Container B) - Beschattungslamellen mit Lichtwellenleitern

Als High-Tech-Lösung wurde die Rückseite des Demonstrations-Containers ausgeführt:

- Fischbauchprofile 50/160 mm, raumhoch, Aluminium natur eloxiert
- Brüstung fest verglast mit mit Display-Hologramm bzw. PV-Imitation
- normale Isoliergläser im Durchsichtsbereich
- Lichtlenkung mit Lichtwellenleitern für Tageslichtumlenkung bei Sonne im unteren Oberlichtbereich
- transparenter, beweglicher Sonnenschutz mit Siebbedruckung vor Fassade, abrollbarer Sonnenschutz in Oberlichtverglasung





### 2.5.1 Fassadensystem (Pfosten-Riegelkonstruktion konventionell und in Fischbauchform)

Das gewählte Fassadensystem entspricht im Referenz-Container beidseitig einer konventionelle Pfosten-Riegelkonstruktion (Jansen VISS-Stahlprofile mit 60 mm Profilbreite).

Im Laufe der Forschungsarbeiten stellte sich heraus, dass zur Verbesserung des visuellen Komforts ein neuartiges Fassadenprofil mit minimalen innerern Beschattungsflanken wünschbar wäre. Insbesondere ist bei Gegenlichtsituationen weniger Kontrast und eine bessere Lichtlenkung erwünscht.

Es wurde deshalb zusammen mit einer Fassadenbaufirma (DIRALSA AG, Neuenhof) und einem Halbzeughersteller (ALLEGRA, Zürich) ein neues Pfosten-Riegel-System aus Aluminium entwickelt (siehe Anhang). Dieses Profil (Pläne und Trägheitsmomentenberechnung siehe Anhang) ist statisch und materialtechnisch optimiert. Es hätte in der Praxis neben seinen Vorzügen bezüglich des visuellen Komforts ein weiteres Leistungsmerkmal: es kostet dank des geringen Gewichtes und fehlender Patentrechte nur halb so viel wie ein konventionelles Pfosten-Riegel-System aus Stahl oder Aluminium (z.B. Alisol von Alu Menziken oder AS 200 von Aluisse). Trotzdem ist es kompatibel zu bisherigen Befestigungs- und Dichtungssystemen. Diese Riegelkonstruktion in Fischbauchform wurde beidseitig im Testcontainer (High-Tech-Lösungen) eingesetzt.

In beiden Fällen (Stahlrahmen und Alurahmen) kann eine gesamte Fassade ausgetauscht werden.

Dafür benötigen zwei Männer inklusive gleichzeitiger Auswechslung der Füllelemente (Gläser, Paneelen etc.) etwa einen halben Tag. Allerdings müssen bei einer Fassadenauswechslung die wasserdicht versiegelten Fugen aufgeschnitten und anschliessend wieder abgedichtet werden, da Versuche mit selbstexpandierenden Bändern bzw. Rolldichtungen wenig ermutigend verlaufen waren.



*Statt einer mindestens 50 mm breiten inneren Profilflanke läuft bei dem "BALIK" genannten Fassadenprofil (Name für bauchigen Fisch in alt-europäischen Kulturen) die innere, bei Gegenlicht sichtbare Flanke sowohl vertikal als auch horizontal auf eine dünne Linie aus. Durch die geringere Zahl schattiger Flanken wird der visuelle Komfort stabilisiert. Zudem reflektieren voraussichtlich die gekrümmten Profilflanken Licht tiefer in den Raum. Im unteren Bereich sichtbar sind die integrierten Isolierglas-Jalousien.*



## 2.5.2 Elemente in der Verglasungsebene

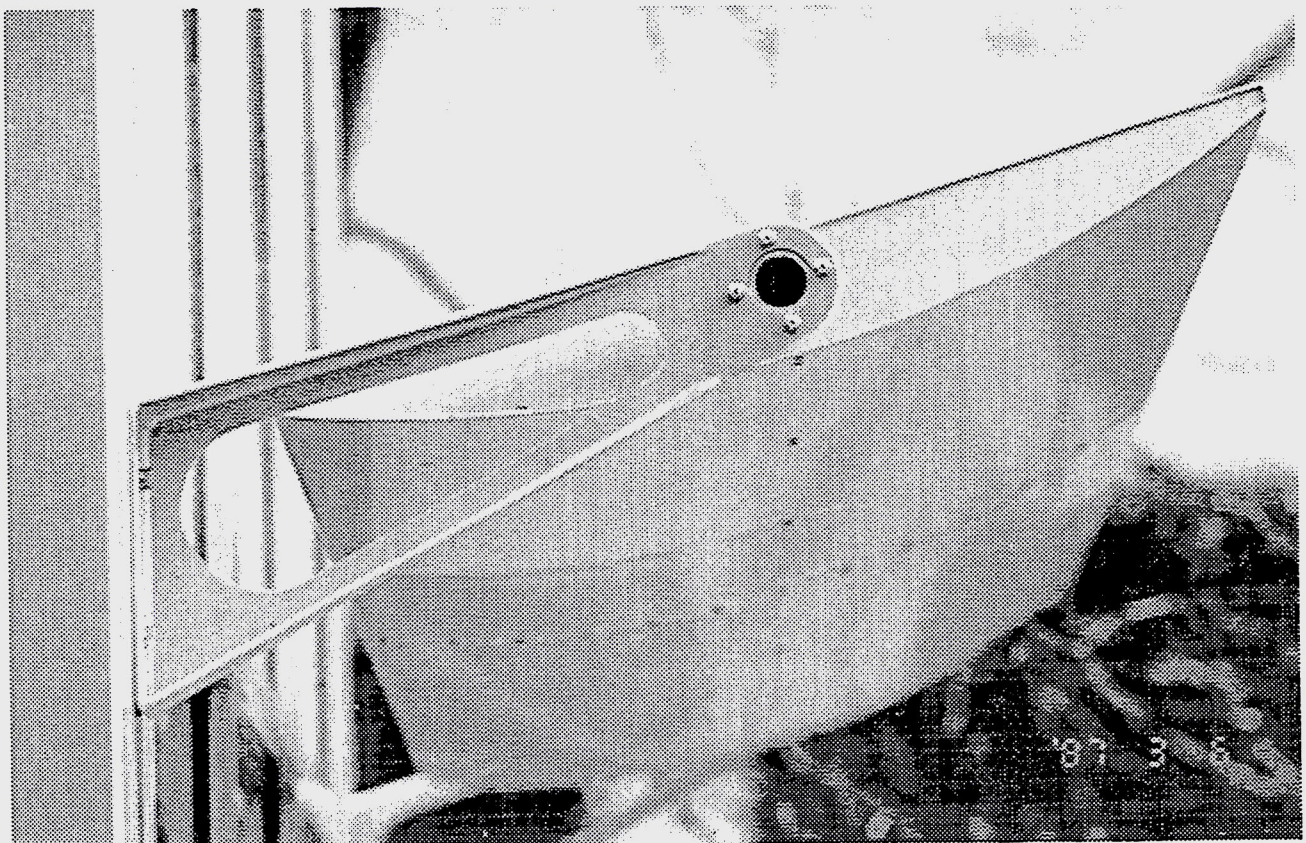
In der Verglasungsebene waren eingebaut:

- Hochlichtdurchlässige Isoliergläser im Sichtbereich des Referenzmoduls. Fabrikat: Optiwhite
- Isolierende Sandwichpaneelen im Brüstungsbereich des Referenzmoduls. Fabrikat: Meier
- Hochselektive Isoliergläser im Sichtbereich des Testmoduls. Fabrikat: Silverstar Selekt
- Isolierglas-Jalousien im Sichtbereich des Testmoduls. Fabrikat: Luxaclair
- Lichtwellenleiter im Oberlichtbereich des Testmoduls. Fabrikat: ILB
- Sonnenschutzrollos im Oberlichtbereich des Testmoduls. Fabrikat: AGERO
- totalreflektierende Display-Hologramme über Sandwich-Paneelen im Brüstungsbereich des Testmoduls. Fabrikat: DIRALSA/ILB

## 2.5.3 Vorbauten und Sonnenschutzkomponenten

Vor der Verglasungsebene waren eingebaut:

- beim Referenzmodul ein handelsüblicher Tageslichtlenkstoren: Fabrikat: Griesser, Farbe weiss
- beim Testmodul einseitig ein selbstentwickelter Hochglanz-Light-Shelf: Fabrikat: Meier
- beim Testmodul einseitig eine Sekundärfassade aus siebbedruckten Grüngläsern, welche auf einer drehbar gelagerten Edelstahlkonstruktion sonnenstandsgerecht nachgeführt werden könnten.



*Die eine Seite des Testmodules (High-Tech-Container) wurde mit einem relativ kostengünstigen Light-Shelf ausgerüstet, welcher vor hochstehender Sommersonne an einer Südfassade wirkungsvoll schützt. Während des Forschungsprojektes wurde diese Lösung bereits für eine Schulhaus-Sanierung weiterentwickelt und wird jetzt in der Stadt Lenzburg an 25 Schulzimmern ausgeführt.*



#### 2.5.4 Einbauten

In beiden Containern wurden einige auf die spezifische Funktionalität ausgerichteten Einbauten vorgesehen:

- Alle Wände wurden mit demontablen Wandverkleidungen versehen, die auf durchlaufenden Alu-Profilen montiert sind. Darin eingelassen sind pro Raum je ein Kleintableau, welches die Steuerungseinheiten für das Lichtmanagement sowie die Sicherungseinheiten enthält.
- Die Decken bestehen aus freitragenden Deckenplatten in standardisierten Breiten, die auf Doppelrandwinkeln aufliegen und von Hand demontiert werden können
- Die Böden bestehen aus einem robusten Sisalteppich auf Blindbodenunterkonstruktion. Darin eingelassen sind pro Raum je zwei Bodensteckdosenkasten mit Anschlüssen für Telefon, Strom und Datenleitung.
- Pro Raum sind 2 Pendelleuchten vorhanden, welche über ein Lichtmanagementsystem mit zentralem Industrierechner und 9-Punkt-Messkopf tageslichtoptimiert reguliert werden könnten. Das Lichtmanagement kann über tragbare Handbediengeräte mit IR-Fernbedienung aktiviert werden.
- Im Referenzmodul wurden portable Handbediengeräte vorgesehen, mit welchen der Tageslichtfenkstoren abgesenkt und gewippt werden könnte.

#### 2.6 Bau, Transport und Aufstellung

Die beiden Container wurden bis auf wenige Ausnahmen in der Deutschschweiz fertig gebaut und per Sattelschlepper an ihren Bestimmungsort transportiert. Die Breite/Höhe der Container war so gewählt worden, dass ein Autobahntransport ohne kostspielige Polizeibegleitung möglich war und für den Ablad ein integrierter Lastwagenkran genügte. Im Falle des Containers mit den stählernen Pfosten-Riegel-Konstruktionen war die Tragfähigkeit dieses Lastwagenkran an der Grenze.



**Das vormontierte Testmodul wurde per Tieflader über die Autobahn nach Lausanne verschoben und mit einem hubstarken Lastwagenkran direkt auf die bereits fertiggestellte Plattform abgestellt. Nachträglich wurden noch die Elektroinstallationen an den EPFL-Standard angepasst, später angelieferte Glaslamellen montiert und die Wasserdichtigkeit des Containers verbessert.**

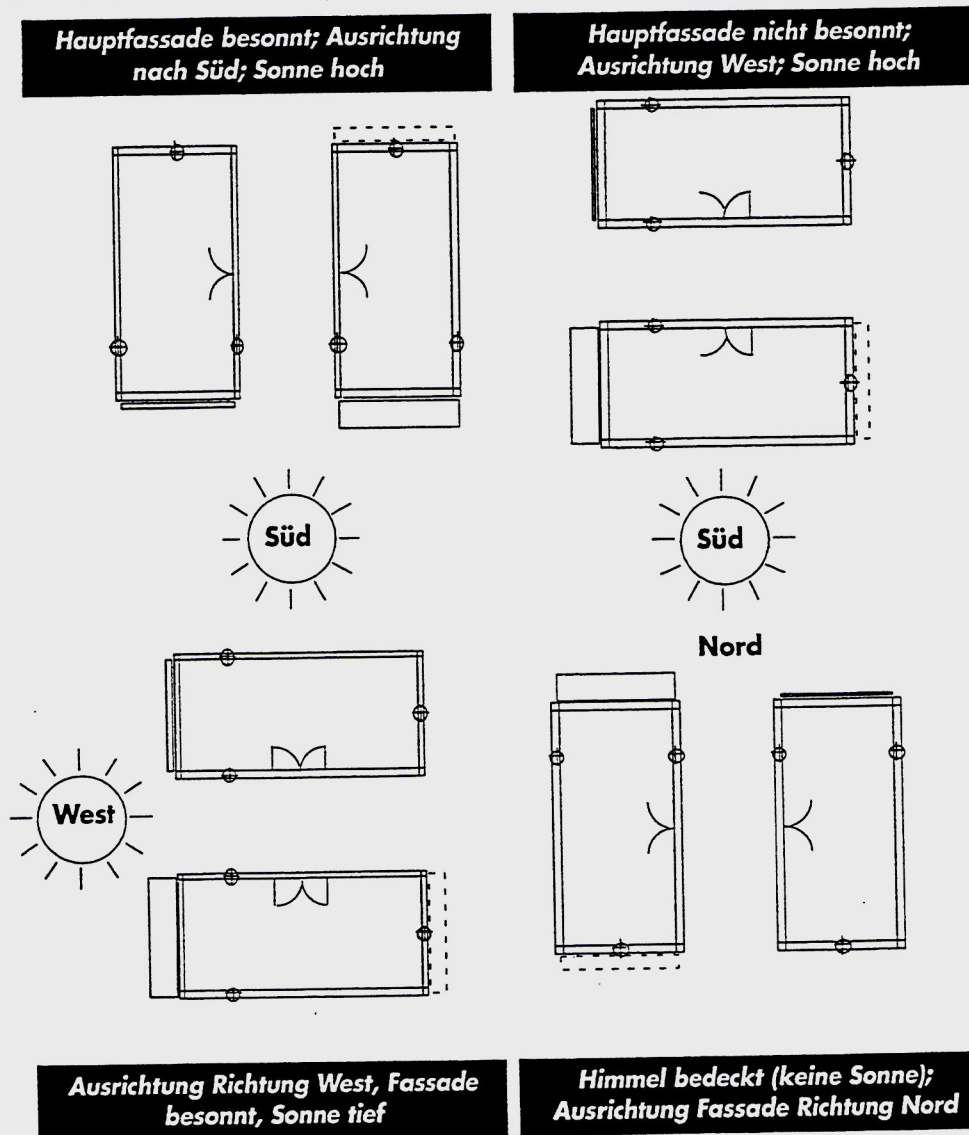


### 3. Messung und Systembewertung der tageslichttechnischen Wirksamkeit

Die tageslichttechnischen Messungen wurden durch die EWI Ingenieurunternehmung AG Zürich durchgeführt, welche dafür auch eine temporäre Messinfrastruktur vor Ort aufbaute. Die Methodik wird nachfolgend kurz umrissen und die Ergebnisse, welche im Anhang D detailliert nachzulesen sind, werden in diesem Kapitel zusammengefasst. In Ergänzung und als Vorbereitung für weiterführende Projekte wurden durch das LESO zusätzlich zu den Messungen der EWI eine ortsfeste Messinfrastruktur in den Containern installiert und einzelne Messungen wiederholt. Diese sind hier nicht zusammengefasst aber im Anhang im Detail aufgeführt.

#### 3.1. Mess- und Auswertungsmethodik

Die Messungen an den beiden Modulen, welche in einer unverbauten Lage aufgestellt wurden, fanden auf dem Areal des EPFL in Lausanne unter günstigen Voraussetzungen statt. Die Messungen erfolgten dabei prinzipiell jeweils an 2 Modulen, d.h. Referenz- und Testmodul gleichzeitig. Im Sinne einer Vereinfachung wäre allenfalls auch der Gebrauch eines Referenzmoduls im Massstab 1:20 denkbar gewesen. Beide Module haben identische Aussenabmessungen von 6.96 m Länge, 3.45 m Breite und 3.45 m Höhe. Die grosszügigen Innenabmessungen ermöglichten sowohl Messungen hoher Komponenten, als auch solcher, die Ihre Wirkung erst in einer Raumtiefe von über 5.0 m zeigen (z.B. Lichtlenkungssysteme etc.). Dies wurde vom LESO-PB ausdrücklich gewünscht, da sich bei Tageslichtkomponenten in Raumtiefen von über 5.0 m die Spreu vom Weizen zu scheiden beginnt. Wie bereits erwähnt ist in den Räumen der Innenausbau identisch, d.h. Möblierung, Wände, Decken und Boden haben photometrisch dieselben Reflexionseigenschaften, sodass keine Messwertverfälschungen durch Sekundärelemente möglich sind. Die Messpunkte im Abstand von 50cm, 200cm, 400cm und 600cm vom Fenster wurden auf einer Arbeitshöhe von 78cm plaziert. Die genaue Messanordnung sowie die detaillierten Messresultate sind im Anhang im Bericht "Messungen verschiedener Tageslichtsysteme" beschrieben. Die Messungen wurden bei 4 verschiedenen Zuständen durchgeführt.





- Um realistische Verhältnisse zu erhalten, wurde nicht beim idealen bedeckten Tag, der sehr selten vorkommt, gemessen, sondern bei stark bewölktem Himmel. Die Bedingungen dazu sind im Anhang D aufgeführt.
- Zusätzlich erfolgten Messungen der Testmodule mit Sonne an der Fassade, mit und ohne Beschattung, (Süd) und Messungen an sonnigen Tagen, aber ohne Sonne an der Fassade (West).
- Die Messungen wurden jeweils auf 100'000 Lux Aussenbeleuchtung mit Sonnenschein und 20'000 Lux Aussenbeleuchtung im bewölkten Zustand normiert.

In der Auswertung wurde jeweils von einem Arbeitsplatz in 4 m Abstand zum Fenster ausgegangen. Bei der Auswertung wurde für die obigen Bedingungen die Innenbeleuchtungsstärke im Test- und Referenzfall aufgeführt. Diese Werte geben eine Auskunft über das Verhalten am sonnigen Tag. Sie bestimmen die Raumatmosphäre, haben aber unter Umständen nur einen kleinen Einfluss auf die Tageslichtautonomie, da am sonnigen Tag bei korrektem Betrieb der Beschattung das Kunstlicht tagsüber nicht eingeschaltet sein sollte.

In der Praxis hat die Bedienung der Beschattung bei stark bewölktem Himmel mit gelegentlichem Sonnenschein einen grossen Einfluss auf die Einschaltzeit der Beleuchtung. Bei dauernd, teilweise oder ganz gesenkten Storen sind wesentliche Lichteinbussen vorhanden, ebenso sind bei intelligentem und energiesparendem Betrieb (von Hand oder automatisch) ganz wesentliche Einsparungen möglich.

Für den Referenzfall sind die geschätzten Einflussfaktoren bei der Berechnung der Tageslichtautonomie aufgeführt. Diese Berechnung der Tageslichtautonomie ist nur eine Schätzung und sie ist wie gesagt extrem benutzerabhängig.

Aus obigen Ausführungen folgt, dass ein gutes Beschattungssystem an bewölktem Tag mit gelegentlichem Sonnenschein für eine niedrige Einschaltzeit der Beleuchtung sorgen kann und dass diese Verhältnisse mindestens ebenso wichtig sind wie das Verhalten bei Sonnenschein.

Die vier gemessenen Systeme sind:

- Referenzfall
- Mikrojalousie und Lichtschwert
- Mikrojalousie
- Beschattungslamellen und Lichtleiter

Für diese vier Systeme wird jeweils die Bewertung in Form der Tageslichtsignatur gegeben, wobei die einzelnen Einflussfaktoren auf die Tageslichtsignatur fallspezifisch kommentiert werden. Aus den Messungen kann mit Extrapolationen der Einfluss von einzelnen Komponenten wie Lichtschwert oder Lichtleiter abgeleitet werden, so dass ihr Beitrag beurteilt werden kann.

Am Ende jeder Systembeschreibung werden Zukunftsperspektiven aufgezeigt, d.h. Entwicklungsmöglichkeiten auf Grund der Messresultate.

Es ist zu bemerken, dass im Vergleich zum ausführlichen Messbericht im Anhang hier nur die wichtigsten Fälle bewertet werden. In einigen Fällen konnten die Resultate durch die Berücksichtigung und den Vergleich mehrerer Messungen ermittelt werden.



### 3.2 Tageslichtsignatur

Die Tageslichtsignatur entspricht dem Kernziel integraler Planung: eine Gesamtlösung ist nur dann gut, wenn alle relevanten Faktoren gut gelöst sind, (d.h. die integrale Planung ist nicht die Frage einer Addition  $2+3+4$ , sondern eine Frage der Multiplikation  $2 \times 3 \times 4$  resp.  $2 \times 3 \times 0$ ). Als Hauptaspekt für die Tageslichtsignatur haben wir die effektive, d.h. in der Praxis vorkommende Tageslichtautonomie gewählt (Korrekturen gegenüber theoretischem Wert: 3.3).

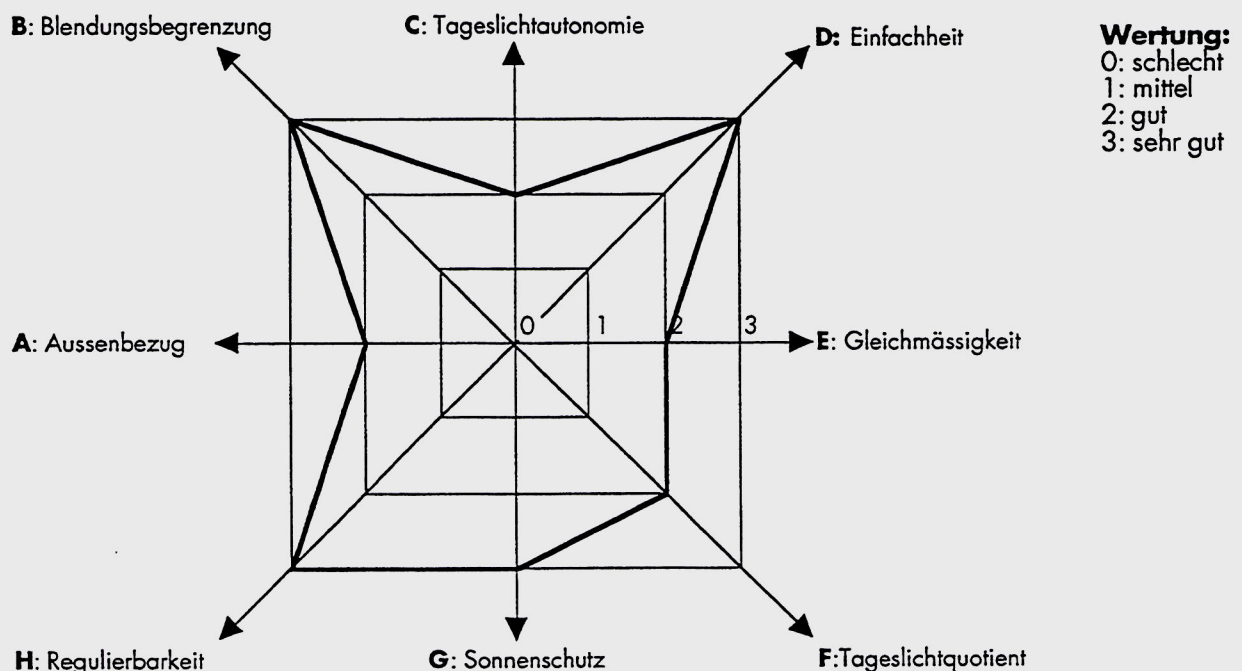
Die Tageslichtsignatur dient zur Beurteilung eines Arbeitsplatzes bezüglich Tageslichtqualität und Tageslichtmenge und deren Verteilung im Raum. Mitberücksichtigt werden auch weitere Aspekte wie Aussicht, chromatische Verschiebungen bei der Transmission im Fassadenbereich, die Sonnenschutzfunktion sowie der technisch-finanzielle Aufwand, der für Bau und Betrieb einer Lösung notwendig ist. Die grafische Gesamtbewertung berücksichtigt die acht wichtigsten Faktoren:

**Ein Arbeitsplatz wird nur dann als sehr gut bezüglich Tageslicht bewertet, wenn die Tageslichtautonomie als Hauptaspekt sehr gut ist und alle anderen Faktoren mindestens gut (besser sehr gut) gelöst sind.**

Die einzelnen Aspekte sind zum Teil quantifizierbar, teilweise dienen Referenzfälle zur Bewertung.

Die Tageslichtsignatur basiert auf ersten Erkenntnissen des Diane Projektes "Tageslichtnutzung" und wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes zielgerichtet weiterentwickelt.

Damit kann die Tageslichtsignatur als ein schlüssiges, leicht verständliches Darstellungsinstrument zur Charakterisierung des thermischen und visuellen Komforts am Arbeitsplatz betrachtet werden.



**Die Tageslichtsignatur ist ein Beurteilungshilfsmittel im Sinne einer graphischen Gesamtbewertung für typische Tageslichtnutzungs-Situationen hinter einer bestimmten Fassade am Arbeitsplatz. Die Gesamtbewertung gilt als sehr gut, wenn die Tageslicht-Autonomie sehr gut ist (3) und alle anderen gut (2) sind. Gut ist, wenn die Tageslichtautonomie gut ist (2) und alle anderen mindestens 2 sind. Mittel (1): alle übrigen Fälle.**



Die Aspekte der Tageslichtsignatur sind:

### Aussenbezug

---

- Sehr gut: Aussicht ist aus fensterseitiger Raumhälfte zu Himmel und Horizont im unbeschatteten Zustand auf 80 bis 100 % der Raumbreite möglich. Es treten keine Farbveränderungen durch Sonnenschutz, Gläser etc. auf.
- Gut: Aussicht ist aus fensterseitiger Raumhälfte zu Himmel und Horizont im unbeschatteten Zustand auf 50 % der Raumbreite möglich. Es treten minimale, d.h. kaum wahrnehmbare Farbveränderungen durch Sonnenschutz, Gläser etc. auf.

### Blendungsbegrenzung

---

- Sehr gut: Im Blickfeld eines EDV-Arbeitsplatzes treten keine Leuchtdichten über 400 cd/m<sup>2</sup> auf (z.B. Indirektbeleuchtung). Ein sehr guter Blendschutz ist individuell und lokal, das heisst er deckt nur den Anteil des Fensters ab, welcher Blendschutz erfordert oder er ist im Raum frei drehbar aufgestellt.
- Gut: Leuchtdichten im Blickfeld < 400 cd/m<sup>2</sup>. Blendschutz ist aber nicht lokal d.h nicht arbeitsplatzorientiert.

### Tageslichtautonomie (kein Kunstlicht eingeschaltet)

---

- Sehr gut: Effektive Tageslichtautonomie 1) > 75 %. Theoretische Autonomie > 50 % bei D > 3 %. Für Büros (max. Raumtiefe: 6 m) mit Nutzungsdauer von 2'750 Stunden/Jahr entspricht dies einer Einschaltzeit der Beleuchtung < 690 Stunden/Jahr. Bei Schulen (Nutzungsdauer: 1'200 Stunden/Jahr) max. Kunstlichteinsatz < 300 Stunden/Jahr bei Sollwert von 300 Lux Horizontalbeleuchtungsstärke auf Nutzebene.
- Gut: Effektive Tageslichtautonomie > 60 %. Theoretische Autonomie > 40 %. In Büros: < 1'100 Stunden/Jahr Einschaltzeit in 6 m Raumtiefe. Bei Schulen: < 480 Stunden/Jahr.

### Einfachheit

---

- Sehr gut: Einfache Systeme haben keine beweglichen Teile für die Tageslichtführung und sind leicht zu reinigen.
- Gut: Systeme bei denen die Fehlerquellen der Bedienung weitgehend systembedingt oder regeltechnisch ausgeschaltet sind, auch wenn bewegliche Teile vorhanden sind und Reinigungsaufwand erforderlich sein kann. Zusatzinvestition für Tageslichtnutzung (max. ca. 3'000 Fr. pro Arbeitsplatz mit einer Amortisation von weniger als 0.3% der Lohnkosten).

### Gleichmässigkeit

---

- Sehr gut: < 2 (d.h. durchschnittlicher Tageslichtquotient im Raum / minimaler Tageslichtquotient, z.B. hinten) oder besondere Raumatmosphäre (z.B. durch zweiseitige Beleuchtung).
- Gut: Gleichmässigkeit von < 3.0.

### Tageslichtquotient

---

- Sehr gut: > 3% bezogen auf die horizontale Aussenbeleuchtungsstärke gemessen auf Arbeitsebene in 4 m Tiefe vom Fenster entfernt.
- Gut: > 2% bezogen auf die horizontale Aussenbeleuchtungsstärke gemessen auf Arbeitsebene in 4 m Tiefe

### Sonnenschutz

---

- Sehr gut: Ein System, welches die Sonnenschutzkriterien erfüllt, das heisst  $g < 0.15$  (oder  $< 0.2$  und besondere Massnahmen zur Senkung der sommerlichen Raumtemperaturen in nicht klimatisierten Räumen z.B erhöhte Gebäudemasse). Im Winter oder in der Übergangszeit ist ein besonderer Betrieb mit Tageslichtpriorität möglich.
- Gut: Eine Lösung mit  $g < 0.2$  und Gleichwertigkeit zu 45° geschlossenen Lamellenstoren (an sonnigen Tagen).

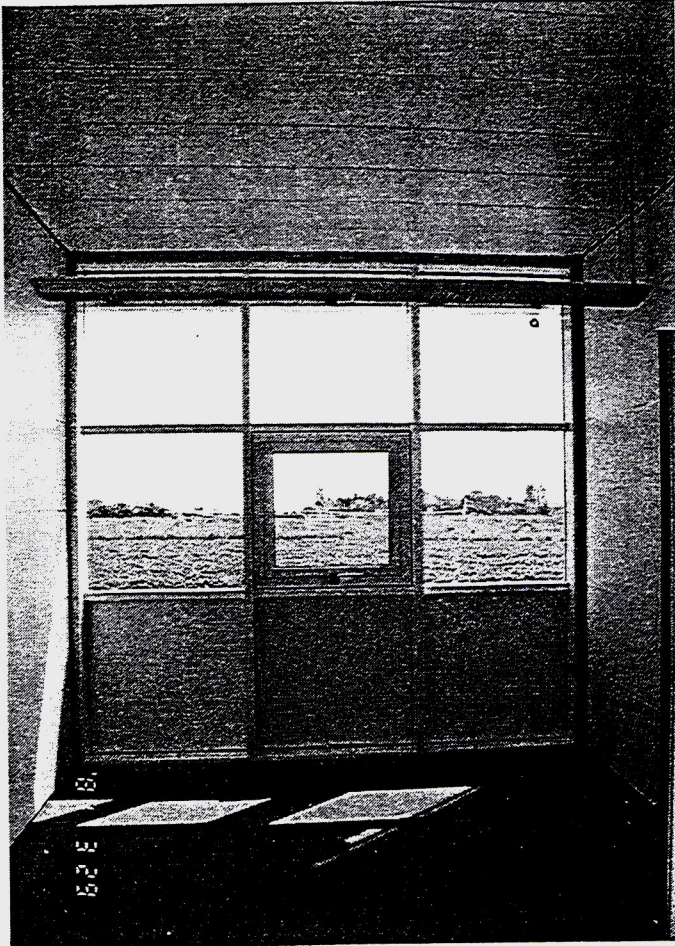
### Regulierbarkeit

---

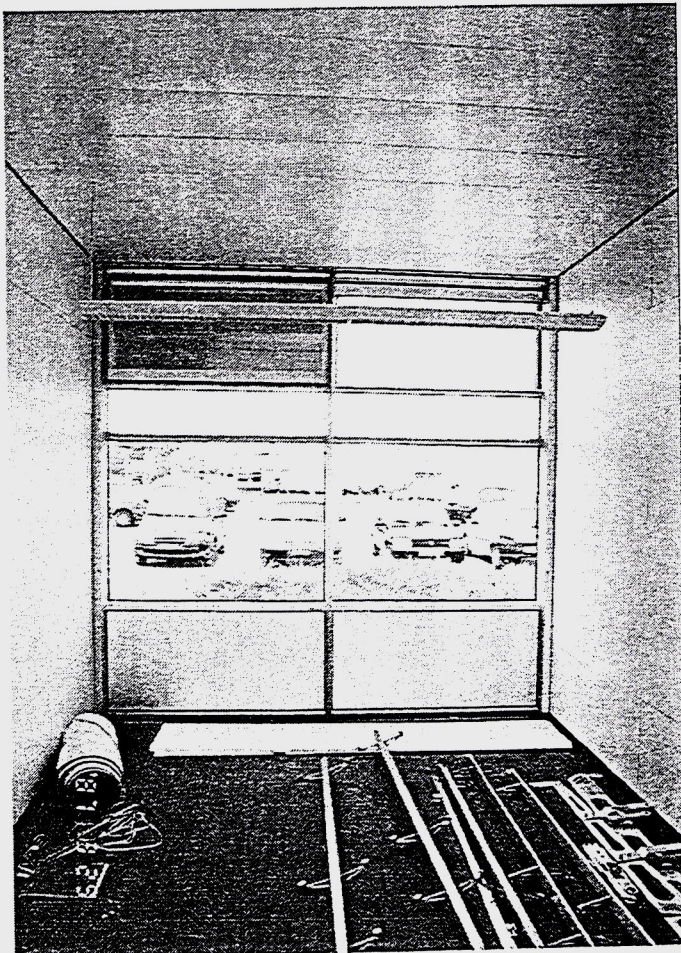
- Sehr gut: Kunstlicht darf an sonnigen Tagen nicht eingeschaltet sein. Systeme, bei denen
  - a) die Fenster an bedeckten Tagen nicht verdeckt sind
  - b) Automatik-Steuerungen oder Massnahmen gegenüber Fehlbedienung im Handbetrieb vorhanden sind
  - c) eine automatische Kunstlichtregelung vorhanden ist (z.B. tageslichtabhängige Storensteuerung und aussenlichtabhängige Kunstlichtregelung).
- Gut: Systeme mit automatischer Kunstlichtregelung.

1) Für Kapitel 3.4 wurden die theoretischen Werte verwendet.





**Die konventionelle Pfosten-Riegelkonstruktion mit 50 mm breiten Pfosten-Riegelprofilen und einem zentralen Öffnungsflügel wurde im Referenz-Container eingebaut.**



**Im Test-Container gelangte ein ebenfalls 50 mm breites "Fischbauchprofil" zur Anwendung, welches mit gekrümmten Flanken und minimaler Schattenflanke filigraner wirkt.**



### 3.3. Tageslichtautonomie

Die Tageslichtautonomie eines Raumes (Anteil der Nutzungszeit ohne Kunstlicht) kann überschlagsmässig gemäss einem Berechnungs-Nomogramm (siehe Abbildung - Referenz 1) berechnet werden. Dabei wird die Tageslichtautonomie bei Annahme eines ganzjährig bedeckten Himmels aus dem Tageslichtquotienten ermittelt. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass bei Tagen mit Sonne ein Sonnenschutz abgesenkt wird und dadurch eine grössere Aussenhelligkeit durch Verschattungseinrichtungen zunichte gemacht wird. Gemäss durchgeführten Messungen ergibt diese Berechnungsart im allgemeinen für die Tageslichtautonomie etwas zu niedrige Werte, da die Annahme für den Sonnenschutzbetrieb zu vereinfachen ist.

Dieses Nomogramm ist eine wertvolle Basis, um daraus die Einschaltzeiten des Kunstlichts in der Praxis zu ermitteln. Mit Hilfe der hier vorgeschlagenen hypothetischen Faktoren kann diese Tageslicht-Autonomie korrigiert werden, wobei die angegebenen Faktoren auf gemessenen Einschaltzeiten nach SIA 380/4 basieren. Für genauere Berechnung wären Simulationsrechnungen erforderlich. Diese, im Rahmen dieser Forschungsarbeit aufgestellte Berechnung gilt für Arbeitsräume mit normaler Büronutzung tagsüber.

Die hypothetischen Kennwerte werden wie folgt definiert bzw. berechnet:

(Einheit)

$$A = (Z_N - Z_{KL}) / Z_N$$

(-)

A: Tageslicht-Autonomie

$$A = (Z_N - Z_{KL}) / Z_N$$

(-)

Z<sub>KL</sub>: Einschaltzeit Kunstlicht

$$Z_{KL} = f_1 * f_2 * Z_B$$

(h/a)

Z<sub>N</sub>: Nutzungszeit z.B. für Bürobetrieb

(7-18 h; 5 Tage pro Woche)

$$Z_N = 2'750 \text{ h/a}$$

(h/a)

Z<sub>B</sub>: Einschaltzeit der künstlichen Beleuchtung unkorrigiert

$$Z_B = Z_N * (1 - A_1)$$

(h/a)

A<sub>1</sub>: Tageslichtautonomie (nach Nomogramm - Referenz 1)

gemäss Nomogramm

(-)

Gültigkeit: Bedeckter Himmel ganzjährig

Variabel: Tageslichtquotient, Beleuchtungsstärke (Einschaltpegel der Beleuchtung)

f<sub>1</sub>: Korrekturfaktor für Beschattung bei Sonne

(-)

Sonnenschutz: weisse Lamellenstoren, Stellung 60° von der Horizontalen

Diese Faktoren beruhen auf einem Vergleich mit SIA 380/4 - andere Beschattungen: aus Messungen zu ermitteln!

f<sub>1</sub> = 0,7 (3 - 5 m ab Fenster)

f<sub>1</sub> = 1,0 (0 - 3 m ab Fenster)

f<sub>2</sub>: Korrekturfaktor für Lichtabschaltung

(-)

f<sub>2</sub> = 1,4 Handbetrieb, mehr als 3 Personen im Raum, aber Z<sub>KL</sub> max = Z<sub>N</sub>

f<sub>2</sub> = 1,3 nicht energiesparender Handbetrieb bei 1, 2 oder 3 Personen im Raum

f<sub>2</sub> = 1,2 üblicher Handbetrieb

f<sub>2</sub> = 1,1 energiesparender Handbetrieb

f<sub>2</sub> = 1,0 automatische Abschaltung der Beleuchtung

f<sub>2</sub> = 0,8 automatische stufenlose Regelung der Beleuchtung



## Berechnungsbeispiel für Büro

<b>Annahmen:</b>	<b>300 Lux Sollbeleuchtungsstärke auf Nutzebene</b>
<b>Bürobelegung:</b>	<b>2 Personen</b>
<b>Sonnenschutz:</b>	<b>Lamellenstoren</b>
<b>Lichtschalter:</b>	<b>Handbetrieb</b>

### Berechnung an einem Arbeitsplatz im hinteren Bereich (back-office):

$D = 2\%$  (4 m vom Fenster entfernt)

$$Z_B = (1 - 0,25) * 2'750 \text{ h/a} = 2'062 \text{ h/a}$$

$$Z_{KL} = f_1 * f_2 * Z_B = 0,7 * 1,2 * 2'062 \text{ h/a} = 1'732 \text{ h/a}$$

$$A = (2'750 - 1'732) \text{ h/a} / 2'750 \text{ h/a} = 0,37$$

### Berechnung an einem Arbeitsplatz im vorderen Bereich (fensternah)

$D = 8\%$  (1 m vom Fenster entfernt)

$$Z_B = (1 - 0,86) * 2'750 \text{ h/a} = 385 \text{ h/a}$$

$$Z_{KL} = f_1 * f_2 * Z_B = 1,0 * 1,2 * 385 \text{ h/a} = 462 \text{ h/a}$$

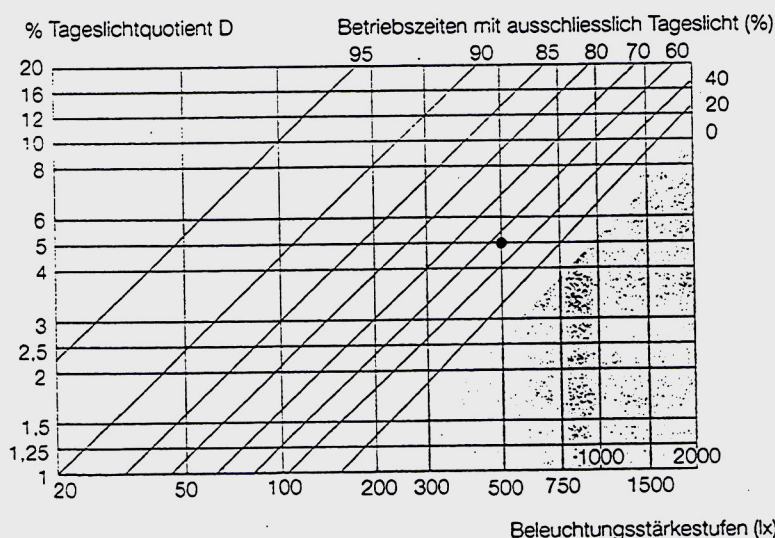
$$A = (2'750 - 462) \text{ h/a} / 2'750 \text{ h/a} = 0,83$$

### Mittelwert für den ganzen Raum:

$(A_{\text{hinten}} + A_{\text{vorne}}) = (0,37 + 0,83) / 2 = 0,6$ . Dies bedeutet, dass während eines "Bürojahres" mit einer Nutzungszeit von 2'750 Betriebsstunden während ca. 1'650 Stunden ohne und während 1'100 mit Kunstlicht gearbeitet würde.

Wenn - wie in der Praxis üblich - hinten und vorne das Kunstlicht gleichzeitig ausgeschaltet wird, verschlechtert sich die mittlere Tageslichtautonomie auf 0,37. Dies bedeutet, dass während eines "Bürojahres" mit einer Nutzungszeit von 2'750 Betriebsstunden während ca. 1'020 Stunden ohne und während 1'730 mit Kunstlicht gearbeitet würde. Der Gewinn einer stufenweisen Schaltung getrennt nach vorderen und hinteren Bereichen würde im vorliegenden Fall immerhin 710 eingesparte Betriebsstunden der entsprechenden Beleuchtung entsprechen.

Da eingeschaltetes Kunstlicht in aller Regel auch gleichbedeutend ist mit unerwünschtem Stromverbrauch, mit Erwärmung und elektromagnetischer sowie ultravioletter Strahlung im Ueberkopfbereich, wird deutlich, wie sorgfältig in Zukunft die Zusammenhänge zwischen Tagesbelichtung und Kunstlicheinsatz geplant werden sollten.

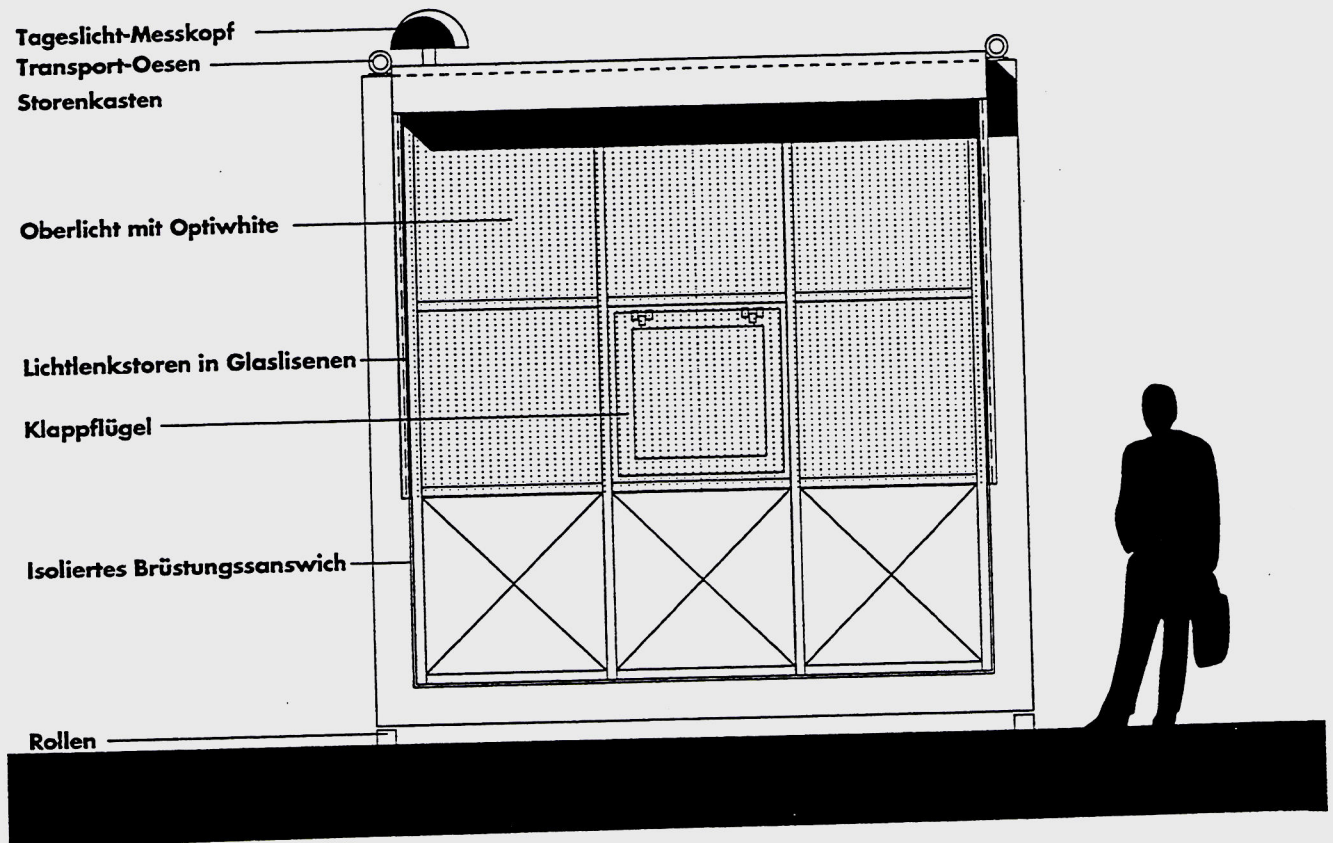


**Referenz 1: "Betriebszeiten mit ausschliesslichem Tageslicht in Abhängigkeit vom Tageslichtquotienten D" (Arbeitszeit im Sommer von 7 bis 17 Uhr, im Winter von 8 bis 18 Uhr) Quelle: "Strom rationell nutzen - umfassendes Grundlagenwissen und praktischer Leitfaden zur rationellen Verwendung von Elektrizität"; Kapitel 1.2 - Tageslichtnutzung; Professor Jean-Louis Scartezzini; S. 15 ff; vdf - Verlag der Fachvereine; Zürich 1992; SEV 89/1/1989**



### 3.4 Messungen und Beurteilung der Systemfunktionalität

#### 3.4.1 Referenzmodul mit Tageslichtlenkstoren



##### A: Aussenbezug: gut (2)

Wenn der Storen nicht abgesenkt ist, besteht ein sehr guter Aussenbezug. Bei teilweise abgesenktem Tageslichtlenkstoren hingegen reicht der untere Fensterbereich (ca. 2/3 der Storenhöhe) nicht, um einen sehr guten Aussenkontakt herzustellen. Es entsteht ein Gefühl von Abgeschlossenheit.

##### B: Blendschutz: mit Blendschutz sehr gut (3)

Im Blickfeld des EDV-Arbeitsplatzes treten am Fenster Leuchtdichten von weit über 400cd/m<sup>2</sup> auf. Die Blendschutzbedingungen sind inakzeptabel; mit einem individuellen Blendschutz am Arbeitsplatz oder ev. an einem Teil des Fensters könnten sehr gute Verhältnisse erreicht werden.

##### C: Tageslichtautonomie: gut (2)

Die Tageslichtautonomie beträgt theoretisch 40 bis 50 %. In der Praxis sind bei energiesparendem Betrieb höhere Werte zu erwarten. Bei falschem Storenbetrieb kann die Tageslichtautonomie 20 % niedriger liegen; bei gutem höher.

##### D: Einfachheit: sehr gut (3)

Das System ist sehr einfach.

##### E: Gleichmässigkeit: gut (2)

Das Verhältnis vom Durchschnittswert zum minimalen Wert beträgt 3.

Bei der Ausrichtung 1 (Richtung Süd, Sonne hoch) und 3 (Richtung West, Sonne tief) werden die Fassaden des Referenz- und des Test-Containers direkt besonnt. Beim Test-Container erfolgt die Beschattung durch die Systemvarianten. Für den Referenz-Container wurde ein Korrekturfaktor für den Abstand von 4m von der Fassade nachträglich ermittelt.

Der gemessene Korrekturfaktor in einem ähnlichen Raum unter annähernd gleichen Bedingungen beträgt 4. Der Faktor ergibt sich aus der gemessenen Beleuchtungsstärke im Raum bei unbeschatteter Fassade (ohne Jalousie) zur beschatteter Fassade (Jalousie, Stellung 30°).



Bei einer Nachkontrolle im Referenz-Container wurde dieser Faktor bestätigt. Die Lamellenstellung bei dieser Messung betrug im oberen Teil 30 ° und im unteren Teil ca. 60 °. Eine zweite Messung bei einer Lamellenstellung von 0 ° (oben) und ca. 30 ° (unten) ergab einen Faktor von 1,5. Für die Auswertung wurden die Werte in der Grafik um den Faktor 4 angepasst, wogegen die Werte in den Tabellen im Anhang den tatsächlich gemessenen Beleuchtungsstärken (ohne Jalousie) entsprechen (siehe auch Anhang "Messungen verschiedener Tageslichtsysteme").

F: Tageslichtquotient: gut (2)

Der Tageslichtquotient schwankt je nach Bewölkungsgrad des Himmels zwischen 2.5% und 3%, liegt also zwischen gut und sehr gut. Als Vergleich: im Referenzraum DIANE in Zürich war der Tageslichtquotient im guten Musterraum ca 1.5%. Die guten Verhältnisse im Modul sind auf die grosse Raumhöhe, die gute Fenstergestaltung, helle Farben und unverbaute Lage zurückzuführen. Im diesem Sinne handelt es sich beim Referenzfall um eine sehr einfache aber doch sehr gute Lösung für einen Raum mit 2 Arbeitsplatzreihen.

G: Sonnenschutz: sehr gut (3)

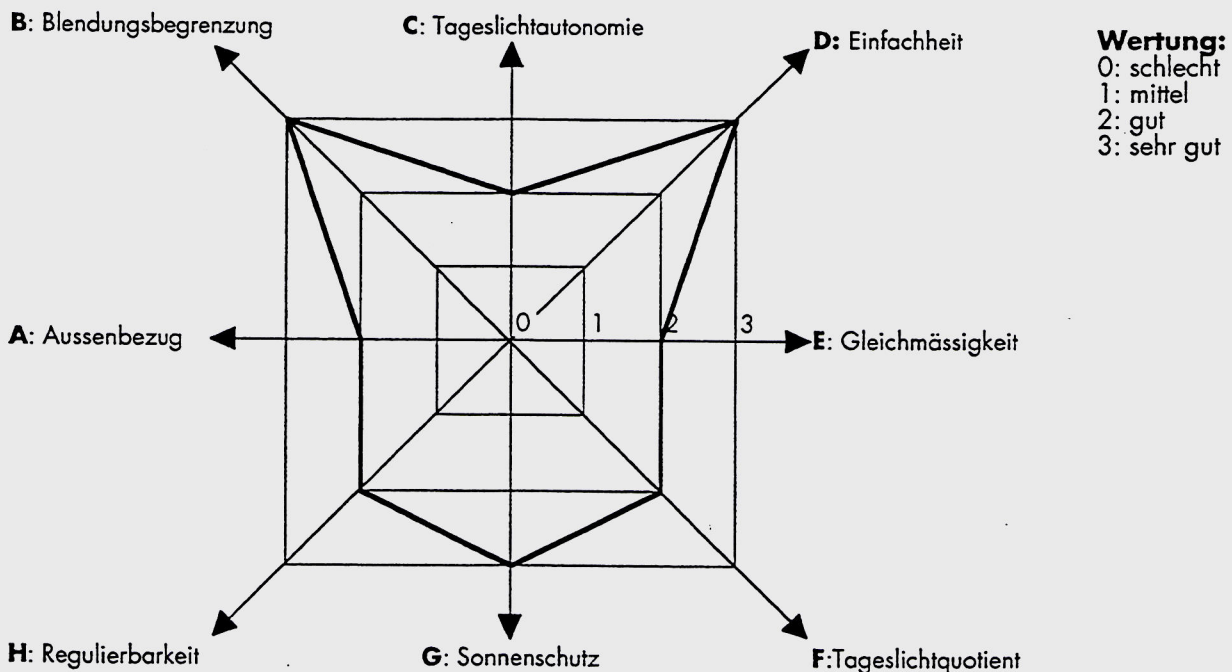
Der lichtlenkende Lamellenstoren kann als "state of the art" bezeichnet werden: der g-Wert von 0.15 erfüllt auch Anforderungen moderner Energiegesetze und dies selbst dann, wenn das obere Drittel zur Tageslichtumlenkung mindestens 45 ° geöffnet wird. Im Normalfall werden die unteren zwei Drittel stärker geschlossen, damit ein Bildschirmarbeitsplatz frei von störenden "Zebrastrahlen" bleibt (bei einem normalen Lamellenstoren sind die Lamellen in Beschattungsstellung ca. 45 ° aus der Horizontalen gestellt). Im vorliegenden Fall wurde der Storenkasten so hoch wie möglich montiert und der Storen seitlich mit Glasisenen geführt, was der Konstruktion überdurchschnittliche Transparenz verleiht.

H: Regelbarkeit: gut (2)

In den Modulen ist eine automatische Lichtregelung vorhanden. Das Fenster ist an bedeckten Tagen nicht verdeckt, das System ist sehr gut. Ueberzeugend ist die Storenregulierung über das Lichtmanagement gelöst: der Storen kann mittels IR-Fernbedienung abgesenkt und gewippt werden. Ueber den vorhandenen Feldbus könnte in Zukunft eine gesamtintelligente "ambiance lumineuse" geregelt werden, sofern eine entsprechende Software eingesetzt ist. Die Schnittstellen zum Tageslichtmesskopf ist vorhanden, welcher beurteilen kann, ob Sonne vorhanden ist oder nicht.

Gesamtbeurteilung (mit lokalem Blendschutz): gut (2)

In allen folgenden Fällen wird jeweils eine Arbeitsplatz von 4m Abstand vom Fenster für den immer gleichen Raum bewertet. Besondere Messungen zeigten den Einfluss der Aussenstoren: in 4m Tiefe beträgt der Verlust an Helligkeit in Sonnenschutzstellung (ca. 60° vom Horizontalen) einen Faktor 4! Daraus ist ersichtlich, dass der Hauptaspekt dieses Systems ist, die Aussenjalousien wirklich nur dann wenn erforderlich als Sonnenschutz zu benützen. Dies kann sowohl mit energiebewusstem Handbetrieb oder mit einer sehr intelligenten Storensteuerung erreicht werden (Tageslicht- oder Temperaturpriorität, Winter, Sommer).

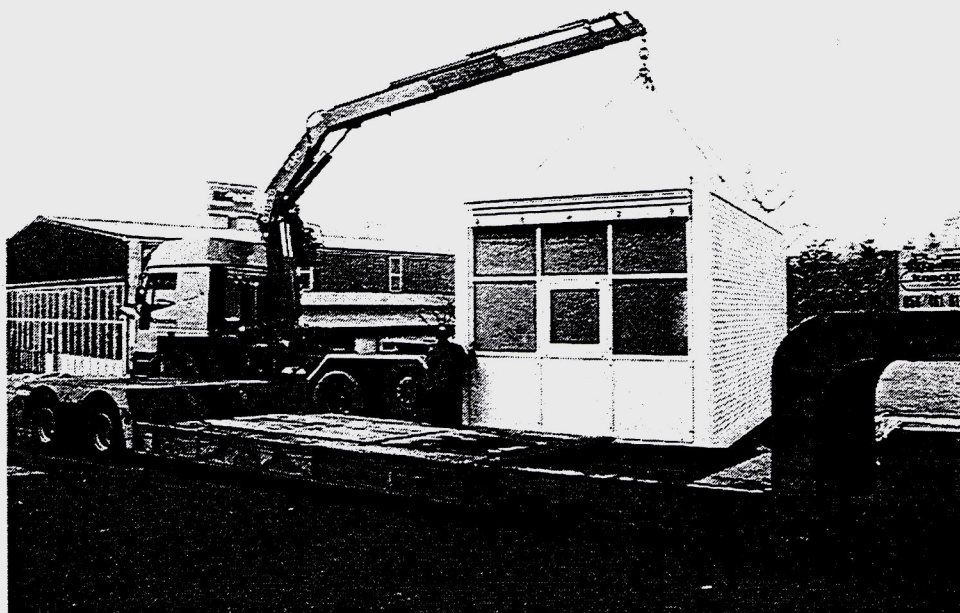




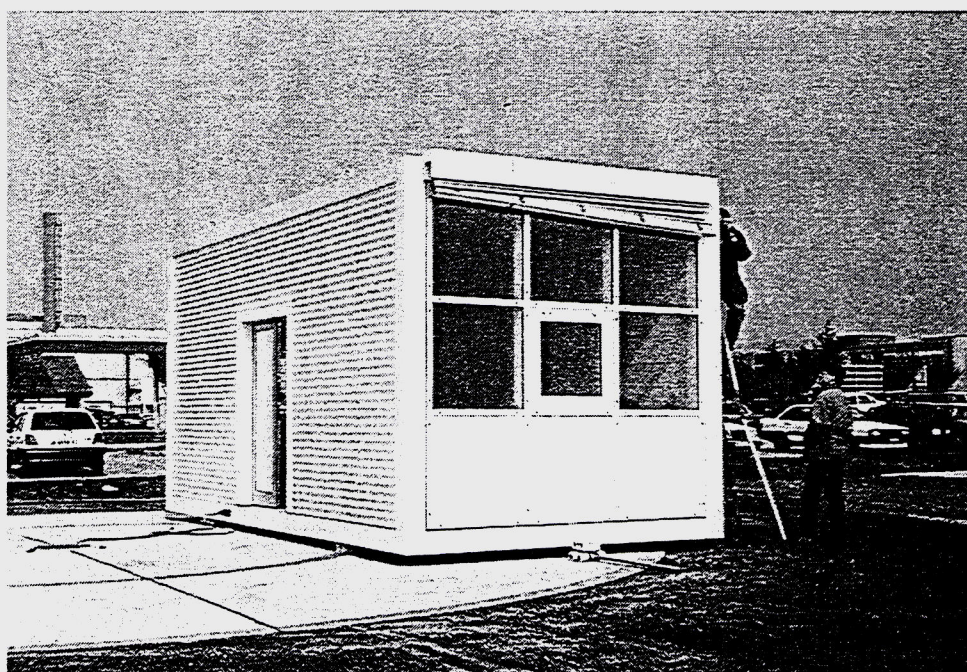
## Luxwerte 4 m ab Fassade

Messzustand	Menge	Referenzmodul	Bemerkung
Ohne Sonnenschutz, Sonne auf Fassade	S 2b*	2536	bei 100'000 Lux Ea
Mit Sonnenschutz, ohne Sonne auf Fassade	S 2b	634	bei 100'000 Lux Ea
Bewölkt	N 2b	2.5 bis 3 %	Tageslichtquotient

\* Wert korrigiert



*Das Referenzmodul wurde mittels Spezialtieflader nach Lausanne transportiert ...*

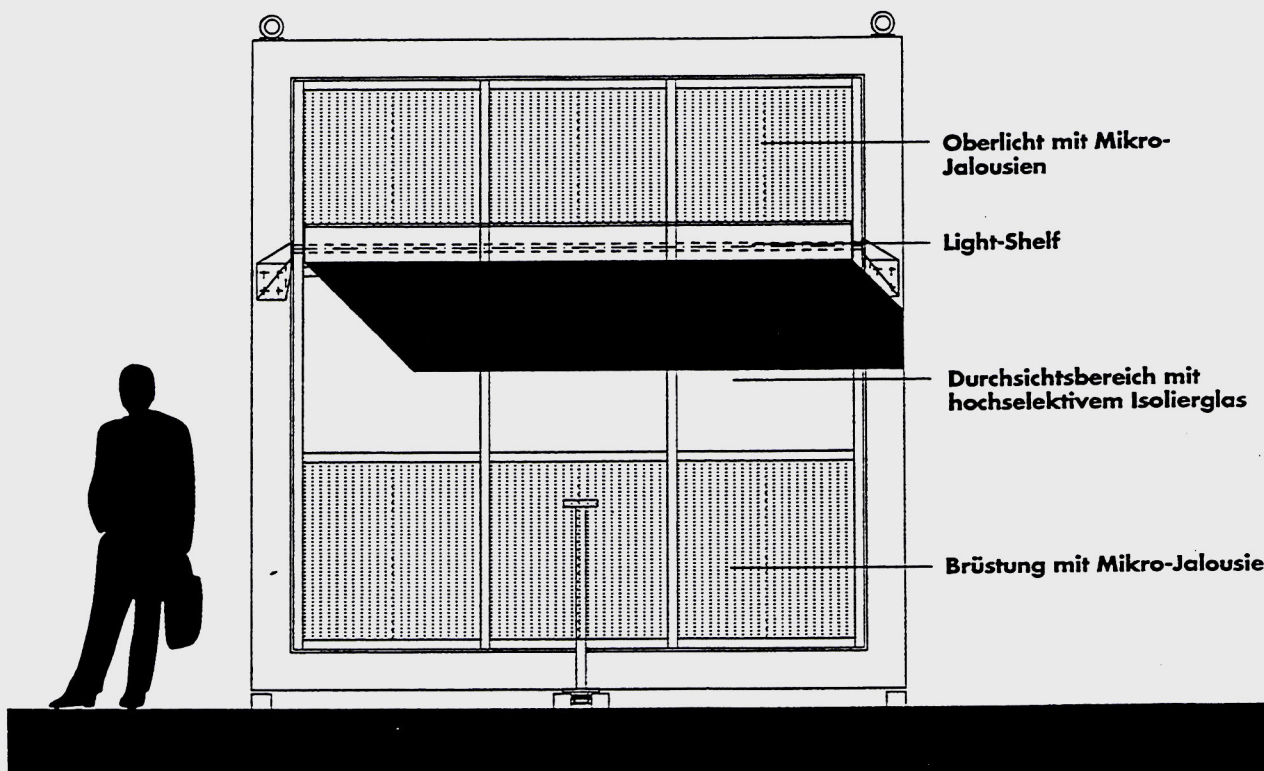


*... und dort auf einer vorbereiteten Messplattform in der Nähe des LESO-PB drehbar aufgestellt.*



### 3.4.2 Mikrojalousie mit Light-Shelf

Die Mikrojalousien sind zwischen zwei Glasscheiben eingebaut. Mit einem Schieber kann der Lamellenwinkel verstellt werden. Das Lichtschwert ist in der Stellung von  $20^\circ$  zur Horizontalen installiert. Das System eignet sich besonders bei Umbauten, wo Aussenjalousien nicht möglich sind, für grosse Hallen, für Räume mit Fenster ohne Brüstung und besondere Raumatmosphäre (angenehme Blendschutzeigenschaften, Lichteinfall auch von unten). Das System könnte noch mit einer besonderen Jalousienform, einfacherer Handbedienung und bei Bedarf Automatisierung verbessert werden.



#### A: Aussenbezug: gut (2)

Der Aussenbezug ist durch die Lamellen etwas weniger gut als bei Klarglas, im Testmodul wurde deshalb bei den Fenstern in Sichthöhe auf die Lamellen verzichtet. Dies ist aus Gründen des Sonnenschutzes nur in dieser besonderen Kombination mit dem Lichtschwert und in südlicher Lage zulässig.

#### B: Blendschutz: gut (2)

Der Blendschutz ist besser an bedecktem Tag als im Referenzfall. Sinnvollerweise wären auch hier noch lokale Blendschutzeinrichtungen erforderlich, wenngleich die Mikro-Jalousie im Isolierglasverbund von Hand oder elektromotorisch reguliert und somit die Lichtmenge reguliert werden kann. Blendungsprobleme können auftreten, wenn die Isolierglas-Jalousie mit brossierter Natur-aluoberfläche eingesetzt werden.

#### C: Tageslichtautonomie: gut (2)

Die nach Referenz 1 ermittelte theoretische Tageslichtautonomie beträgt 40 bis 50 % und ist gut.

#### D: Einfachheit: gut (2)

Durch die Zusatzkosten und den bescheidenen Reinigungsaufwand für das Lichtschwert kann die Einfachheit nicht als sehr gut sondern nur als gut bewertet werden. Das System funktioniert nur mit einer automatischen Steuerung der Mikrojalousie (die als Option erhältlich ist aber im vorliegenden Fall nicht eingebaut worden war) über das Lichtschwert so gut, wie bei Tageslichtautonomie angenommen worden ist. Die optimale Regelung würde also das System verteuern.

#### E: Gleichmässigkeit: sehr gut (3)

Die Gleichmässigkeit ist mit 2:1 besser als im Referenzfall, auch die Raumatmosphäre ist viel angenehmer. Diese Verbesserung ist in der Hauptsache auf das Light-Shelf bei der Gleichmässigkeit und auf die Beschattungsfunktion durch die Mikrojalousie bei der Raumatmosphäre zurückzuführen (das Light-Shelf verlagert die in Fensternähe hohen Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten etwas zugunsten der tendentiell dunkleren Raumhälfte).



#### F: Tageslichtquotient: gut (2)

Der Tageslichtquotient ist 2.5 bis 3%. An bedeckten Tagen ist die Verbesserung durch das Light-Shelf unwesentlich (max. 10%). Das Lichtschwert sollte auf der Nordseite nicht angewendet werden. Ebenfalls zweifelhaft ist die Anwendung auf der Ost- und Westseite, wo die Beschattungsfunktion nur ungenügend erfüllt werden kann. Der grosse positive Einfluss des Lichtschwertes auf der Südseite ist an bewölkten Tagen mit kurzem Sonnenschein und an Standorten mit häufigen sonnigen Verhältnissen zu sehen. Aus früheren Messungen (im NEFF-Projekt 1985) ist bekannt, dass die gemessene Einschaltzeit unter realistischen Bedingungen über ein Jahr gemessen mit dem Lichtschwert um mindestens 40% reduziert werden konnte. Das in diesem Kapitel beschriebene System würde noch besser funktionieren mit Lichtschwert und Aussenjalousie über dem Lichtschwert, weil dann an bedeckten Tagen keine Abdeckung vorhanden wäre.

#### G: Sonnenschutz: gut (2) je nach Öffnungsstellung nur mittel (1)

Der g-Wert ist bei Mikro-Jalousien oeffnungsabhängig: in geöffneter Jalousiestellung (0°) liegt er über 0.7, in halboffener Stellung (45°) über 0.46 und bei geschlossener Stellung (90°) bei 0.19. Nach den Messungen treten bei den verschiedenen Stellungen (offen bis fast geschlossen) der Mikrojalousie keine markanten Lichteinbussen ein. Dies ist gegenüber traditionellen Aussenstoren ein Vorteil (Grösse der Jalousien, andere Form). Dieser Wert gilt für eine Südfassade mit Light-Shelf. Die in der Verglasung integrierte Mikro-Jalousie kann eine Uebererwärmung verursachen.

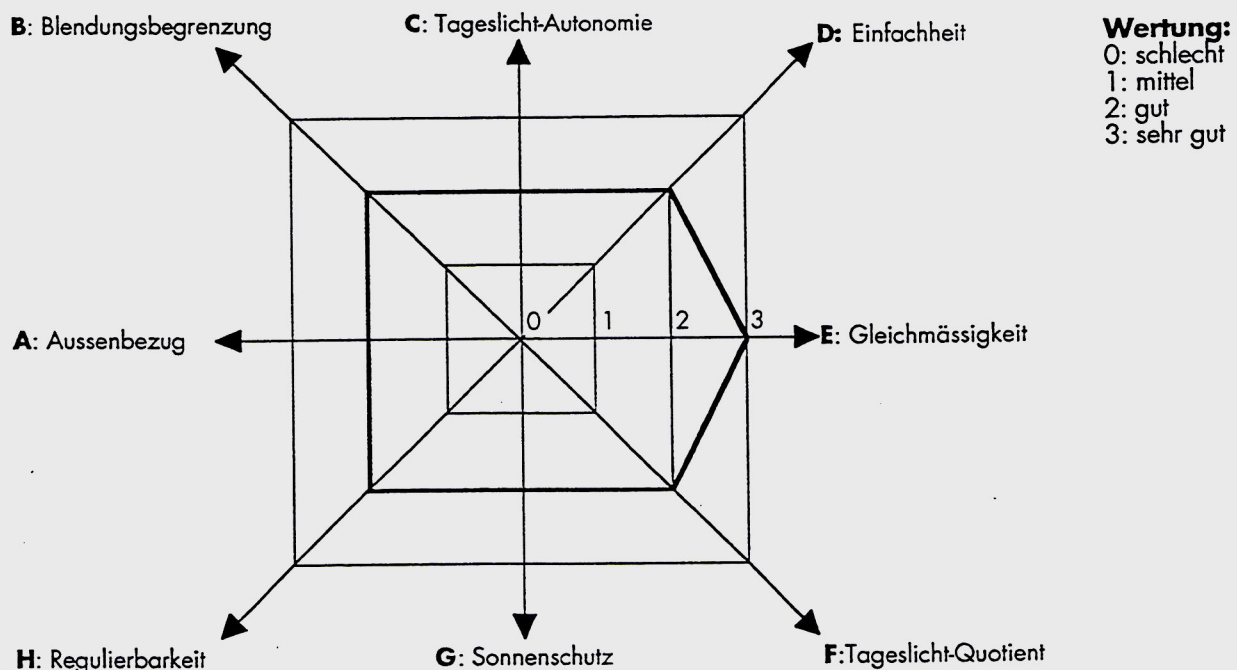
#### H: Regelbarkeit: gut (2) ev. mittel (1)

Eine automatische Regelung verbessert das System wesentlich, da erfahrungsgemäss graduelle Veränderungen des Winkels im Handbetrieb nicht wahrgenommen werden. Im Gegensatz dazu erfolgt die Auf- und Abbedienung der Aussenstoren im Normalfall bei energiebewusstem Handbetrieb zufriedenstellend, was allerdings viele Bedienungsstellungen der Mikro-Jalousie bedeutet.

#### Gesamtbeurteilung (mit Blendschutz): gut (2)

Am sonnigen Tag beträgt die Verbesserung durch das Lichtschwert 80%. Mit einer guten Beschattung muss jedoch sichergestellt werden, dass trotz dieser Verbesserung keine erhöhten Wärmelasten im Sommer auftreten. Am wesentlichsten sind jedoch die Verbesserungen beim bewölkten Himmel mit Sonnenschein. Hier können besonders im Winter, wo die Raumtemperaturen weniger kritisch sind und die Lichtverhältnisse schwieriger, ganz markante Verbesserungen erzielt werden. Die Verbesserung durch das Lichtschwert ist grösser in einer verbauten Lage. Der Installationswinkel ist dieser Lage anzupassen.

Das System ist auch ohne Lichtschwert denkbar. Besonders bei Ost-, West- und Nordorientierung könnte die ganze Fensterfläche mit Mikrojalousien ausgefüllt werden (z.B. bei Treppenhäusern, EDV-Räumen oder Diskretionsräumen, wo trotz dem Wunsch nach Tageslicht und Sonnenschutz ein Einblick von aussen unerwünscht ist). Die gewählten Fischbauchprofile ergeben zusammen mit den Fischbauchprofilen eine optimale Raumatmosfera.





## Luxwerte 4 m ab Fassade

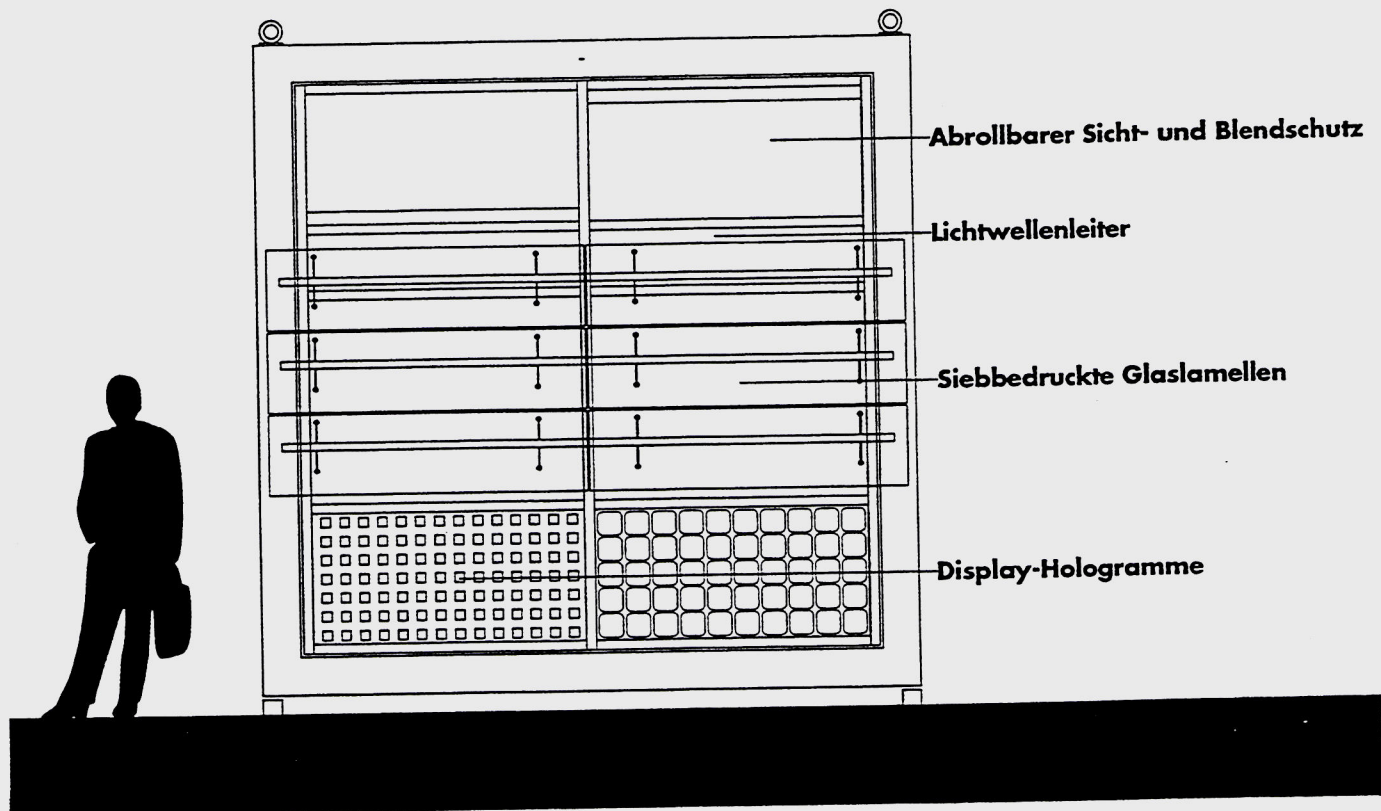
Messzustand	Orientierung	Referenzmodul	Testmodul	Bemerkung
Ohne Sonnenschutz, Sonne auf Fassade	Süd	1910	2660	bei 100'000 Lux Ea
Mit Sonnenschutz, Sonne auf Fassade	Süd	500	1980	bei 100'000 Lux Ea
Bewölkt, Stellung Lichtlenkung	Nord	2.5 bis 3 %	2.5 bis 3 %	Tageslichtquotient



Am oberen Bildrand sichtbar ist die Lichtumlenkung zur Decke durch den kumulativen Effekt von Light-Shelf und konvex-konkav geformten Mikro-Jalousien. Das Light-Shelf wird übrigens aus normaler Stehhöhe von innen überhaupt nicht wahrgenommen. Die Lösung kommt damit dem Wunsch nach optimaler Beschattung, kaum gehinderter Sicht nach draussen, hoher Tageslichtautonomie und Entblendung heller Lateralfächen weitestgehend entgegen. Diese interessante Kombination aussenliegender Lichtlenkung und Beschattung wurde mit gutem Erfolg parallel zum NEFF-Container an einem Pilotzimmer einer Schule in Lenzburg installiert. Sie wird jetzt im Rahmen einer Schulhaussanierung in allen 25 Schulzimmern ausgeführt.



### 3.4.3 Beschattungslamellen und Lichtwellenleiter



Der obere Teil des Fensters kann bei Sonne mit einem Sonnenschutz-Rollo (Agero-Folie) beschattet werden. Aus Gründen der Einfachheit wäre es wünschbar, auf eine separate Oberlichtbeschattung zu verzichten. Damit müsste aber der Lichtwellenleiter an die Decke gesetzt werden und sein Vorteil bezüglich der Lichtumlenkung in mittlere Raumtiefen würde nicht mehr funktionieren. Lichtwellenleiter erfüllen ihre Funktion nur bei Besonnung und sind deshalb auf der Nordseite nicht sinnvoll. Wie aus den Messungen ersichtlich, ist deren Wirkung wesentlich kleiner als die des Lichtschwertes, dafür ist aber auch der Einbau viel einfacher und bei Umbauten problemlos möglich. Wir halten es für möglich, dass die geometrische Ausbildung des Lichtwellenleiters, der in unserem Fall in einer vorindustriellen, kostspieligen Einzelanfertigung mit CO<sub>2</sub>-gelasener Sinuswelle gefertigt wurde, noch wesentlich verbessert, d.h. miniaturisiert werden kann und dass gleichzeitig der Aussenbezug durch den Lichtwellenleiter verbessert wird.

Noch sind siebbedruckte Beschattungslamellen eine kostspielige Lösung. Bei sinkenden Preisen für Glas, günstigeren Glasbeschichtungen (emailierte, serigraphierte oder folienbeschichtete Gläser) und vereinfachten Aufhänge- sowie Nachführkonstruktionen werden diese "Sekundärfassaden" nicht mehr unerschwinglich sein. Insbesondere dann, wenn aus konstruktiven oder Fluchtweggründen ein Wartungsbalkon mit Lisenenkonstruktionen bereits vorhanden ist (vergleiche spektakuläre Projekte, wie z.B. das Mercedes-Gebäude von Renzo Piano am Potsdamer Platz in Berlin, ausgeführt durch die Schweizer Firma Colt Solar Technologies AG, die ebenfalls die Konstruktion für den NEFF-Container geliefert hatte).

Gläserne Beschattungslamellen können vorzüglich automatisiert werden. Wenn statt serigraphischer Beschichtungen eine transluzide Folie in einem Verbundsicherheitsglas eingebettet wird, gewährleisten derartige Konstruktionen bei ähnlichen Transmissionseigenschaften gegenüber sichtbarem Licht sogar noch einen zusätzlichen Schutz vor ultravioletter Strahlung. Sie kämen daher insbesondere bei Museen, Bibliotheken und in Höhen über 600 M.ü.M. in Frage, wo besonderer UV-Schutz unabdingbar ist. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden derartige "UV-Schutz-Lamellen" zusätzlich zu den "Siebdruck-Lamellen" montiert.

Die im Brüstungsbereich eingelassenen Display-Hologramme zeigen die Möglichkeiten der spektral selektiven Totalreflexion: damit ist es möglich, bestimmte Farben aus bestimmten Winkeln zu reflektieren, da die Display-Hologramme - je nach Belichtung - 2 % des aufgestrahlten Sonnenlichtes in der für sie definierten Wellenlänge zurücksenden. Dieser Effekt wurde in den geschlossenen Brüstungen des Referenz-Containers ebenfalls anschaulich gezeigt.



A: Aussenbezug: gut ohne Sonnenschutz (2)

Der Aussenbezug ist bei Sonne durch die Agero-Folien und Beschattungslamellen etwas eingeschränkt.

B: Blendschutz: mit lokalem Blendschutz gut (2)

Der Blendschutz ist gut.

C: Tageslichtautonomie: gut (2)

Die nach Referenz 1 ermittelte theoretische Tageslichtautonomie ist 40 bis 50 %. Sie ist vergleichbar mit dem Referenzfall.

D: Einfachheit: mittel (1)

Das System hat hohe Zusatzinvestitionen, im Betrieb sollten jedoch Fehlerquellen bei der Bedienung weitgehend ausgeschlossen werden können.

E: Gleichmässigkeit: gut (2)

Die Gleichmässigkeit ist etwas höher als im Referenzfall. Einerseits dämpft die Siebbedruckung die Tageslichtverhältnisse in der vorderen Raumhälfte. Andererseits lenken Lichtwellenleiter direktes Sonnenlicht tatsächlich zur Decke.

F: Tageslichtquotient: gut (2)

Der Tageslichtquotient beträgt 2.5 bis 3 % in Position Lichtlenkung und ist bei Sonne etwas besser als der Referenzfall.

G: Sonnenschutz: mittel (1)

Der g-Wert liegt bei 50 %-iger Siebbedruckung in Kombination mit Grünglas und hochselektiven Isoliergläsern bestenfalls bei 0.25 und bei Lichtwellenleitern über 0.25.

H: Regelbarkeit: mittel (1)

Das System ist nicht gut regelbar, da verschiedene Subsysteme sonnenstandsgerecht positioniert werden müssen.

Gesamtbeurteilung: mittel (1)

Noch sind derartige Lösungen näher bei einer architektonischen Aussage denn bei einem energetischen "must". Wo es allerdings gelingt, die siebbedruckten Gläser wie einen zarten Schleier über die Fassade zu werfen und dabei die Aufhängepunkte und -konstruktionen zu minimieren, können architektonisch ansprechende Sekundärhüllen entstehen.

Es sind Entwicklungen im Gange, Lichtleiter verarbeitungstechnisch und energetisch zu optimieren. Somit könnte auf aufwendige Beschattungssysteme im hochgesetzten Seitenfenster verzichtet werden.

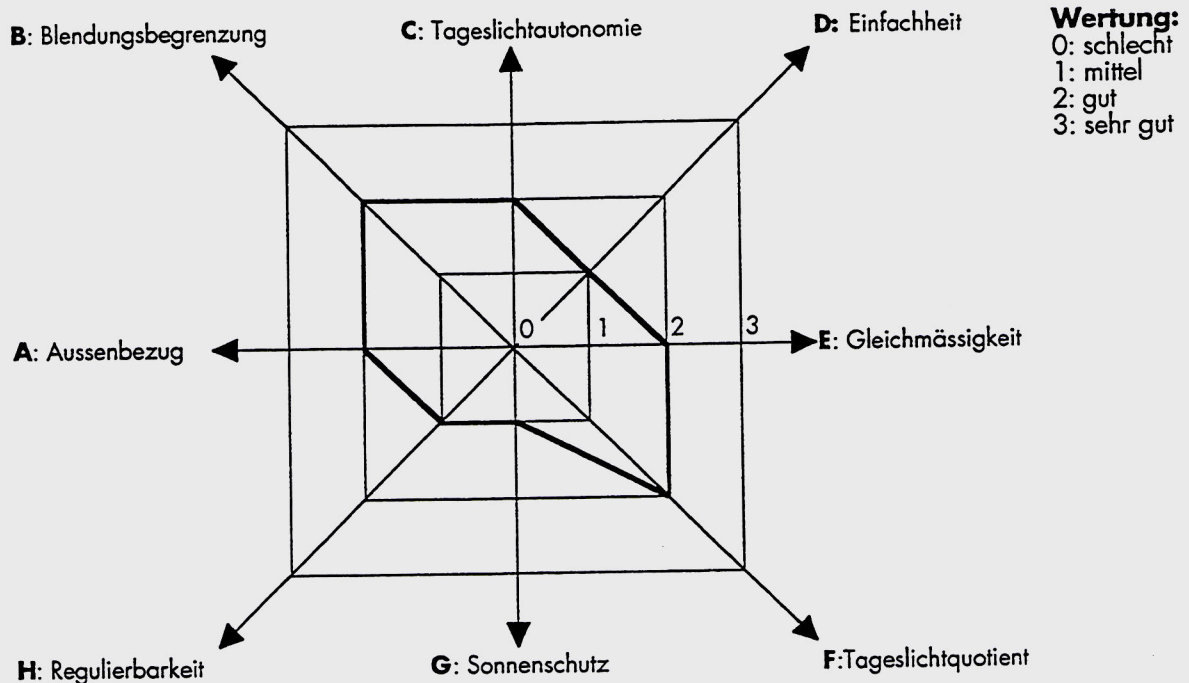
Bei alledem sollten jedoch folgende Gesichtspunkte nicht übersehen werden:

- Gläser verschmutzen in heutiger Umwelt rasch. Deren periodische Reinigung kann exorbitante Ausmasse annehmen (ca. Fr. 8.00/m<sup>2</sup>/Jahr/Glasebene).
- Bei Antrieben und Lagern ist auf Wartungsfreundlichkeit zu achten. Deren langfristige Zuverlässigkeit - speziell die pannenanfälligen elektromotorischen Antriebe - ist noch kaum überprüft. Zur Zeit befinden sich Hydraulik-Antriebe zur Lamellenverstellung in der Erstanwendung (siehe Gebäude Stadtwerte Winterthur).
- Wenn dereinst thermohydraulische Antriebe für Sekundärfassaden verwirklicht werden könnten, die eine "heliotaktische" Ausrichtung ohne Regeltechnik gewährleisten, dürfte derartigen Konstruktionen der definitive Marktdurchbruch gelingen.

**Luxwerte 4 m ab Fassade**

<u>Messzustand</u>	<u>Orientierung</u>	<u>Referenzmodul</u>	<u>Testmodul</u>	<u>Bemerkung</u>
Ohne Sonnenschutz, Sonne auf Fassade*	Süd	nicht gemessen	nicht gemessen	
Mit Sonnenschutz, ohne Sonne auf Fassade	Süd	2261	2514	bei 100'000 Lux Ea
Bewölkt	Nord	ca. 2.5 - 3.0 %	ca. 2.5 - 3.0 %	Tageslichtquotient





#### 4. Schlussfolgerungen

- Für eine Feinoptimierung von Systemen ist die Messung im Masstab 1:1 (Realität) unerlässlich. Dabei ist immer eine Gesamtbewertung in Form der Tageslichtsignatur und nicht nur des Tageslichtquotienten) vorzunehmen.
- Die sinnvolle Kombination von Komponenten kann in den Modulen 1:1 sehr gut ermittelt werden. So kann z.B. der positive Einfluss eines Lichtschwerts durch eine darüberliegende Beschattung zunichte gemacht werden.
- Bei Systemen, wo aus Bequemlichkeit Betriebsfehler auftreten können, z.B. Mikrojalousie-Stellung, sollte womöglich automatisiert werden. Deren langfristige Funktionstauglichkeit ist zu testen (10 Jahre).
- Bei bedecktem Himmel sind die gemessenen Systeme ziemlich gleichwertig. Der Tageslichtquotient ist mit 2.5 bis 3.0 % in Nutzebene auf 4 m Raumtiefe recht gut. Dies wird stark durch die gewählte helle Photometrie des Innenraumes sowie dessen gute Geometrie (hoher Raum mit grossem Nettoglaslichtanteil) unterstützt.
- In besonntem Zustand sind die Systeme Mikrojalousie mit Light-Shelf oder Lichtwellenleiter wesentlich besser als der Referenzfall. Bezüglich Blendschutz sollten diese Systeme noch verbessert werden.
- Auf der Südseite hat der Lichtbalken eine wesentliche Verbesserung gebracht bei sonnigem Wetter.

Wir hoffen, dass mit und an den Modulen, die wir der Industrie, den Bauherren und Architekten zur Verfügung gestellt haben, weitere innovative Fassadensysteme getestet werden können. Wir denken dabei etwa an:

- Neue Generationen von lichtleitenden Aussenstoren mit gutem Aussenbezug und hellen Decken auch bei vollständiger Beschattung.
- Integrierte Fassadensysteme für Südseite mit Lichtschwert.
- Anidolische Systeme für tiefe Räume (> 6m) (in Untersuchung durch Prof. Scartezzini) und in Kombination mit lichtleitenden Decken.
- Weiterentwicklung der Mikrojalousie zur Verbesserung des Aussenbezuges in Sichthöhe (z.B. mikroperforiert).
- Von unten nach oben laufende, aussenliegende Storenkonstruktionen.
- Aussenliegende Sonnenschutzsysteme mit innenliegender Lichtlenkwirkung.
- Elektro- oder photochromatische Gläser, katalytische Gläser.
- Arbeitsplatzorientierte Blendschutzlösungen.



## 5. Umsetzung in die Praxis

Viele der im Laufe der Planung und des Baus der beiden Container angedachten Lösungen fanden ihre konkrete Fortsetzung in der Praxis (siehe auch Liste der Publikationen), objektbezogenen Tageslichtberatungen, industriellen Impulsen, konkreten Projekten sowie weiterführenden Untersuchungen am LESO-PB bzw. neuen Forschungsprojekten des Büros Miloni.

### 5.1 Modulpräsentationen

Während des Baus der Container und vor deren Transport nach Lausanne wurde das Testmodul bei der DIRALSA AG im Büro Miloni rund 50 Fachbauherren, Architekten, Fassadenplanern und interessierten GU's vorgestellt. Die Präsentation war jeweils verbunden mit einer kleinen Informationsveranstaltung sowie einem Apéro. Dabei zeigte es sich, dass das Interesse beim Fachpublikum - nicht zuletzt mit Blick auf aktuelle Projekte wie ETH-Hönggerberg, Flughafen Kloten etc. - sehr rege war.

### 5.2 Prototypenbau Musterzimmer Lenzhard

Im Rahmen einer vorgezogenen Realisierung konnten Forschungsergebnisse in den Bau einer Musterzimmers einfließen, welches für die Sanierung der Schulanlage Lenzhard durch das Architekturbüro Miloni geplant und gebaut wurde.

### 5.3 Schulungen, Informationsveranstaltungen, Referate

Für verschiedene Teilnehmerkreise wurden Schulungen und/oder Informationsveranstaltungen durchgeführt:

- Kursreihe zum Thema "Neuer Komfort mit Tageslicht" in 17 Schweizer Städten aller Sprachregionen.
- In-house-Kurs "Tageslicht" für Projektleiter des Eidg. Amtes für Bundesbauten sowie der SBG.
- Jahrestagung SLG (Schweiz. Lichttechnische Gesellschaft): "Lichtklau oder intelligenter Hüllbau?"
- Jahrestagung SZFF: "Ein Wintermantel ist nicht genug".
- SOLAAR-Tagung: "Tageslicht in Schul- und Verwaltungsbauten richtig nutzen".
- Präsentation von holografisch-optischen Elementen durch Prof. Müller anlässlich des SZFF-Tages 1996 in Zürich.

### 5.4 Weiterentwicklungen am LESO-PB: die Anidolische Decke

Anidolische Systeme können die Tageslichteindringtiefe in einen Raum bei bedecktem Himmel erheblich verlängern. Dies zeigten bereits erste Entwicklungen. Nun wiesen anidolische Systeme allerdings auch Nachteile auf: beispielsweise Integrationsschwierigkeiten in der Fassade aufgrund ihrer Grösse einerseits oder gewisse Blendungsrisiken andererseits. Aufgrund konsequenter Weiterentwicklungen anidolischer Systeme kann diesen Problemen mittlerweile wirkungsvoll begegnet werden.

Das System der anidolischen Decke besteht aus einem Kollektor (Lichteinfangtrichter), der aus der Fassade herausragt sowie einem Lichtleiter, der das eingefangene Licht von der Fassade in den hinteren, normalerweise dunkleren Teil des Raumes führt. Numerische Simulationen haben gezeigt, dass dadurch der Tageslichtquotient im hinteren Teil eines 6.4 m tiefen, mit dem System der anidolischen Decke ausgerüsteten Raumes im Vergleich zum selben Raum mit Isolierverglasung nahezu verdoppelt werden kann.

Das System der anidolischen Decke verschafft dabei einen guten Sehkomfort, da der Kollektor den Raum vor dem hellsten Teil des Himmels wirksam abschirmt. Selbst im hintersten Teil des Raumes sind die Sehbedingungen trotzdem noch günstig, da der Tageslichteinfall von oben erfolgt.

Mithilfe der vorhandenen NEFF-Module werden nun experimentelle Weiterentwicklungen durch das LESO-PB mit anidolischen und anderen Systemen auf einer kalibrierten Basis an die Hand genommen.

## 6. Verdankung

Wir danken dem Nationalen Energie-Forschungsfonds NEFF, dass er dieses Projekt ermöglicht hat und freuen uns, dass die vorliegenden Ergebnisse die Erwartungen erfüllt und die geplanten Impulse übertroffen haben.



Tageslicht und seine bessere Nutzung stossen heute - nicht zuletzt dank dieses Projektes und der dadurch initiierten Impulse - auf nachhaltiges Interesse seitens der Industrie, der Bauherren, der Architekten sowie der Nutzer.

In diesen Dank einschliessen möchten wir Firmen, die mit Rat und Tat in besonderem Masse zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben. Es sind dies im Speziellen:

- die Roland Meier AG, Würenlingen, welche die Idee für eine steife und leichte Grundstruktur der Container in "Monocoque-Bauweise" lieferte und diese im Rohbau herstellte.
- die Alusuisse ALLEGA AG, Zürich welche bei der Optimierung und bei der Herstellung der Werkzeuge des "Fischbauch-Profils" mitgeholfen hat
- die DIRALSA AG, Neuenhof, welche eine Verkleidung des Testcontainers aus leichtem Aluminium ermöglicht hat
- die WETTER AG, Stetten, welche alle leicht auswechselbaren Pfosten-Riegelfassaden aus Stahl fertigte und diese erstmals montierte.

Baden-Dättwil, Zürich und Lausanne-Ecublens 15.3.1997