

# Lichtrohr: Kombination von natürlichem Licht und natürlicher Lüftung

Elia Zaccheddu ( Referent), Joachim Borth  
Sulzer Infra Lab AG, Zürcherstr. 19, 8041 Winterthur  
elia.zaccheddu@sulzer.ch, joachim.borth@sulzer.ch

## Zusammenfassung

In diesem Projekt soll mit einem Lichtrohr (Ein Lichtrohr ist ein innen verspiegeltes Rohr), natürliches Licht vom Dach in tiefer gelegene Geschosse gelenkt werden. Der Projektbeitrag des Sulzer Infra Lab umfasst die Dimensionierung, die Installation, sowie einen praxisnahen Test.

Die Messungen haben gezeigt, dass ein Lichtrohr mit einem Verhältnis Länge/Durchmesser von 7:1 seine untere Grenze bei einer Aussenlichtintensität von 20'000 Lux hat. Unter dieser Aussenlichtintensität muss das elektrische Licht eingeschaltet werden.

Die Lichtverteilung im Raum mit transparentem Diffuser ist ungleichmässig: Sobald die Sonneneinstrahlung eine direkte Komponente hat, bildet sich ein heller Lichtkreis entlang der Wände. Mit transluzentem Diffuser ist die Lichtverteilung im Raum deutlich gleichmässiger. Bei maximaler Sonnenhöhe (minimale Anzahl Verspiegelungen) ist die gemessenen Lichtintensität auf dem Tisch so hoch, dass es zu Blend- und Überhitzungsproblemen kommt.

Die Effizienz ist hier als Verhältnis der Lichtintensität auf Tischhöhe, auf der vertikalen Achse des Lichtkanals, mit der globalen horizontalen Aussenhelligkeit definiert. Sie beträgt 1% für sonnige Tage und ca. 4% für bewölkte Tage.

Reine ökonomische Bewertungen können nicht als Beurteilungsparameter verwendet werden, weil die notwendige Investition kaum innerhalb einer abgeschätzten Lebensdauer des Systems zurückbezahlt werden kann.

## Résumé

Ce projet a comme but le transport de la lumière naturelle du toit à travers d'un tuyau de lumière (un tuyau de lumière est un tuyau avec l'intérieur miroité) dans des étages inférieures. La contribution des Sulzer Infra Lab dans ce projet est de dimensionner, d'installer et de tester ce tuyau en pratique.

Les mesurages ont montré qu'un tuyau avec une proportion longueur/diamètre de 7:1 a ses limites avec une intensité de lumière extérieure de 20'000 lux. En dessous de cette intensité de lumière extérieure il est nécessaire d'allumer l'éclairage électrique.

La distribution de lumière avec un diffuseur transparent est irrégulière dans la pièce: Aussitôt que la radiation solaire a une composante directe, il se produit un cercle de lumière claire le long des murs. Avec un diffuseur translucide la distribution de lumière dans la pièce est beaucoup plus régulière. Avec la hauteur maximale du soleil (nombre minimale de réflexion dans les miroirs) l'intensité de lumière mesurée sur la table est tellement haute que cela cause des problèmes d'éblouissement et de surchauffe.

L'efficacité est ici définie par la proportion de l'intensité de lumière sur la table en axe verticale du canal de lumière avec la clarté extérieure horizontale. Elle s'élève à 1% les jours ensoleillés et env. 4% les jours ennuagés.

Des critères purement économiques ne peuvent pas être considéré comme paramètres d'évaluation car les investissements nécessaires ne peuvent guère être remboursés dans la durée de vie estimée du système.

## 1. Ausgangslage, Ziel des Projektes

In diesem Projekt soll mit einem Lichtrohr natürliches Licht vom Dach in tiefer gelegene Geschosse gelenkt werden. Ein Lichtrohr ist ein innen verspiegeltes Rohr. Der Deckendurchbruch wird genutzt, indem um das Lichtrohr ein weiteres Rohr mit grösserem Durchmesser gelegt wird, um durch den dabei entstehenden Ringspalt Abluft, durch den Kamineffekt verstärkt, aus dem Raum abzuführen.

Dieses Konzept wird im Rahmen eines von der Europäischen Union und dem Schweizerischen Bundesamt für Bildung und Wissenschaft geförderten Projekts untersucht.

## 2. Vorgehen

Im ersten Teil der Untersuchungen studierten Architekten die Verwendung dieser Einheit bei verschiedenen Hausentwürfen. Umfangreiche Berechnung zur Wirtschaftlichkeit, zur Lichtausbeute und zur Einbindung des Bauteils in den Energiehaushalt des Gebäudes schlossen sich an. Kleinere Versuchsanlagen wurden in drei verschiedenen Klimazonen getestet.

Der Projektbeitrag des Sulzer Infra Lab liegt in der Dimensionierung, in der Installation, sowie im praxisnahen Test der Grossausführung (siehe Abbildung 1).

Die Dimensionierungsaufgabe betraf in erster Linie die Bestimmung des Verhältnisses Länge/Durchmesser für den gewählten Testraum. Die Anlage wurde konstruiert, danach in einem ehemaligen Bürogebäude auf dem Sulzer Areal installiert und zwischen dem Sonnentiefststand am 21. Dezember 1999 und dem Sonnenhochstand am 21. Juni 2000 messtechnisch in Detail untersucht.

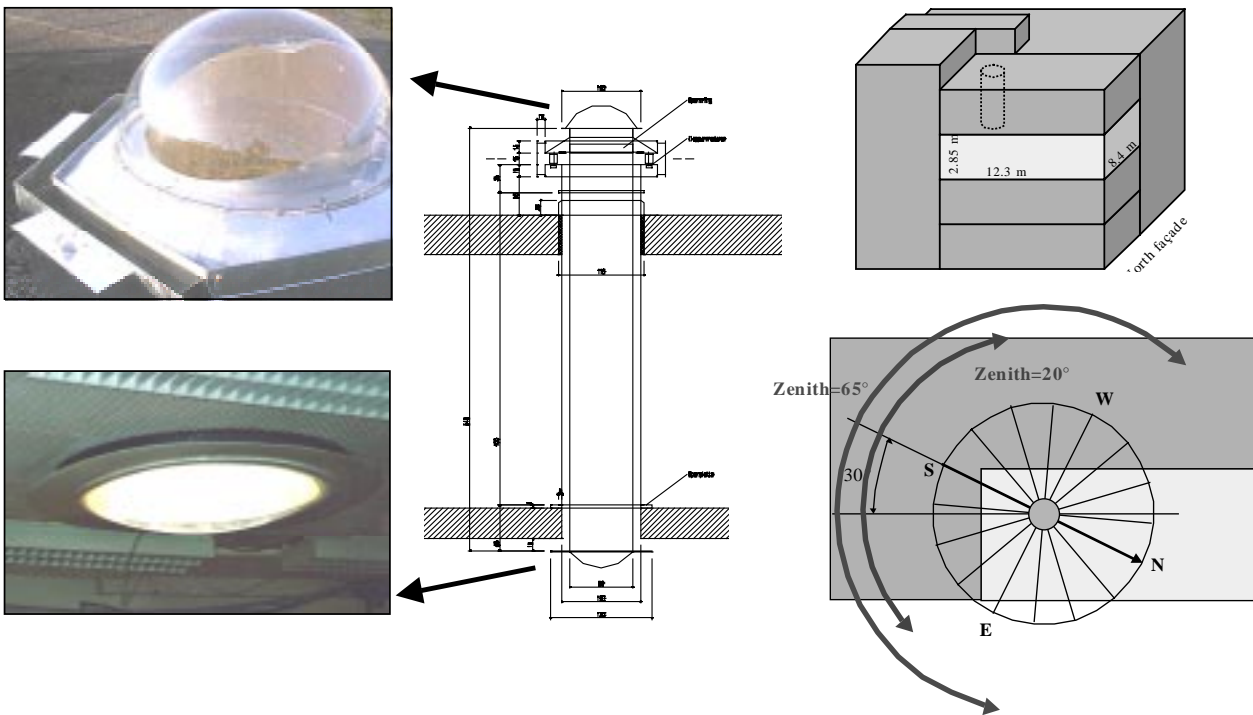


Abbildung 1: Installiertes Lichtrohr in einem ehemaligen Bürogebäude des Sulzer Areals in Winterthur.

## 3. Resultate, Erkenntnisse und Bedeutung für die Praxis

### a) Dimensionierung

Die Transmission des natürlichen Lichts durch einen verspiegelten Lichtkanal hängt stark vom Verhältnis seiner Länge mit seinem Durchmesser ab. Für die Dimensionierung des Lichtrohres wurde eine Lichtintensität im Aufenthaltsbereich für den Winterfall von 500 Lux angestrebt. Die

obere Grenze für den Sommerfall wurde bei etwa 3000 Lux festgelegt, um unerwünschte Blend- und Überhitzungsprobleme zu vermeiden. Die Analyse erfolgte mit Hilfe einer Abschätzungsformel aus der Literatur. Für eine Länge des Lichtkanals von 5.4 m wurde ein Durchmesser von 0.8 m gewählt; dies ergibt ein Verhältnis von 7:1.

## b) Messresultate

Die Lichtintensität auf Tischhöhe auf der vertikalen Achse des Lichtkanals wurde während sechs Monaten untersucht. Dazu wurde in bestimmten Fällen, für zwei Typen von Diffusern und verschiedenen Aussenbedingungen, auch die Lichtverteilung im Raum im Detail analysiert.

### Lichtintensität bei bewölktem und sonnigem Himmel mit transparentem Diffuser im Frühling

Die Abbildung 2 zeigt das Beispiel eines bewölkten Frühlingstages und Abbildung 3 das Beispiel eines sonnigen Frühlingstages.

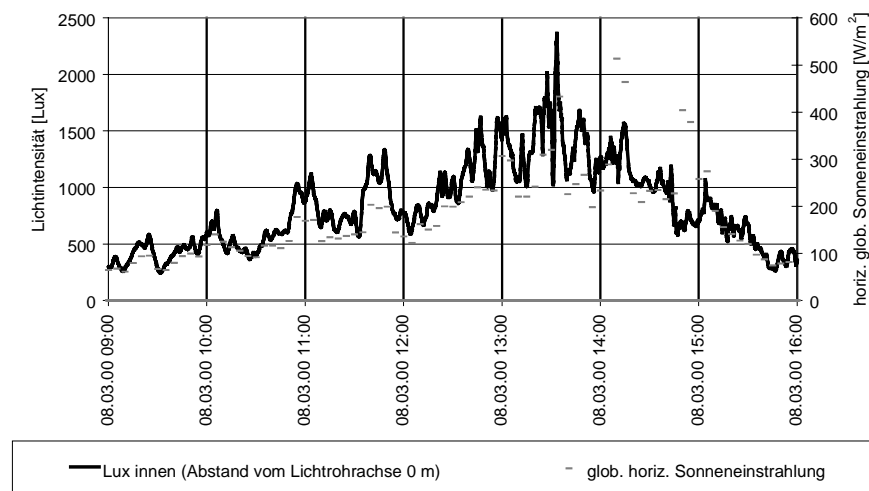


Abbildung 2: Lichtintensität auf Tischhöhe auf der vertikalen Achse des Lichtkanals während eines bewölkten aber relativ hellen Frühlingstages.

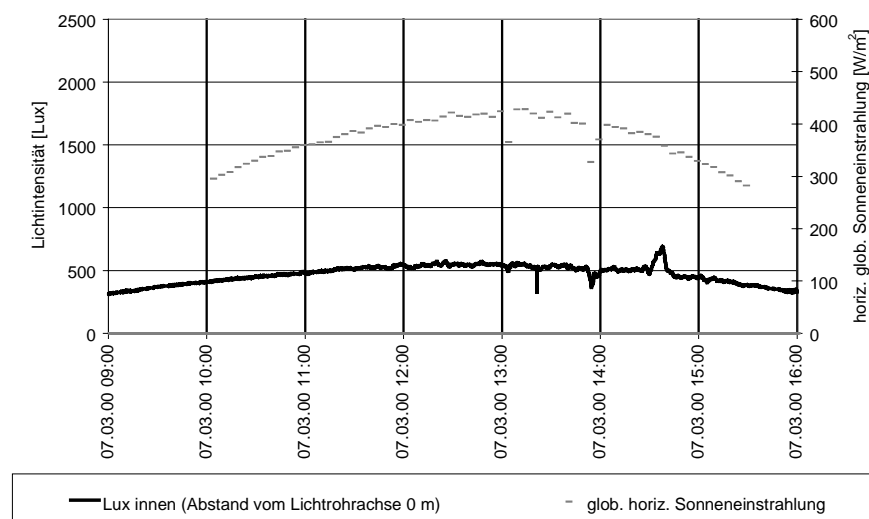


Abbildung 3: Lichtintensität auf Tischhöhe auf der vertikalen Achse des Lichtkanals während eines sonnigen Frühlingstages.

Am Beispiel von diesen beiden Tagen zeigt Abbildung 4 die berechnete Effizienz als Verhältnis der Lichtintensität auf Tischhöhe und auf der vertikalen Achse des Lichtkanals mit der globalen horizontalen Aussenhelligkeit. Die Effizienz des Lichtrohres ist mit transparentem Diffuser 1% für sonnige Tage und etwa 4% für bewölkte Tage.

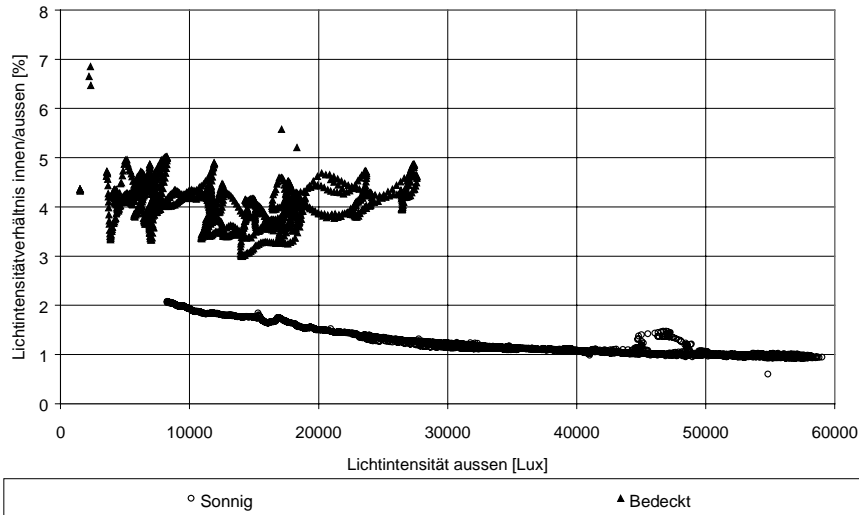


Abbildung 4: Lichtrohr-effizienz für bedeckte und sonnige Himmel.

Lichtverteilung mit transparentem und transluzentem Diffuser im Winter und im Sommer

Die Lichtverteilung im Raum mit transparentem Diffuser ist ungleichmässig: Ein heller Lichtkreis bildet sich entlang der Wände, sobald die Sonneneinstrahlung eine direkte Komponente hat. Die Position dieses Kreises und sein Lichtinhalt ist mit der Sonnenhöhe gekoppelt (siehe Abbildung 5 in der Mitte): Tiefe Sonne (Januar, Bild links) verursacht einen hohen schmalen Lichtkreis mit einer Lichtintensität bis zu 2'000 Lux; hohe Sonne (Juni, Bild rechts) verursacht einen tiefen breiten Lichtkreis mit einer Lichtintensität bis zu 10'000 Lux.

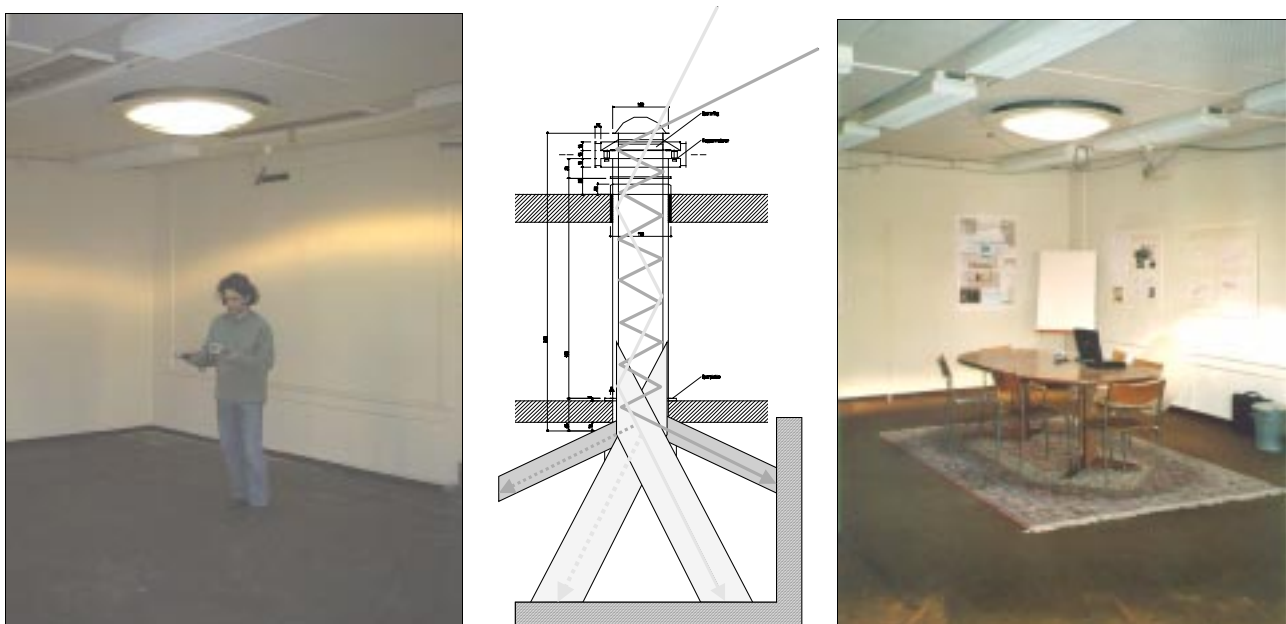


Abbildung 5: Photo der Lichtverteilung im Raum mit transparentem Diffuser an zwei sonnigen Nachmittagen (links um 16:10 am 13.01.2000, rechts am 23.06.2000) und Erklärung des Zusammenhanges der Position.

Mit transluzentem Diffuser ist die Lichtverteilung im Raum deutlich gleichmässiger, weil der Lichtinhalt des Kreises besser gestreut wird. Abbildung 6 zeigt wie die Tendenz, Kreise mit erhöhtem Lichtinhalt zu bilden, auch bei diesem Diffuser vorhanden ist. Die Differenz der Lichtintensität bleibt doch in einem angenehmen Bereich, so dass das Blendproblem mit dem transparenten Diffuser nicht mehr auftritt.

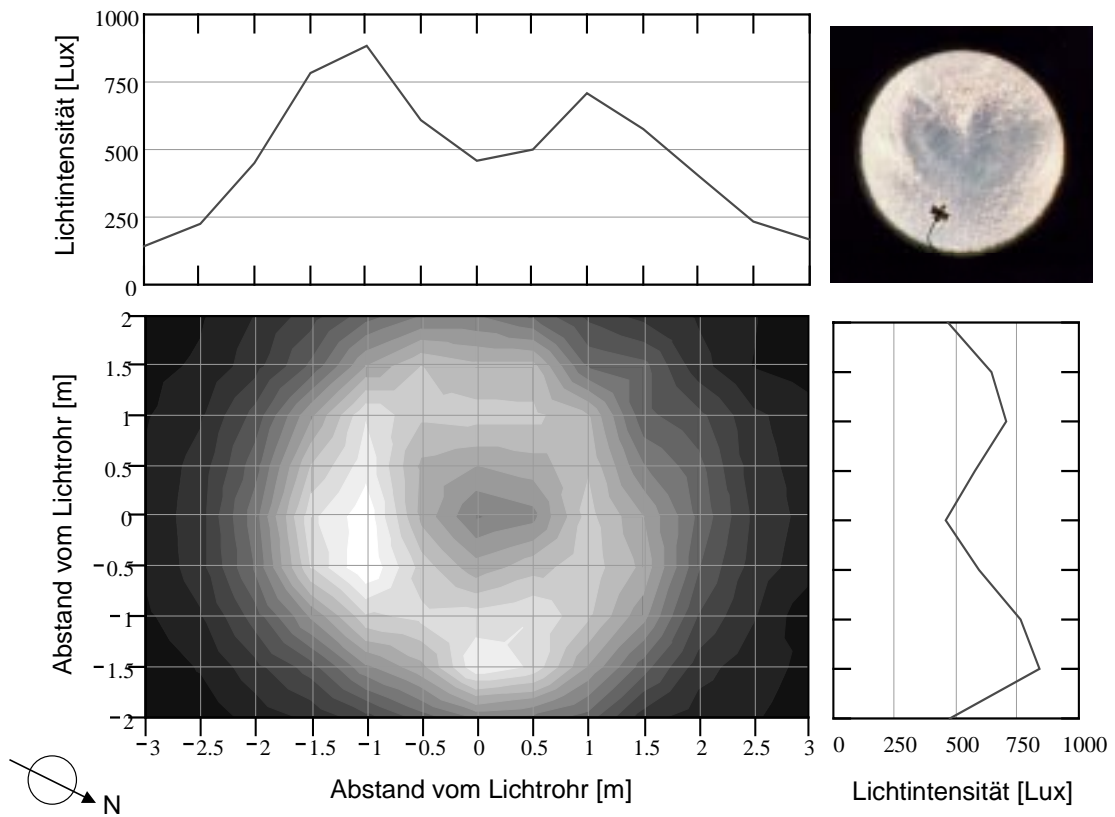


Abbildung 6: Lichtverteilung mit transluzentem Diffuser an einem sonnigen Nachmittag (am 21.06.2000 um 17:20) am Diffuser (Photo oben rechts) und auf Tischhöhe (Gitter unten links und Schnitt auf beiden Achsen).



Abbildung 7: Photo der Lichtverteilung im Raum mit transluzentem Diffuser an einem sonnigen Nachmittag (am 10.06.2000 um 15:00).

**c) Bedeutung für die Praxis**

Das Lichtrohr wurde so dimensioniert, dass Lichtintensitäten zwischen 500 und 3000 Lux erreichen werden.

Winter

Die Messungen haben gezeigt, dass ein Lichtrohr mit einem Verhältnis Länge/Durchmesser von 7:1 seine untere Grenze bei einer Aussenlichtintensität von 20'000 Lux hat. Unterhalb dieser Aussenlichtintensität muss das elektrische Licht eingeschaltet werden (siehe Abbildung 8). Eine typische Häufigkeitsverteilung für den Winterfall ist in der Abbildung 9 zu sehen.

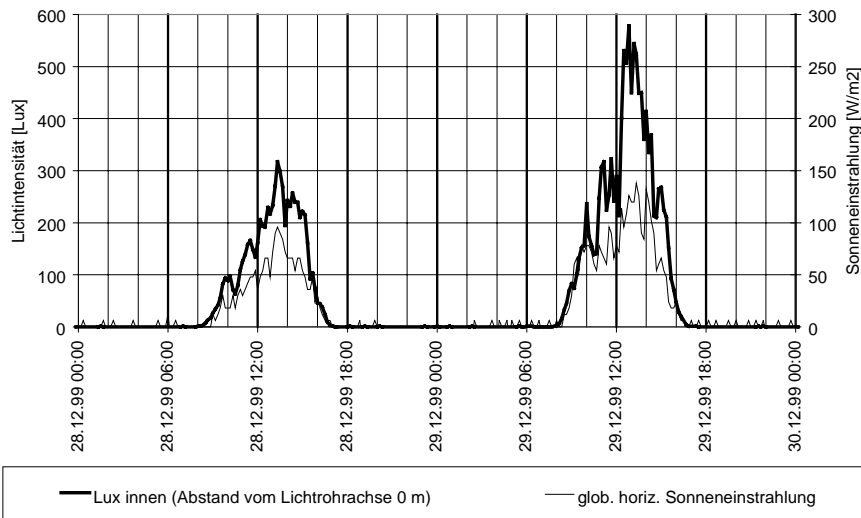


Abbildung 8: Verlauf der Lichtintensität auf Tischhöhe während zweier Wintertagen mit transparentem Diffuser.

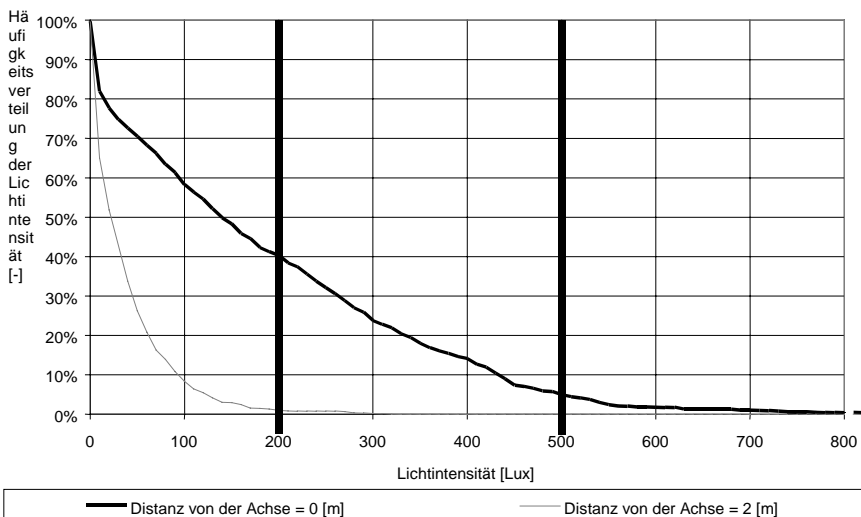


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der Lichtintensität auf Tischhöhe während der Arbeitsstunden (08:00-18:00) vom 24.12.1999 bis 03.01.2000 mit transparentem Diffuser.

Sommer

Die Lichtverteilung im Raum ist eher ein Problem während sonnigen Tagen. Der transluzente Diffuser hat eine deutlich bessere und angenehmere Verteilung. Die Problematik einer nicht optimalen Lichtverteilung wird trotzdem nicht vollständig gelöst: Bei maximaler Sonnenhöhe (minimale Anzahl Verspiegelungen) lagen die gemessenen Lichtintensitäten auf dem Tisch deutlich höher als 3000 Lux (siehe Abbildung 10); dabei ist der Lichtkreis auf dem Tisch

zusammengeschmolzen und eine Lichteﬃzienz von mehr als 11% wurde erreicht und es entstand ein Blendproblem. Um das Blendproblem zu vermeiden, müssten die Spitzenwerte der Lichtintensität für die untersuchte Anordnung auf ca. 3000 Lux beschränkt werden können.

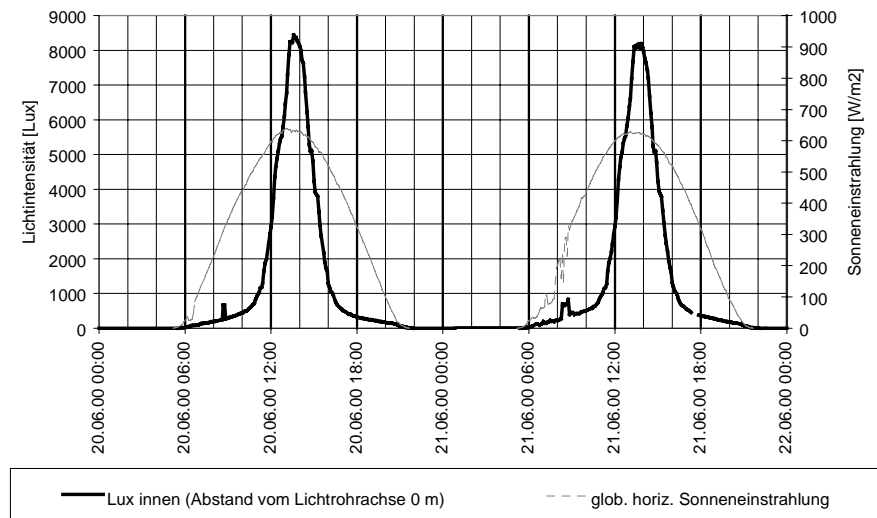


Abbildung 10: Verlauf der Lichtintensität auf Tischhöhe während zweier Sommertage mit transluzentem Diffuser.

Eine Abschätzung des g-Wertes des Systems hat gezeigt, dass die sekundäre Wärmeabgabe in den meisten Fällen vernachlässigbar ist. Der direkte Anteil kann hingegen Werte bis maximal 40% erreichen, wenn der Zenitwinkel höher als 45° ist. Bei kleineren Winkeln liegt der direkte Energieeintrag unter 20%.

### Energiesparpotential

Das Energiesparpotential wurde für verschiedene Sollwerte der Lichtintensität auf Tischhöhe auf der Achse des Lichtrohres für eine Raumfläche von 24 m<sup>2</sup> und eine installierte elektrische Lichtleistung von 10 W/m<sup>2</sup> gerechnet. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 11 dargestellt.

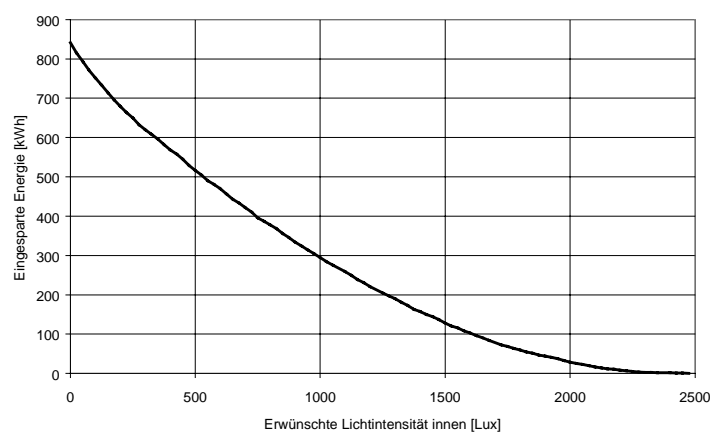


Abbildung 11: Energiesparpotential für verschiedene Sollwerte der Lichtintensität auf Tischhöhe auf der Achse des Lichtrohres

## 4. Ausblick

Eine verallgemeinerte Anwendung des untersuchten Prototyps ist mit dem heutigen Konzept schwierig, und das vorwiegend aus praktischen Gründen: Der Durchbruch ist nur möglich, wenn das darüber liegende Stockwerk nicht besetzt ist. Wenn dies der Fall ist, ist es rein technisch möglich, genügend natürliches Licht ohne spezielle, komplexe und teure Lichtkonzentrationseinrichtungen vom Dach in tiefer gelegene Geschosse zu lenken. Eine bessere Lichtverteilung und die Überwachung der externen Lasten bleiben jedoch als ungelöste Probleme bestehen.

Rein ökonomische Bewertungen können nicht als Beurteilungsparameter verwendet werden, weil die notwendige Investition nur knapp innerhalb der abgeschätzten Lebensdauer des Systems zurückbezahlt werden kann. Hier geht es eher um eine Kombination zwischen Wohlbefinden und sanfter Energieeinsparung, und zwar für Räume, die sehr wenig oder überhaupt kein natürliches Licht benutzen können.