



Institut für Licht- und Bautechnik
an der Fachhochschule Köln

Holographisch Optische Elemente (HOE) zur Nordlichtlenkung für Sanierung und Neubau

Abschlussbericht

Prof. Dr. Jörg Gutjahr
Dipl.-Ing. Anja Eder
Dipl.-Ing. Steffen Zozgornik

gefördert von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
AZ 14518

Köln, den 14.05.02

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	14518	Referat	25	Fördersumme	152.304,00 DM
Antragstitel	Holographisch Optische Elemente (HOE) zur Nordlichtlenkung für Sanierungen und Neubau				
Stichworte	Ökobau, Glas				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
11 Monate	01.07.2000	31.05.2001	1		
Zwischenberichte	Vierteljährlich				
Bewilligungsempfänger	Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln e. V. Lustheide 85 51427 Bergisch Gladbach			Tel	02204/3014-0
				Fax	02204/3014-58
				Projektleitung	Dipl.-Ing. Anja Eder
				Bearbeiter	Dipl.-Ing. Steffen Zozgornik
Kooperationspartner	- Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG, 81732 Merkendorf - Remmel + Peters Metallbau GmbH & Co. KG, 50827 Köln				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Lichtlenkende Elemente ermöglichen eine deutliche Reduzierung des für künstliche Beleuchtung nötigen Energieeinsatzes. Die bereits entwickelte und auf ihre Funktion geprüfte Zenitlichtlenkung soll in Hinblick auf das Einsatzgebiet der Diffuslichtlenkung optimiert werden, um ein Höchstmaß an Energieeinsparung zu ermöglichen. Die Produktion soll standardisiert und dadurch die Realisierung von Projekten beschleunigt werden. Zeit-, Kosten- und Energieaufwand sollen reduziert werden, um einen rationellen Einsatz zu ermöglichen.

Das Ziel ist letztlich eine einfachere und breitere Anwendung zu erzielen, damit eine sinnvolle Entwicklung zur Einsparung von Ressourcen genutzt werden kann.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Nach rechnerischen und theoretischen Betrachtungen (insbesondere zur Tageslichtverteilung) soll eine Festlegung der Anforderungen an das Produkt folgen. Daraufhin wird eine bereits vorhandene Belichtungsmaschine so um- bzw. aufgerüstet, dass eine standardisierte Belichtung erfolgen kann. Zusammen mit den Glaswerken Arnold wird ein Verfahren erarbeitet, das einen routinierten Umgang mit dem Medium "Holographische Folien" ermöglicht.

Für den Einbau, bzw. die Befestigung in der Fassade werden mit der Firma Remmel + Peters Halterungen konstruiert, die einen standardisierten Einsatz ermöglichen. Dabei soll darauf geachtet werden, dass der Einsatz sowohl für Nachrüstungen als auch für Neubauten geeignet ist.

Messungen und Amortisationsrechnungen sollen Zahlenwerk liefern, um in einem letzten Schritt eine Anwendungs- und Planungshilfe zu erstellen, damit der Einsatz der Zenitlichtlenkung für jeden möglich wird.

Der Einsatz im Bürogebäude der Firma G+B bietet die Möglichkeit neben der praktischen Erprobung viele Anwender anzusprechen, für die der Einsatz der Elemente interessant wäre und die zudem als Multiplikatoren dienen. Die gute Zugänglichkeit der installierten Elemente ermöglicht eine einfache Führung von Interessenten ohne großen Aufwand.

Ergebnisse und Diskussion

Ziel des Forschungsvorhabens war, die diffuse Lichtlenkung durch Holographisch Optische Elemente weiterzuentwickeln, zu optimieren und zu standardisieren, um das Produkt erfolgreich an den Markt heran zu führen. Im Rahmen des Projektes konnten beim Herstellungsprozess eine Reihe von Verbesserungen erreicht werden, die eine einfachere Handhabung und eine kostengünstigere Herstellung des Elements mit sich bringen.

In Bezug auf die Belichtung wurde eine Geometrie, 5° auf 50°, festgelegt. Die Scheiben mit den belichteten Gittern müssen je nach Einbauort (indirekte/direkte Beleuchtung, ausgestellte/vertikale Montage, unverbaut/verbaut) nur noch entsprechend in der Halterung ausgerichtet werden. Des weiteren wurde die Belichtung automatisiert. Der Film wird nun nicht mehr nach dem Flachbettprinzip Stück für Stück auf den Tisch montiert, sondern kann von Rolle zu Rolle belichtet werden. Bei den aktuellen Konfektionsgrößen des Films sind somit z.Zt. 1,70 m x 50 m an einem Stück belichtbar. Der Verschnitt und der Belichtungsaufwand verringern sich folglich. Einen noch nicht optimierten Punkt im Bereich der Filmverarbeitung ist momentan der Zuschnitt. Um die Nordlichtlenkung in Serie zu produzieren, müsste eine automatisierte Schneidevorrichtung für den Film entwickelt werden. Derlei Schneidevorrichtungen sind in der Druckindustrie jedoch üblich.

Die Glaswerke Arnold haben ein Verfahren entwickelt, der einen routinierten Umgang mit der holographischen Folie ermöglicht. Es können Verbundscheiben und Isolierglasscheiben hergestellt werden. Die Verfahren dazu sind stabil und die Endprodukte marktreif. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Lichtlenkelemente in Glas sind von Dauerhaftigkeit. Die Fa. Remmel + Peters Metallbau hat eine Reihe von Halterungen vorgestellt, die den Einsatz der Nordlichtlenkung sowohl im Bereich des Neubaus als auch bei nachträglicher Montage ermöglicht. Im Rahmen des Pilotprojektes wurden drei dieser Halterungen realisiert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

s.u. www.ilb.fh-koeln.de

Fazit

Bei der Betrachtung des Einsparpotentials der Beleuchtungsenergie zeigen die Lichtlenkelemente in der Praxis eine eher enttäuschende Bilanz. Die theoretisch errechneten Möglichkeiten sind außer im Einsatz als direkte Beleuchtung von den Messwerten nicht bestätigt worden. Weitere Messungen müssten folgen, um den Zusammenhang zwischen Theorie und Praxis herzustellen. Allerdings darf man die Nordlichtlenkung nicht in ihrer physiologischen Wirkung unterschätzen. Der visuelle Eindruck, dass es an der den Fenster gegenüberliegenden Wand sichtlich heller wird, fördert das Wohlbefinden im Raum. Wie schon beim Einsatz bei ADO Roste und den Überlandwerken in Kitzingen wurde der subjektive Lichteintrag der realisierten Elemente im Rahmen dieses Projektes positiv bewertet.

Inhalt

INHALT	4
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
ZUSAMMENFASSUNG	7
1 EINLEITUNG	8
HAUPTTEIL	10
2 THEORETISCHE BETRACHTUNGEN	10
2.1 Betrachtung der äußeren Bedingungen.....	10
2.2 Physikalisch optische Betrachtung.....	12
2.3 Lichttechnische Betrachtung.....	16
2.4 Physiologische Betrachtung.....	20
2.5 Konstruktionsentwicklung.....	21
2.6 Baubetrachtung.....	22
3 BELICHTUNGSAUTOMATION	23
3.1 Stand der Technik.....	23
3.2 Umbau der Belichtungsmaschine.....	24
3.3 Testphase und Optimierung.....	24
3.4 Mustererstellung.....	26
4 HERSTELLUNG DER MUSTERELEMENTE	27
4.1 Glaswerke Arnold – Neue Einbettverfahren.....	27
4.1.1 Herstellen von Verbundgläsern mit Hologrammfolie.....	27
4.1.2 Weiterverarbeitung zu Isolierglas.....	27
4.1.3 Tests zur Einbettung auf Stoß.....	27
4.1.4 Kostenschätzung.....	27
4.1.5 Versuch zur Rollenverarbeitung von HOE-Folien.....	28
4.1.6 Einbettung mehrerer HOE-Folien.....	28
4.1.7 Zusammenfassung.....	28
4.2 Remmel + Peters – Konstruktion einer Haltevorrichtung.....	28
4.2.1 NK 1.....	30
4.2.2 NK 2.....	30
4.2.3 NK 3.....	31
4.2.4 NK 4.....	32
4.2.5 NK 5.....	32
4.2.6 NK 6.....	33
4.2.7 Zusammenfassung.....	33

5	PILOTPROJEKT	34
5.1	Einsatz der Lichtlenkelemente	34
5.2	Messdatenerfassung	35
	FAZIT..	41
	LITERATURVERZEICHNIS.....	42
	ANHANG	43

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1.1:	Leuchtdichteverteilung des Nordhimmels für Köln.....	11
Abb. 2.1.2:	Spektraler Strahlungsfluss bei bedecktem und klarem Himmel, Schemazeichnung	12
Abb. 2.2.1:	Spektrale Effizienz von Gittern mit verschiedenen Beugungswinkeln....	13
Abb. 2.2.2:	Spektrale Effizienz eines 50°-Gitters für Beleuchtungen aus abweichender Beleuchtungsrichtung	14
Abb. 2.2.3:	Spektrale Empfindlichkeitskurve des Auges (V_λ), relativ.....	14
Abb. 2.2.4:	Spektrale Verteilung des Beugungswirkungsgrads eines 50°-Gitters für Beleuchtungen aus abweichender Beleuchtungsrichtung, V_λ - bewertet	15
Abb. 2.2.5:	Wirkungsgrad der NLL für verschiedene Fangwinkel bei bedecktem Himmel.....	16
Abb. 2.3.1:	Abstrahlcharakteristik der NLL	17
Abb. 2.3.2:	Modellraum	17
Abb. 2.3.3:	Korrekturfaktor für den Jahresverlauf	18
Abb. 2.3.4:	Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche durch HOE entlang der Mittelachse des Raums.....	19
Abb. 2.3.5:	Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche durch HOE für den gesamten Raum.....	19
Abb. 2.3.6:	Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche im Modellraum an einem bewölkten Tag im Hochsommer um 10.00 bzw. 14.00 Uhr	20
Abb. 2.5.1:	Fresnellsche Reflexionen für eine Glasoberfläche.....	22
Abb. 3.2.1:	Belichtungseinrichtung zur automatisierten Belichtung.....	24
Abb. 3.3.1a:	Fehlerhafter Maskensitz	25
Abb. 3.3.1b:	Fehlerhafter Filmtransport.....	25
Abb. 3.3.2:	Modifizierte Vakuumpalte	25
Abb. 3.4.1:	Dichte-Effizienzkurve von holographischen Gittern des Agfa-Skypro	26
Abb. 4.2.1:	Schemazeichnung NK 7	29
Abb. 4.2.1.1:	Konsole NK 1 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)	30
Abb. 4.2.2.1:	Konsole NK 2 (Ansicht)	30
Abb. 4.2.2.2:	Konsole NK 2 (Ansicht/Feldausschnitt, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)	31
Abb. 4.2.3.1:	Konsole NK 3 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)	31
Abb. 4.2.4.1:	Konsole NK 4 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)	32
Abb. 4.2.5.1:	Konsole NK 5 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)	32
Abb. 4.2.6.1:	Konsole NK 6 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)	33

Abb. 5.1.1: Orientierung der Lichtlenkelemente beim Einbau	34
Abb. 5.1.2: Lichteintrag der Lichtlenkelemente Rimmel + Peters / G+B pronova (indirekte Beleuchtung)	34
Abb. 5.1.3: Lichteintrag der Lichtlenkelemente ILB (direkte Beleuchtung).....	35
Abb. 5.2.1 – 5.2.3: Anordnung der Sensoren in den Testräumen	36
Tab. 5.2.1: Tageslichtquotienten im Konferenzraum ILB ohne NLL, Messung vom 27.11.01	36
Tab. 5.2.2: Tageslichtquotienten in der Werkstatt G+B pronova ohne NLL, Messung vom 27.11.01.....	37
Tab. 5.2.3 - 5.2.4: Tageslichtquotienten im Konferenzraum ILB und in der Werkstatt G+B pronova mit NLL, Messungen vom 23.02.02	38
Tab. 5.2.5: Tageslichtquotienten im Büroraum Rimmel + Peters ohne/mit NLL, Messungen vom 31.10.01/16.01.02.....	38
Abb. 5.2.4: Tageslichtquotienten mit/ohne Nordlichtlenkung Konferenzraum ILB	38
Abb. 5.2.5: Tageslichtquotienten mit/ohne Nordlichtlenkung Werkstatt G+B pronova	39
Abb. 5.2.6: Tageslichtquotienten ohne/mit Nordlichtlenkung Büroraum Rimmel + Peters	39

Zusammenfassung

Lichtlenkende Elemente ermöglichen eine deutliche Reduzierung des für künstliche Beleuchtung nötigen Energieeinsatzes. Die bereits entwickelte und auf ihre Funktion geprüfte Zenitlichtlenkung wird in Hinblick auf das Einsatzgebiet der Diffuslichtlenkung optimiert werden, um ein Höchstmaß an Energieeinsparung zu ermöglichen. Die Produktion wird standardisiert, um Zeit-, Kosten- und Energieaufwand zu reduzieren. Es werden in der Produktion Verbesserungen vorgenommen, die eine einfachere Handhabung und eine kostengünstigere Herstellung des Elements mit sich bringen.

Nach rechnerischen und theoretischen Betrachtungen folgt eine Festlegung der Anforderungen an das Produkt. Daraufhin wird eine bereits vorhandene Belichtungsmaschine so aufgerüstet, dass eine standardisierte und automatisierte Belichtung erfolgt. Zusammen mit den Glaswerken Arnold wird ein Verfahren erarbeitet, das einen routinierten Umgang mit dem Medium "Holographische Folien" ermöglicht. Für die Befestigung in der Fassade werden mit der Firma Rimmel + Peters Halterungen konstruiert. Es wird darauf geachtet werden, dass der Einsatz sowohl für Nachrüstungen als auch für Neubauten geeignet ist.

Die Realisierung im Pilotprojekt bietet die Möglichkeit neben der praktischen Erprobung viele Anwender anzusprechen, für die der Einsatz der Elemente interessant wäre und die zudem als Multiplikatoren dienen. Die gute Zugänglichkeit der installierten Elemente ermöglicht eine einfache Führung von Interessenten ohne großen Aufwand.

1 Einleitung

Der Tageslichtanteil in Innenräumen wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Neben den äußeren Bedingungen, Sonnenstand, Wetter u.ä. sind die baulichen Gegebenheiten wie Form und Größe des Gebäudes und der Nachbargebäude, Fensterorientierung und Fensteranordnung der einzelnen Räume und Reflexions- und Transmissionseigenschaften der verwendeten Baumaterialien verantwortlich für den Anteil natürlichen Lichts im Innern. Der Bedarf an Tageslicht in Fensternähe ist zwar in der Regel gedeckt, Licht ist dort sogar im Überschuss vorhanden, mit zunehmender Raumtiefe verringert sich die Beleuchtungsstärke jedoch deutlich. Vor allem nach Norden ausgerichtete Räume werden diesbezüglich von Natur aus schlecht mit Tageslicht versorgt.

Eine Möglichkeit die dunklen Innenbereiche mit Licht zu versorgen besteht darin, das Tageslicht aus hohen Himmelsbereichen zu nutzen und in die Raumtiefe umzulenken. Das Institut für Licht- und Bautechnik (ILB) hat in diesem Zusammenhang Holographisch Optische Elemente entwickelt (HOE), die das diffuse Licht aus dem Himmelszenit in den Raum umlenken und nutzbar machen. Die HOE werden in Glas eingebettet und als dauerhaftes Element unter einem Ausstellwinkel von ca. 45° im Oberlichtbereich vor die Fassade gehängt. Die Tageslichtsituation im Raum wird direkt und ohne Energiezufuhr verbessert. Darüber hinaus ermöglichen die lichtlenkenden Elemente eine Reduzierung des für künstliche Beleuchtung nötigen Energieeinsatzes. Ein wesentlicher Vorteil der holographisch optischen Lichtlenkung gegenüber vergleichbarer Systeme ist ihre Transparenz. Bei beispielsweise Lichtschwertern (Lightshelves) und Anidolischen Systemen ist die Durchsicht stark eingeschränkt.

Eine erste Anwendung haben die Elemente als Nordlichtlenkung (NLL) 1996 im Bürogebäude der Firma ADO-Roste in Köln-Rodenkirchen gefunden. 1997 wurde das System bei den Fränkischen Überlandwerken in Kitzingen installiert. Es konnte gezeigt werden, dass das Prinzip der NLL funktioniert. Eine erfolgreiche Markteinführung scheiterte an der aufwendigen Herstellung von Einzelteilen und den immer wieder erneut benötigten Planungs- und Organisationsarbeiten. Letztlich ist jedes Nordlichtlenkelement eine Einzelanfertigung.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die bereits entwickelte und auf ihre Funktion geprüfte Zenitlichtlenkung in Hinblick auf ihr Einsatzgebiet als Diffuslichtlenkung zu optimieren, um ein Höchstmaß an Energieeinsparung zu erreichen. Erzielt werden soll eine einfache und breite Anwendung des Lichtlenkelements. Die Standardisierung des Elements wird ermöglichen, dass eine sinnvolle Entwicklung zur Einsparung von Ressourcen genutzt wird und zum Einsatz kommt.

Nach rechnerischen und theoretischen Betrachtungen, insbesondere zur Tageslichtverteilung, werden die Anforderungen an das Produkt festgelegt. Daraufhin wird eine bereits vorhandene Belichtungsmaschine so um- bzw. aufgerüstet, dass eine standardisierte Belichtung erfolgen kann. Zusammen mit den Glaswerken Arnold wird ein Verfahren erarbeitet, das einen routinierten Umgang mit dem Medium „Holographische Folien“ ermöglicht. Für die Befestigung in der Fassade werden mit der Firma Rimmel + Peters Metallbau Halterungen konstruiert, die einen standardisierten Einsatz ermöglichen. Es wird dabei darauf geachtet werden, dass

die Konstruktion der Halterung sowohl für Nachrüstungen als auch für Neubauten geeignet ist. Messungen und Amortisationsrechnungen werden Zahlenwerk für die Einsparpotentiale liefern. Im letzten Schritt wird eine Anwendungs- und Planungshilfe erstellt, um den Einsatz der Zenitlichtlenkung für jeden zu ermöglichen.

Hauptteil

2 Theoretische Betrachtungen

Die Nordlichtlenkung besteht aus optischen Beugungsgittern, sogenannten Holographisch Optischen Elementen (HOE), die in Verbundglas eingebracht werden. Das Element wird entweder ausgestellt vor dem Fenster montiert oder in das Oberlicht des Fensters integriert. Das holographische Gitter lenkt das diffuse Licht des Himmels an die Raumdecke, so dass eine Aufhellung in der Tiefe des Raums erreicht wird. Bei den Beugungsgittern handelt es sich um sogenannte dicke Gitter, die nur für bestimmte Umlenkwinkel aktiv sind. Somit bleibt die Scheibe für alle anderen Richtungen transparent und stellt keine Sichtbehinderung dar.

2.1 Betrachtung der äußeren Bedingungen

Die HOE lenken diffuses Licht aus dem Zenit des Himmels in den Innenraum. Der Lichteintrag durch die holographischen Elemente hängt folglich von der Leuchtdichteverteilung des Himmels ab, die durch den Sonnenstand und die Trübung der Atmosphäre bestimmt wird. Die Trübung der Atmosphäre lässt sich in drei Stufen unterteilen: den klaren Himmel, den teilweise und den vollständig bedeckten Himmel. Der teilweise bedeckte Himmel ist eine sehr inhomogene und abhängig von Wind und Wetter stark variierende Lichtquelle. Er wird für tageslichttechnische Berechnungen nicht berücksichtigt. Indessen werden die Himmelszustände „Klarer Himmel“ und „Bedeckter Himmel“ (gemeint ist der vollständig bedeckte Himmel) in der DIN 5034, Teil 2, definiert. Die lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Gegebenheiten für diese Himmelszustände sind festgelegt.

Die Leuchtdichteverteilung des vollständig bedeckten Himmels ist rotationssymmetrisch und wird nach DIN 5034, Teil 2, wie folgt beschrieben:

$$L(\varepsilon) = L_z \frac{1 + 2 \cdot \cos \varepsilon}{3} \quad (\text{Gl. 2.1.1})$$

mit

- $L(\varepsilon)$ Leuchtdichte von Himmelspunkten, die um den Winkel ε vom Zenit entfernt sind,
- ε Winkel zwischen betrachtetem Himmelspunkt und Zenit,
- L_z Zenitleuchtdichte $L_z = (123 + 8594 \cdot \sin \gamma_s) \cdot \text{cd} / \text{m}^2$ (γ_s = Sonnenhöhe).

Die Leuchtdichteverteilung des klaren Himmels ist axialsymmetrisch und vom jeweiligen Sonnenstand abhängig. Sie wird nach DIN 5034, Teil 2, beschrieben durch:

$$L_p / L_z = \frac{[1 - \exp(-0,32 / \cos \varepsilon)] \cdot [0,856 + 16 \cdot \exp(-3\eta / \text{rad}) + 0,3 \cdot \cos^2 \eta]}{0,27385 \cdot \{0,856 + 16 \cdot \exp[-3 \cdot (\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma_s}{\text{rad}})] + 0,3 \cdot \cos^2(\frac{\pi}{2} - \frac{\gamma_s}{\text{rad}})\}} \quad (\text{Gl. 2.1.2})$$

mit

- L_p Leuchtdichte des Punktes P am Himmel,
- L_z Zenitleuchtdichte,
- ε Winkel zwischen betrachtetem Himmelspunkt P und Zenit,
- η Winkel zwischen betrachtetem Himmelspunkt P und Sonne,
- γ_s Sonnenhöhe.

Hieraus ergibt sich beispielsweise für die Stadt Köln (50,56° N, 6,59° O) die in Abbildung 2.1.1 dargestellte Leuchtdichteverteilung des diffusen Himmelslichts in nördlicher Richtung, aufgetragen vom Zenit zum Horizont. Es werden exemplarisch die Tage 21. Juni und 21. Dezember (Sommer- und Wintersonnenwende) sowie die Tage 21. März und 21. September (Tag- und Nachtgleiche) für 10.00 bzw. 14.00 Uhr Wahre Ortszeit (WOZ) betrachtet.

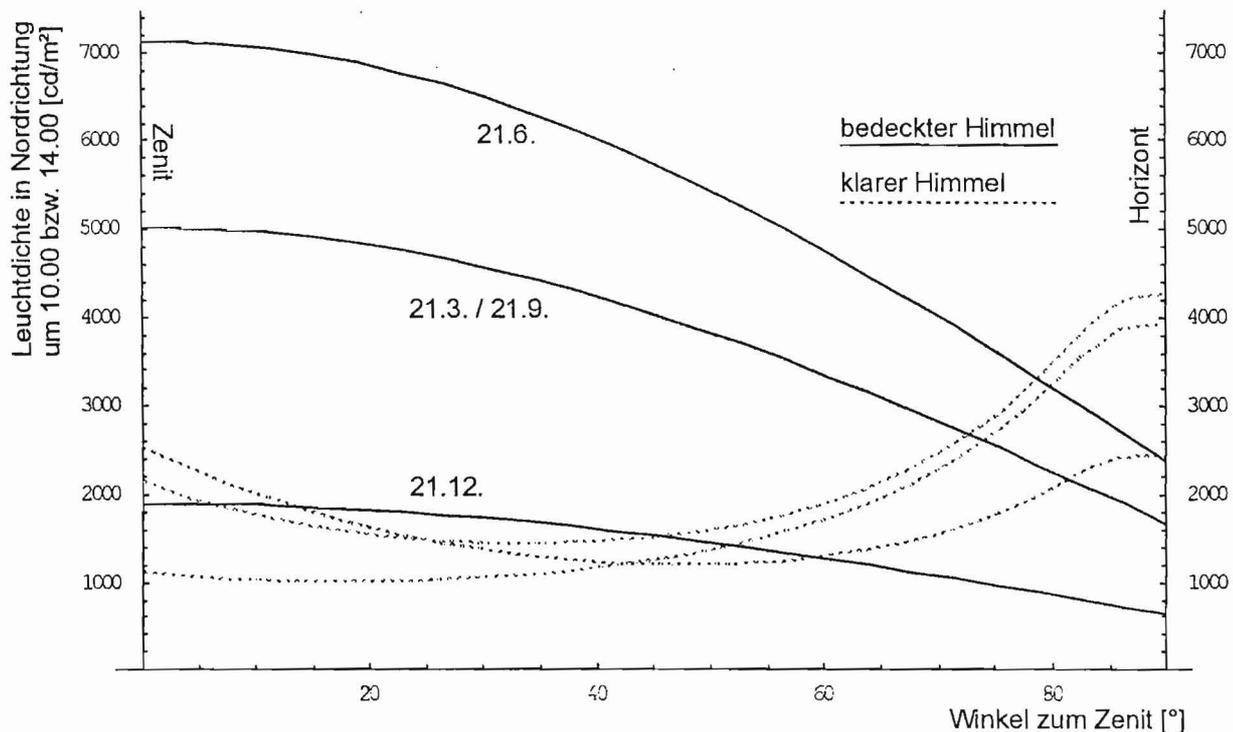


Abb. 2.1.1: Leuchtdichteverteilung des Nordhimmels für Köln

Aus Abbildung 2.1.1 lässt sich ersehen, dass bei klarem Himmel der Schwerpunkt des diffusen Himmelslichts in der Nähe des Horizonts liegt. Dieses flach einfallende Licht wirkt in die Raumtiefe und bedarf keiner Umlenkung. Im Gegensatz hierzu

zeichnet sich für den bedeckten Himmel ein Maximum im Zenit ab. Gleichung 2.1.1 zeigt, dass die Leuchtdichte im Zenit dreimal höher als am Horizont ist. Vergleicht man die spektralen Verteilungen des diffusen Himmels bei klarem und bei bedecktem Himmel, ergibt sich für den wolkenlosen Himmel eine Verschiebung des Maximums zum Blauen (vgl. Abb. 2.1.2).

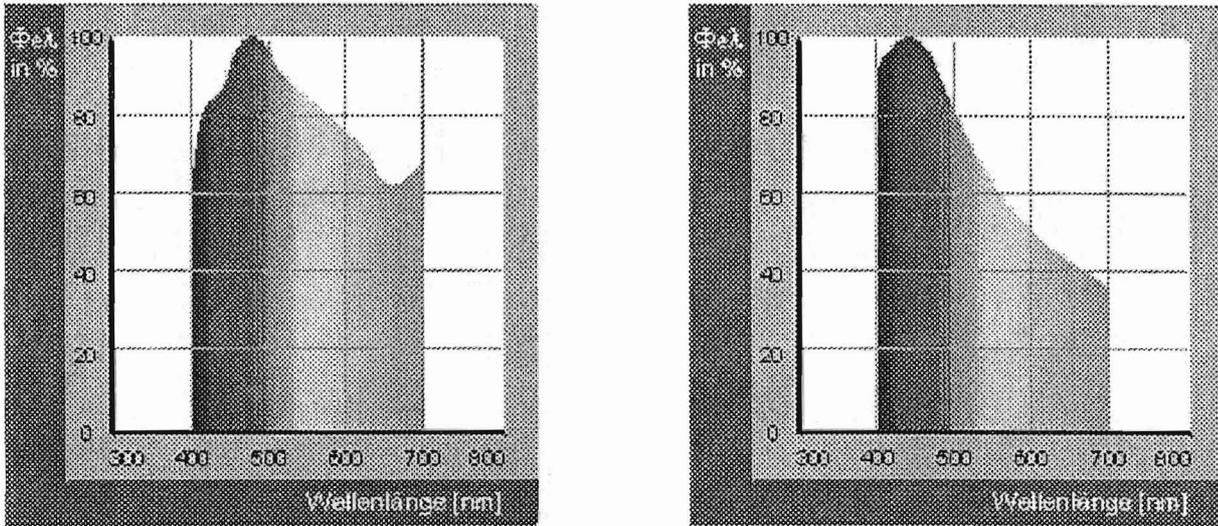


Abb. 2.1.2: Spektraler Strahlungsfluss bei bedecktem und klarem Himmel, Schemazeichnung¹

2.2 Physikalisch optische Betrachtung

Holographisch Optische Elemente werden durch ihren Beugungswirkungsgrad η , auch Effizienz genannt, charakterisiert. Unter Effizienz versteht man das Verhältnis zwischen gebeugtem (umgelenktem) und einfallendem Licht:

$$\eta = \frac{E_i}{E_r} \tag{Gl. 2.2.1}$$

mit

- η Beugungswirkungsgrad
- E_i Intensität des gebeugten Lichts (in der i-ten Beugungsordnung)
- E_r Intensität des einfallenden Lichts

Der Beugungswirkungsgrad ist abhängig von der Wellenlänge. Bei der Umlenkung weißen Lichts durch holographische Gitter muss demnach die spektrale Effizienz betrachtet werden. Diese verhält sich bei dicken Gittern, auch Volumengitter genannt, wie folgt: Mit zunehmendem Beugungswinkel nimmt die spektrale Breite des Gitter ab (vgl. Abb. 2.2.1). D.h. je stärker weißes Licht gebeugt wird, desto

¹ aus www.tageslicht.de/wissenschaft.html

schlechter wird es in seinen einzelnen Farben in gleicher Intensität umgelenkt. Die gleichmäßige Umlenkung ist jedoch wesentlich, um einen farblich homogenen Eindruck im Raum zu erhalten.

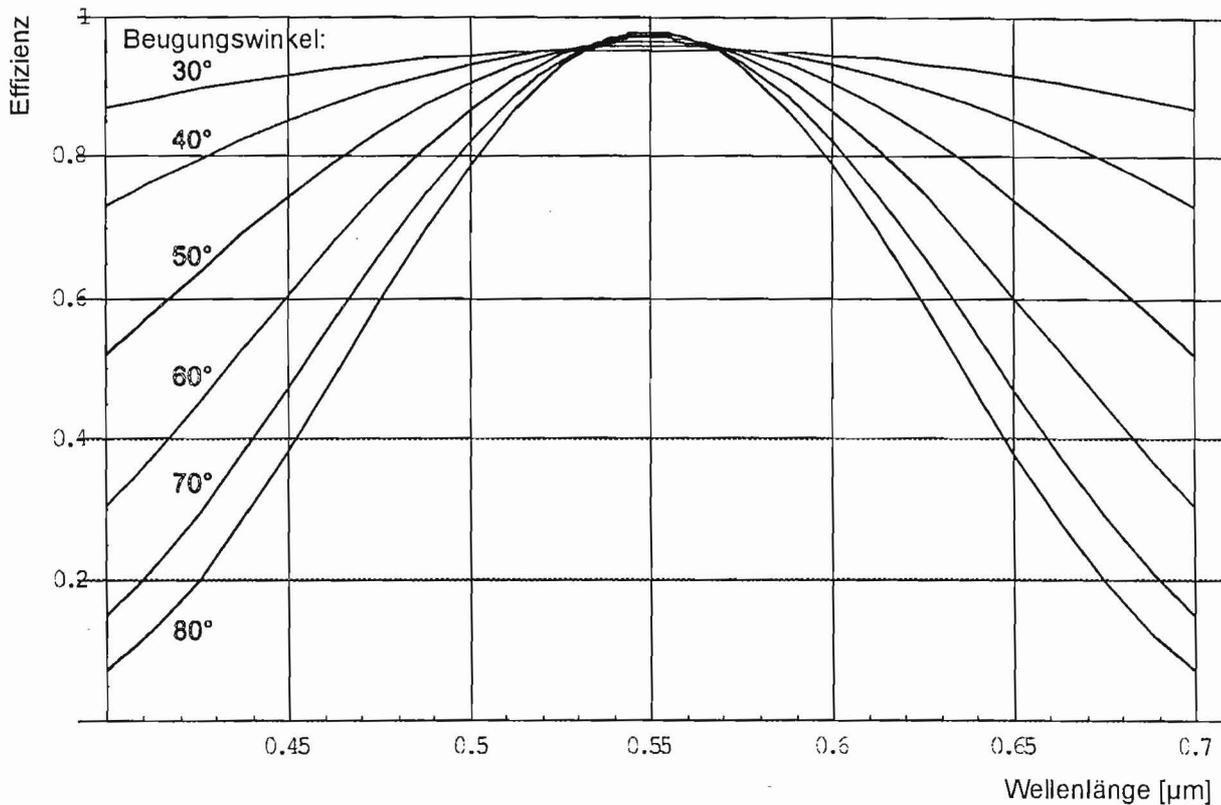


Abb. 2.2.1: Spektrale Effizienz von Gittern mit verschiedenen Beugungswinkeln

Das Maximum der spektralen Verteilung verschiebt sich mit dem Winkel der Beleuchtung. Abbildung 2.2.2 zeigt die spektrale Verteilung des Beugungswirkungsgrads eines 50°-Gitters. Das Gitter ist so ausgelegt, dass es maximale Effizienz bei senkrechter Beleuchtung für eine Wellenlänge von 550 nm hat. Das Maximum der Effizienz verschiebt sich bei einer Änderung der Beleuchtungsrichtung von $\pm 5^\circ$ um ca. 100 nm.

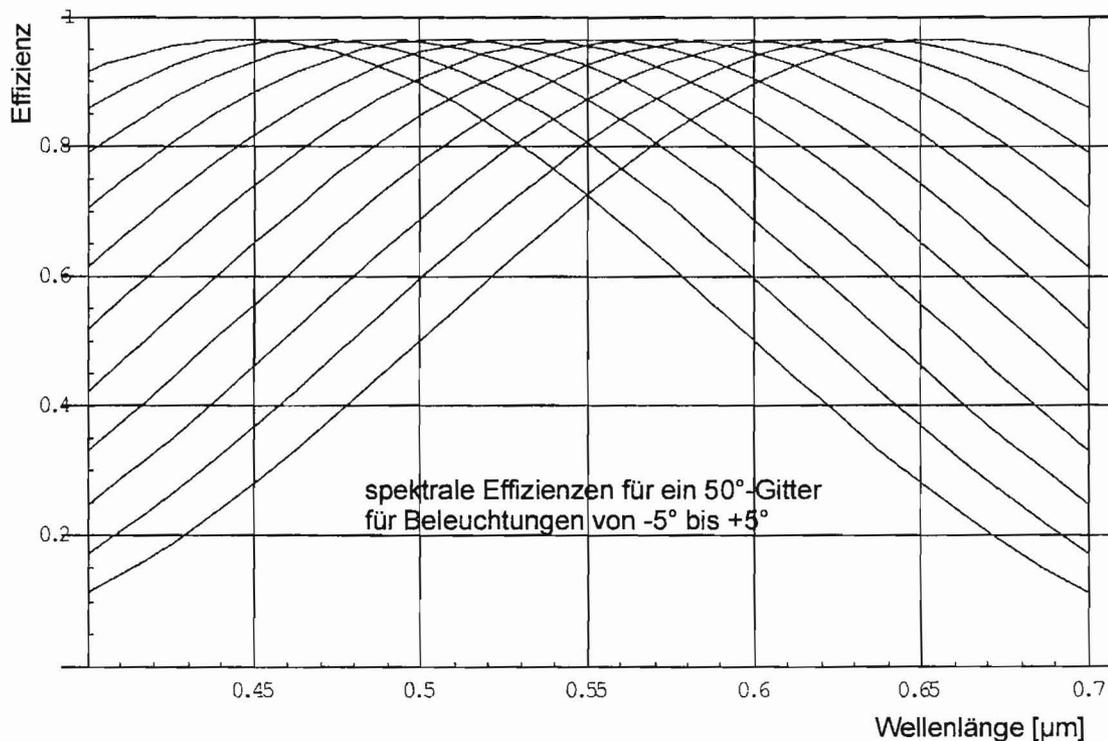


Abb. 2.2.2: Spektrale Effizienz eines 50°-Gitters für Beleuchtungen aus abweichender Beleuchtungsrichtung

Des weiteren ist die spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges für die Bewertung der Helligkeit einer Beleuchtung von entscheidender Bedeutung. Das menschliche Auge zeigt eine nennenswerte Empfindlichkeit im Bereich von 400 bis 700 nm, deren Maximalwert bei ca. 560 nm erreicht wird (vgl. Abb. 2.2.3).

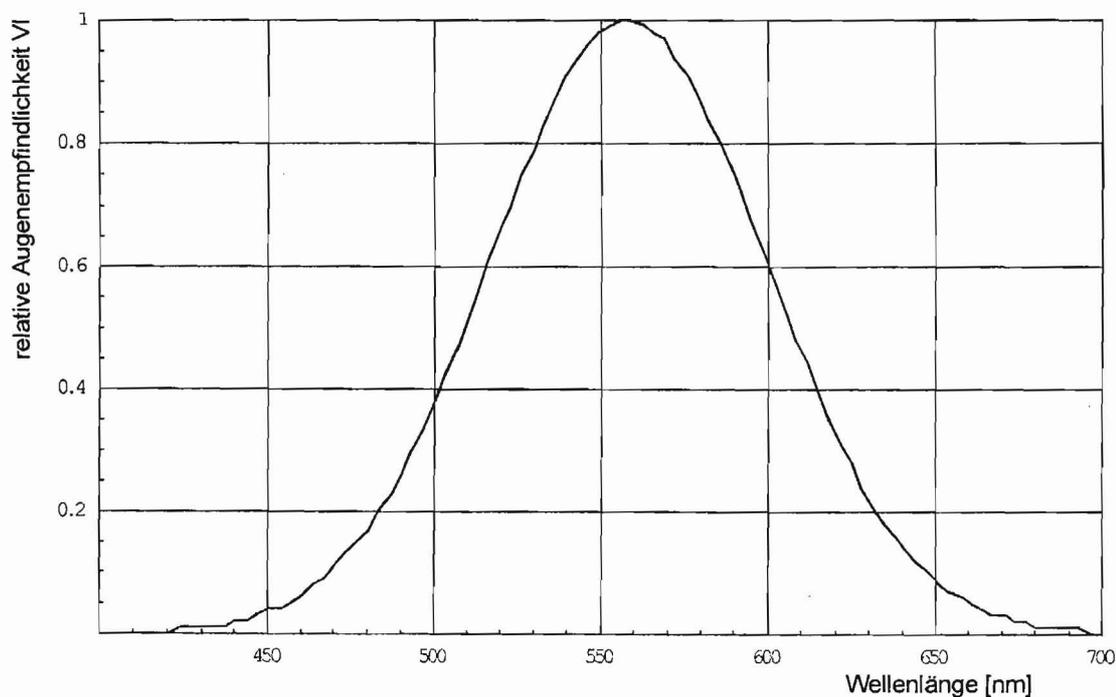


Abb. 2.2.3: Spektrale Empfindlichkeitskurve des Auges (V_λ), relativ

Um den Lichteintrag eines Beugungsgitters aus einem bestimmten Winkelbereich zu bestimmen, muss die spektrale Verteilungskurve seiner Effizienz (Abb. 2.2.2) mit der spektralen Verteilungskurve der Augenempfindlichkeit (Abb. 2.2.3) bewertet werden (vgl. Abb. 2.2.4).

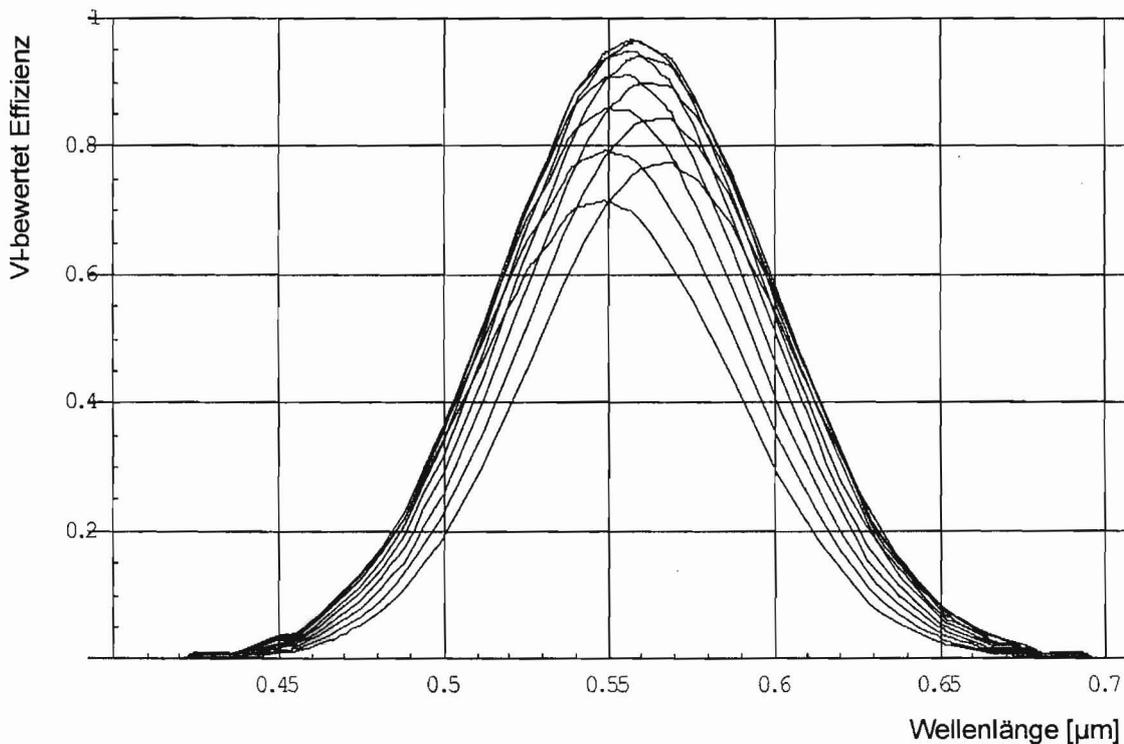


Abb. 2.2.4: Spektrale Verteilung des Beugungswirkungsgrads eines 50°-Gitters für Beleuchtungen aus abweichender Beleuchtungsrichtung, V_λ -bewertet

Zur Festlegung des optimalen Fangwinkels für die Nordlichtlenkung müssen die V_λ -bewerteten spektralen Effizienzkurven für verschiedene Beugungswinkel mit der zugehörigen Leuchtdichte des entsprechenden Himmelssegments multipliziert und über die Einstrahlwinkel integriert werden. Abbildung 2.2.5 stellt den Anteil des Lichtangebots dar, der durch die HOE umgelenkt wird. Es zeigt sich, dass der Fangwinkel, auf den das Lichtlenkelement ausgelegt ist, für den Wirkungsgrad des Systems nicht ausschlaggebend ist.

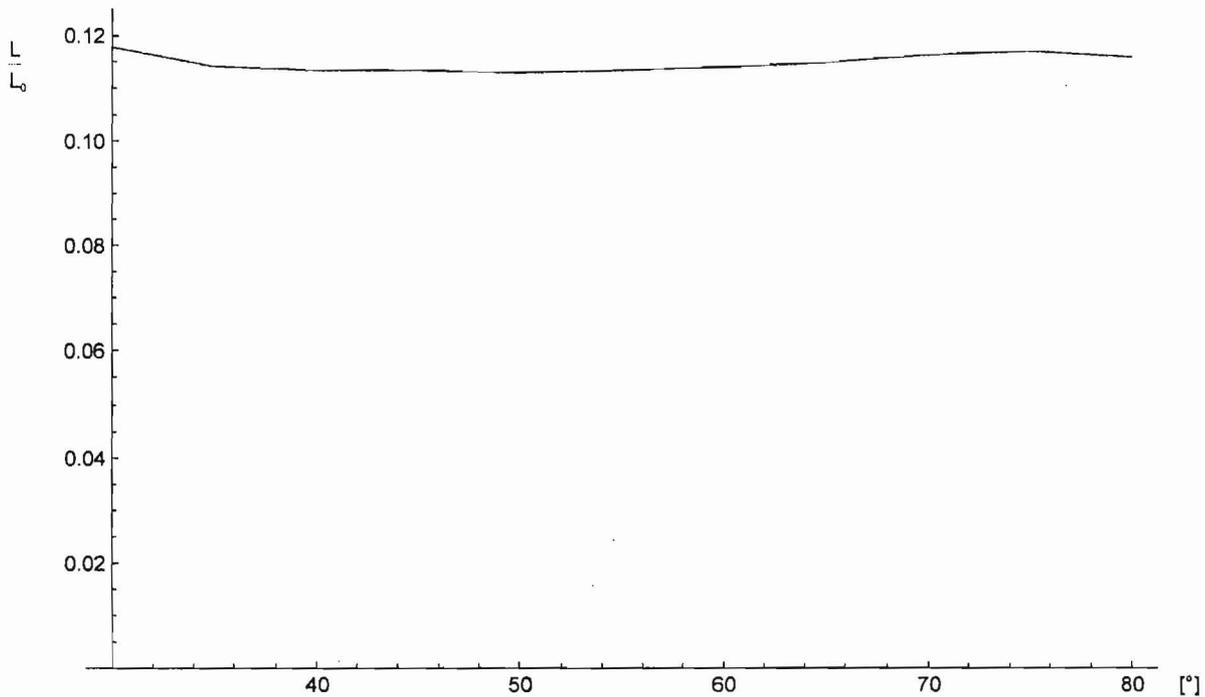


Abb. 2.2.5: Wirkungsgrad der NLL für verschiedene Fangwinkel bei bedecktem Himmel

2.3 Lichttechnische Betrachtung

Nach Betrachtung der äußeren Bedingungen (vgl. Kap. 2.1) und der physikalisch optischen Gegebenheiten (vgl. Kap. 2.2) wird für das Nordlichtlenkelement ein Beugungswinkel von 5° auf 50° festgelegt. Somit lenken die in einem Winkel von 45° vor dem Fenster montierten HOE das senkrecht einfallende Licht im Schwerpunkt in einem Winkel von 10° zur Decke (vgl. Abb. 2.3.1).

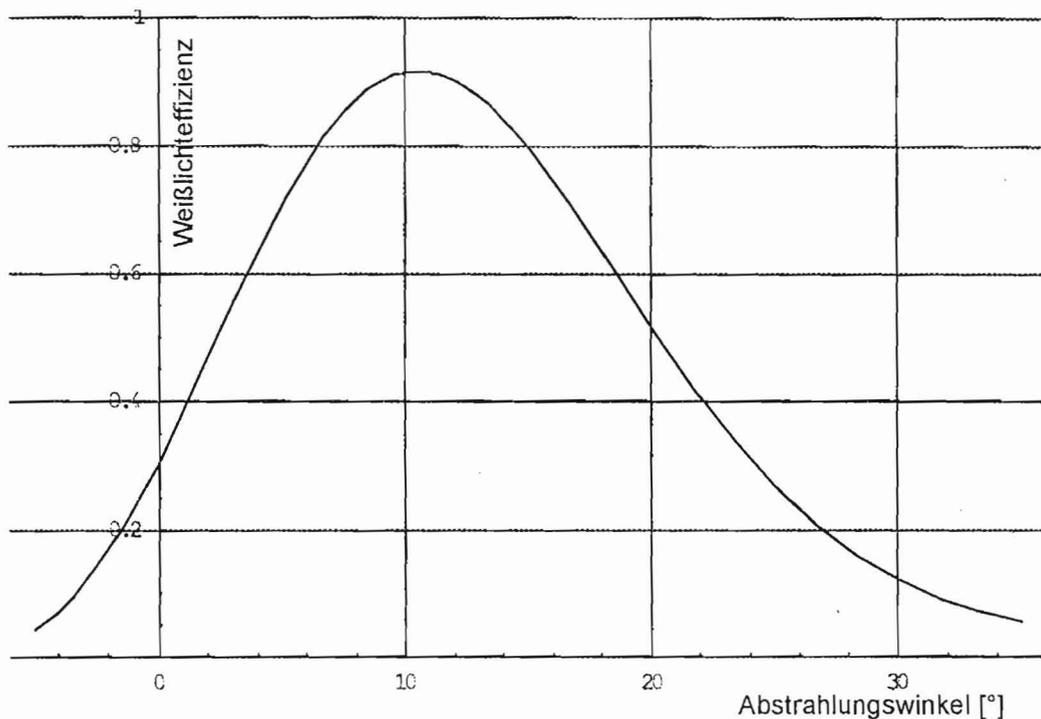


Abb. 2.3.1: Abstrahlcharakteristik der NLL

Für eine lichttechnische Simulation des Elements wird ein Modellraum definiert (vgl. Abb. 2.3.2). Dieser ist sieben Meter tief, fünf Meter breit und 2,7 m hoch. Er ist nach Norden orientiert und hat drei Fenster mit einer Glasfläche von 1,2 m x 1,2 m. Vor jedem Fenster ist ein 0,7 m x 1,2 m großes Nordlichtlenkelement mit einem Ausstellwinkel von 45° montiert. Der Raum hat eine Grundfläche von 35 m². Die Fläche der NLL beträgt 2,5 m².

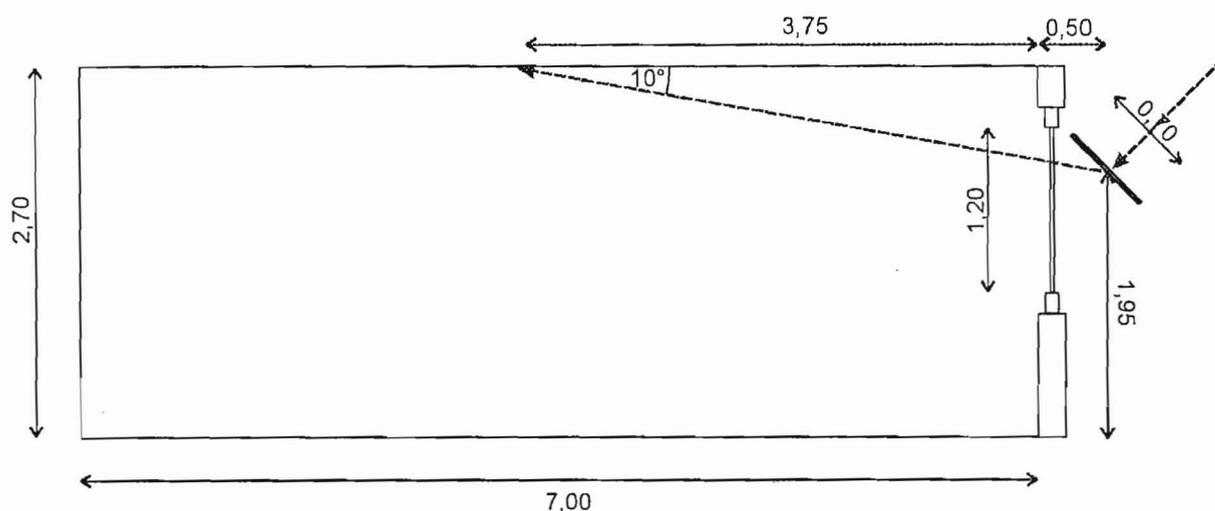


Abb. 2.3.2: Modellraum

Simuliert wird ein bewölkter Tag im Hochsommer um 10.00 bzw. 14.00 Uhr. Die Ergebnisse der Simulation lassen sich auf andere Tage zu anderen Zeiten übertragen, da für das Himmelsmodell nach DIN 5034, Teil 2, die Helligkeit des Himmels nur vom Sonnenhöhenwinkel abhängt (vgl. Gl. 2.1.1).

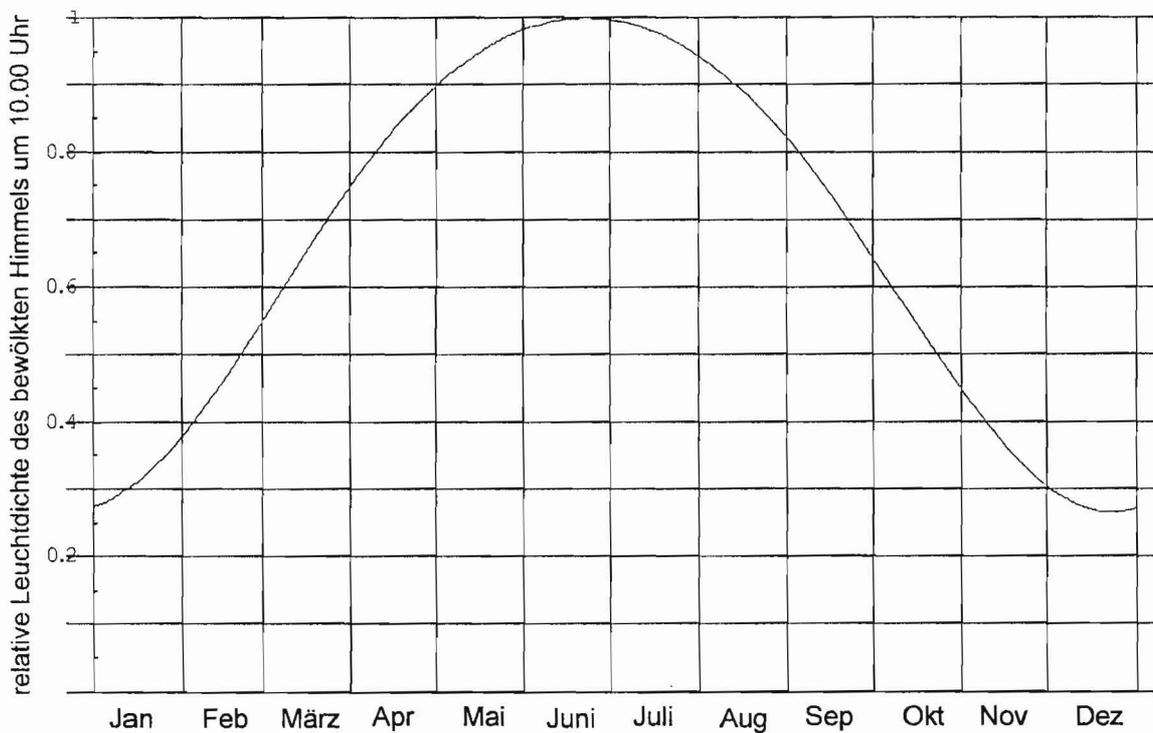


Abb. 2.3.3: Korrekturfaktor für den Jahresverlauf

Das von der NLL in den Raum gelenkte Licht wird an der Decke diffus nach unten gestreut. Je höher der Reflexionsgrad der Decke ist, desto stärker ist die Aufhellung des Raumes. Um einen möglichst hohen Lichteintrag durch das Element zu erreichen, ist es daher zweckmäßig, HOE mit einer hoch reflektierenden, d.h. möglichst weißen Raumdecke zu kombinieren. Ebenfalls wird ein Teil des Lichts von der gegenüberliegenden Wand zurückgeworfen. Auch hier gilt: Je heller diese Fläche ist, desto mehr Tageslicht steht für den Raum zur Verfügung. In der Simulation wird für die hintere Wand und die Decke ein Reflexionsvermögen von 80% angenommen. Reflexionen an den Seitenwänden werden bei der Simulation vernachlässigt.

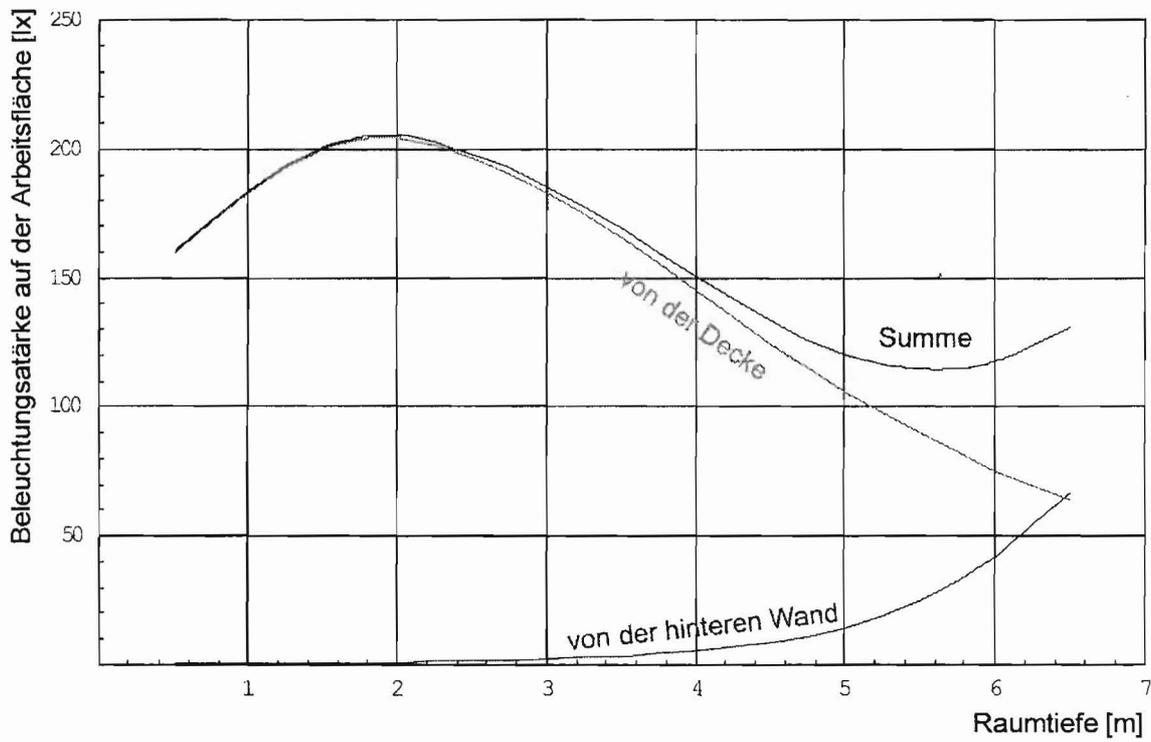


Abb. 2.3.4: Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche durch HOE entlang der Mittelachse des Raums

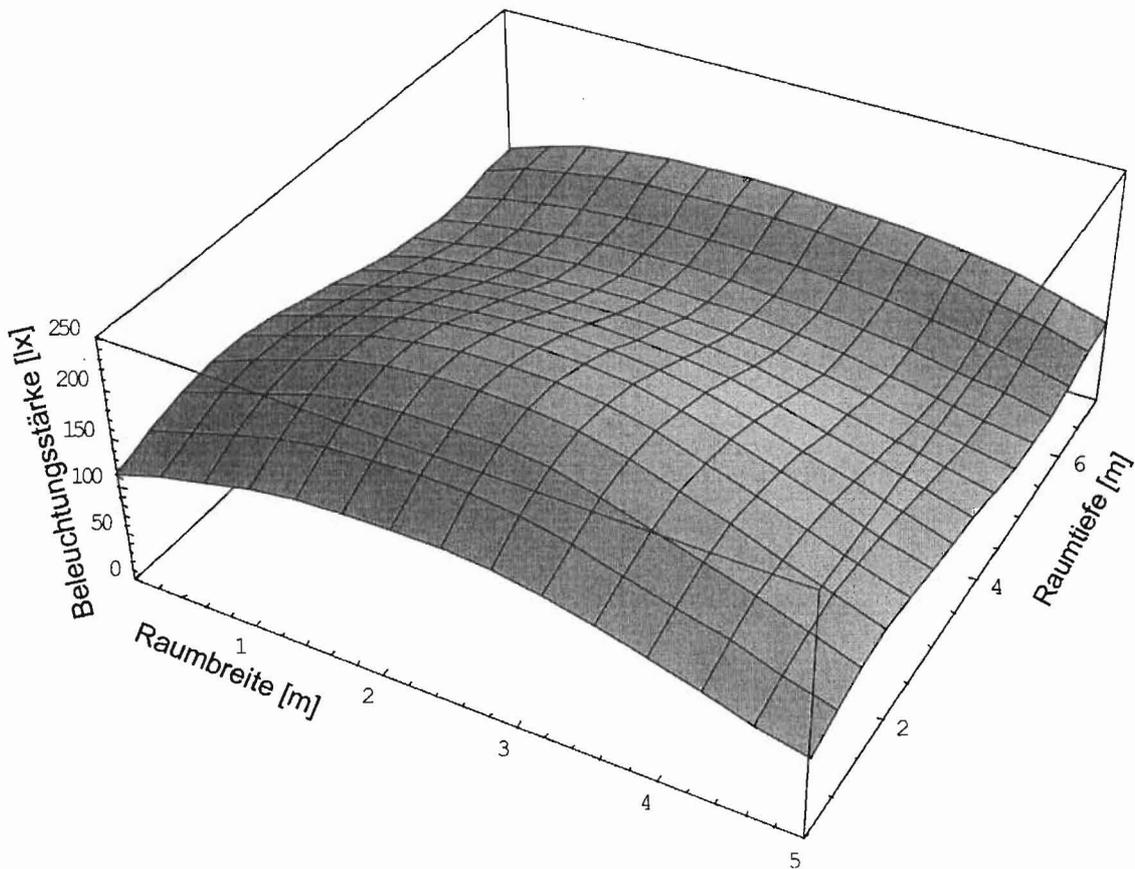


Abb. 2.3.5: Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche durch HOE für den gesamten Raum

Für den Bereich des Raums nah am Fenster wirkt das Lichtlenkelement wie eine Verschattung, da das Licht aus dem Zenit in die Raumtiefe umgelenkt wird. Anschaulich gesehen wird das Licht in Fensternähe in die Tiefe des Raums verschoben. Der Kontrast der Raumbeleuchtung, d.h. der Unterschied zwischen dem Lichtanteil nah am Fenster und dem weit im Innern des Raums, wird somit durch die NLL verringert. Für den Modellraum konnte eine Kontrastabnahme auf ungefähr ein Viertel des Wertes ohne NLL ermittelt werden. Es zeigt sich, dass die NLL zu einer deutlichen Aufhellung der Raumtiefe führt. Der Anstieg der Beleuchtungsstärke ist so groß, dass mithilfe von HOE an einem bedeckten Sommertag mit deutlich über 200 lx eine ausreichende Grundbeleuchtung sichergestellt ist.

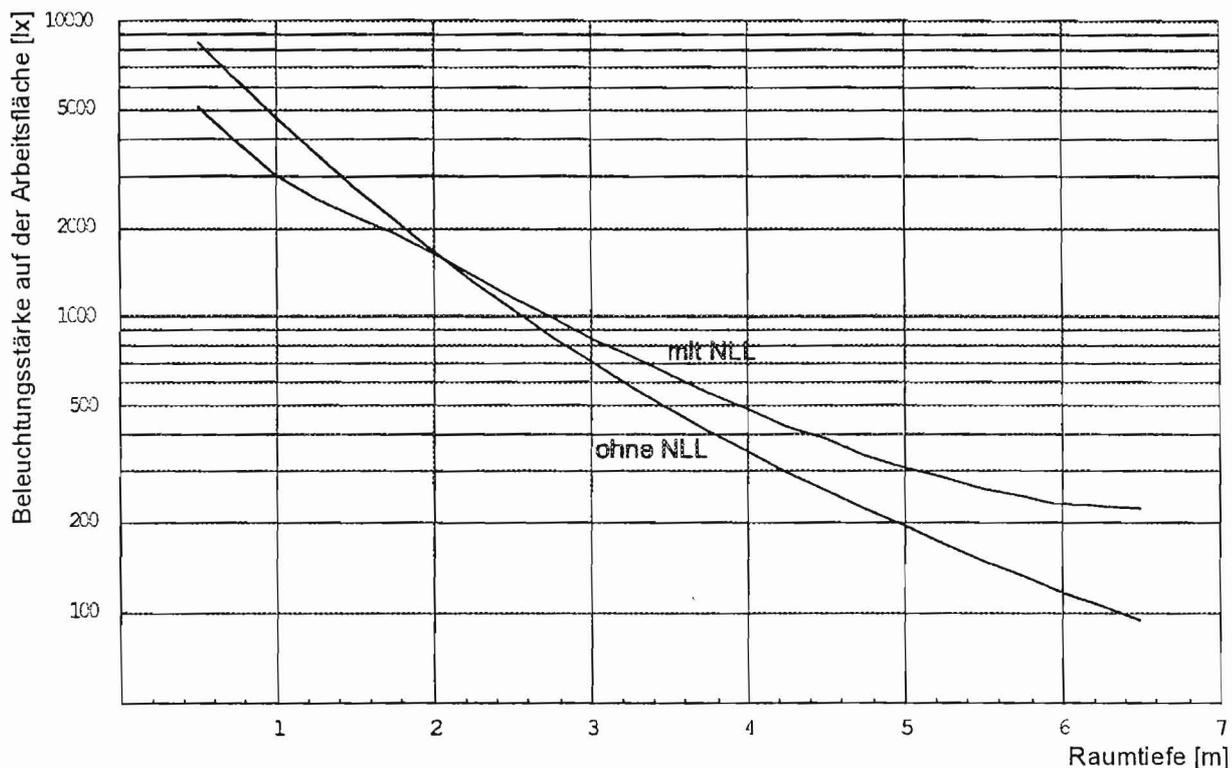


Abb. 2.3.6: Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche im Modellraum an einem bewölkten Tag im Hochsommer um 10.00 bzw. 14.00 Uhr

Für andere Jahreszeiten verringert sich das Lichtangebot entsprechend Abbildung 2.1.1. Mithilfe der Korrekturfaktoren aus Abbildung 2.3.3 und den Ergebnissen der Simulation lässt sich das zusätzliche Tageslichtangebot des Raums durch HOE für das ganze Jahr berechnen. Die Beleuchtungsverhältnisse im Raum verändern sich hierbei nicht. D.h. auch an einem bedeckten Dezembertag verdoppelt die NLL das Lichtangebot im hinteren Teil des Zimmers. Es werden jedoch im Gegensatz zum Sommer lediglich 60 lx aufgrund der HOE erreicht.

2.4 Physiologische Betrachtung

Die Nordlichtlenkung ist eine dynamische Raumbeleuchtung, die an das Wettergeschehen gekoppelt ist. Ziehende Wolken erzeugen sowohl in der Intensität

als auch in der Lichtfarbe veränderliche Lichtsituationen, was eine lebendige Lichtwirkung zu Folge hat. Die Lichtausbeute auf der Arbeitsfläche ist bei dieser indirekten Nutzung eher gering. Der Nutzen der NLL liegt vor allem in einer Aufhellung des Raums an sich, um dem Eindruck des „dunklen Lochs“ entgegenzuwirken. Eine Amortisationsrechnung, die sich lediglich auf Energieeinsparung bei der Beleuchtung beruft, wird bei der NLL zu keinem befriedigenden Ergebnis führen, ist allerdings nicht allein ausschlaggebend für den Einsatz der HOE als Lichtlenkung. Es kann ein Gewinn an Behaglichkeit erreicht werden, der nicht unbedeutend ist. Die dezente Farbigkeit des Lichts, die durch die spektrale Effizienz der HOE hervorgerufen wird, kann die NLL allerdings als Beleuchtung für farbsensible Arbeitsplätze (z.B. in der Grafik) unbrauchbar machen.

2.5 Konstruktionsentwicklung

Die Festlegung des Fangwinkels in Kapitel 2.3 begründet sich durch produktions- und gestaltungstechnische Vorgaben. Die Leistungsfähigkeit des Lichtlenkelements ist abhängig von den physikalischen Eigenschaften, die im wesentlichen durch den Wirkungsgrad (vgl. Kap. 2.2) und der Größe der Fläche, die zum „Einfangen“ des Lichts zur Verfügung steht, bestimmt sind. Bei der Fangfläche muss zusätzlich zur Größe der Fläche auch die Ausrichtung der Fläche zum Fangwinkel berücksichtigt werden. Hierbei geht näherungsweise der Kosinus des Winkels zwischen der Fangrichtung und dem Lot der Fangfläche als Minderungsfaktor in die Lichtausbeute ein. D.h. die größte Lichtausbeute pro Flächeneinheit HOE ist zu erzielen, wenn die Fangfläche senkrecht zum Fangwinkel steht.

Die Wahl des Fangwinkels wird von zwei gegenläufigen Punkten beeinflusst:

- Je höher der Fangwinkel desto günstiger die Lichtverteilung: Es soll der Teil des Lichts „umgeschichtet“ werden, der im Überfluss nahe des Fensters vorhanden ist.
- Je höher der Fangwinkel desto größer die Reflexionsverluste an der Glasoberfläche. Die Reflexionsverluste treten bei vertikalem Einbau an der vorderen Glasfläche, bei dem ausgestellten Element an der Rückseite des Glases auf.

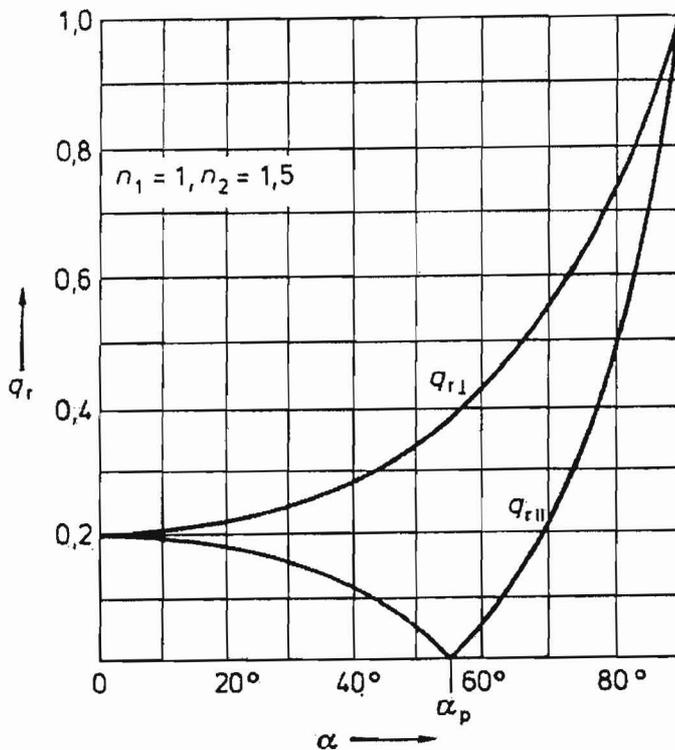


Abb. 2.5.1: Fresnellsche Reflexionen für eine Glasoberfläche²

Wie in Abbildung 2.5.1 zu sehen ist, nehmen die Reflexionen an einer Glasoberfläche mit Winkeln größer 60° rapide zu. Das hat zur Folge, dass ein Austritts- oder Eintrittswinkel von mehr als 60° an der Glasscheibe zwingend vermieden werden sollte.

2.6 Baubetrachtung

Das aus der NLL austretende diffuse Licht kann bei Verbauung oder einer Anwendung in einem Schacht auf zwei Wegen für die Beleuchtung der Raumtiefe genutzt werden:

- Es kann wie bisher an die Decke gelenkt werden, um indirekt für eine Aufhellung zu sorgen. Dieser Einsatz ist nur dann möglich, wenn die Verbauung das Fangen des Lichts weiterhin zulässt, d.h. der Schacht nicht zu eng ist.
- Es kann direkt auf die Arbeitsflächen gerichtet werden. Diese Anwendung ermöglicht einen steileren Fangwinkel, somit einen engeren Schacht.

Bei direkter Beleuchtung des Arbeitsplatzes kann das einfallende Licht jedoch zu Blendung führen. Allerdings ist fraglich, ob die Intensität des umgelenkten Lichts hoch genug ist, um zu blenden, da der diffuse Himmel umgelenkt wird. Es ist schließlich nicht damit zu rechnen, dass ein verbauter Teil der Aussicht heller als ein unverbautes Himmelssegment wird.

² Bergmann, L.; Schaefer, C.: Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. 3. Optik. Hrsg. von H. Gobrecht. - Berlin; New York: de Gruyter 1987. S. 498

3 Belichtungsautomation

3.1 Stand der Technik

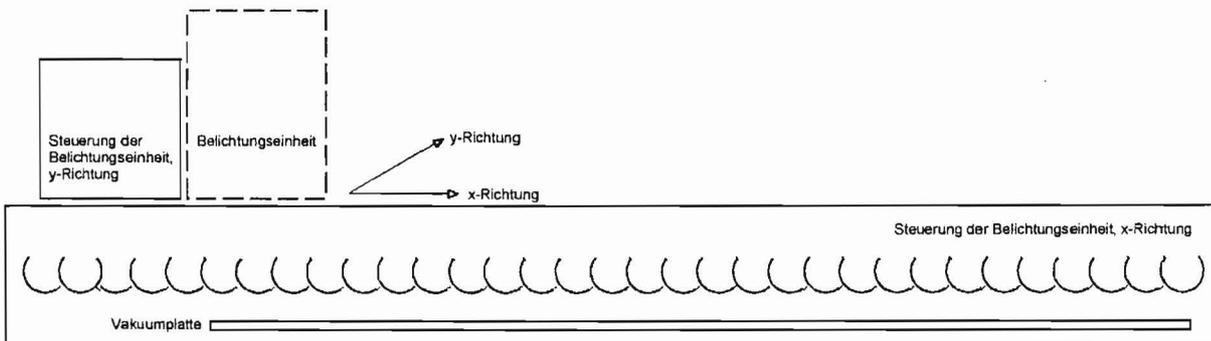


Abb. 3.1.1: Belichtungseinrichtung für Hologramme

Eine erfolgreiche Markteinführung der Nordlichtlenkung scheidet bisher an der aufwendigen Herstellung von Einzelteilen und den immer wieder erneut benötigten Planungs- und Organisationsarbeiten. Die Herstellung des Lichtlenkelements ist zwar prinzipiell ausgereift, jedoch derzeit in der Durchführung sehr aufwendig. Bei der Herstellung eines Nordlichtlenkelements fallen bislang folgende Arbeitsschritte an:

- Prüfung der Einbaumöglichkeiten,
- Konstruktion des Elements nach Absprache mit Kunde, Metallbauer und Glaswerk,
- Berechnung der Umlenkwinkel,
- Montage des zu belichtenden Filmstücks auf der Belichtungseinrichtung,
- Belichtung durch Step-and-Repeat-Einrichtung,
- chemische Entwicklung,
- Zuschnitt des Films auf Endmaß,
- Versand ans Glaswerk,
- Fassung des Glases in die Metallkonstruktion und
- Befestigung des Elements am Gebäude.

Bei der Belichtungseinrichtung in Abbildung 3.1.1 muss der Film zunächst auf das richtige Maß geschnitten werden. Dieses Stück Film wird auf einen schwingungsfrei gelagerten Tisch aufgelegt, zur Belichtungseinheit ausgerichtet und, um die Planlage zu garantieren, angesaugt. Die maximal zu belichtende Fläche beträgt

1 m x 1,70 m. Mithilfe von Linearbahnen wird der Belichtungskopf über den Film in x- und y-Richtung bewegt und der Film wird belichtet.

3.2 Umbau der Belichtungsmaschine

Um den Herstellungsprozess zu rationalisieren, ist eine Belichtungseinheit entwickelt worden, die eine vollautomatische Belichtung erlaubt (vgl. Abb. 3.2.1). Die Hologramme werden von Rolle zu Rolle belichtet und entwickelt. Die Rollen, deren Breite bis maximal 1,70 m reichen, sind vom Hersteller auf eine Länge von 50 m konfektioniert. Durch die Festlegung der Elemente auf einen Umlenkwinkel entfallen die Fahrten der Achsen für Objekt- und Referenzwelle. Der Film läuft von der Filmabwickelrolle über Umlenkwalzen zur Vakuumpalte, wird dort Reihe für Reihe selbsttätig angesaugt, belichtet und weiter transportiert, um nach weiteren Umlenkwalzen an der Filmaufwickelrolle aufgespult zu werden. 50 m Film in Folge können belichtet werden.

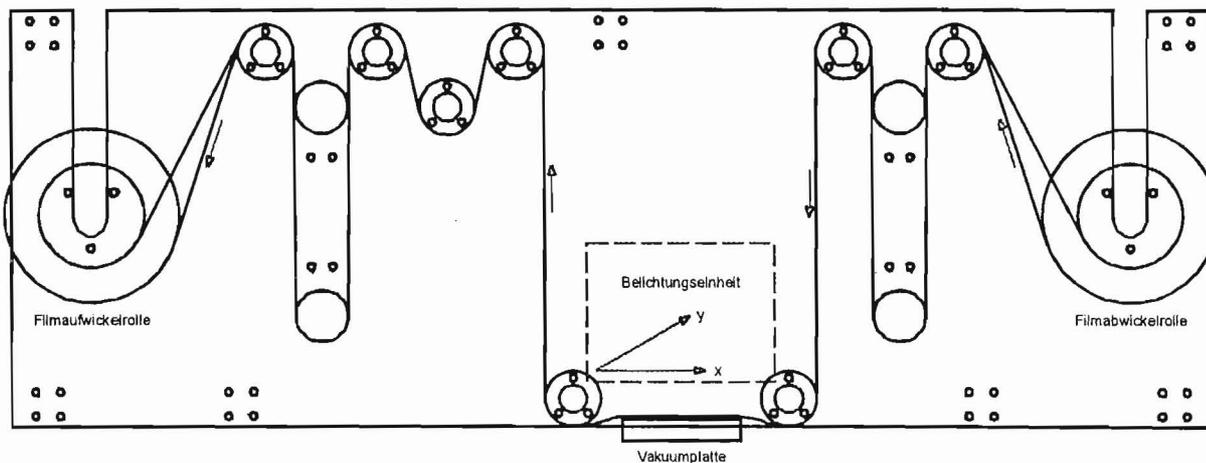


Abb. 3.2.1: Belichtungseinrichtung zur automatisierten Belichtung

3.3 Testphase und Optimierung

Beim Umbau der Belichtungsmaschine von einem Flachbett- zu einem Rollentransportsystem traten in folgenden Bereichen Probleme auf:

- Filmtransport in x-Richtung,
- Steuerung des Transports,
- Ausrichtung der einzelnen Bauteile zueinander,
- Staubpartikel und Kratzer.

Der Filmtransport sowohl in x- als auch in y-Richtung ist neben dem Maskensitz von entscheidender Bedeutung für die Passgenauigkeit der einzelnen Belichtungsfelder. Abbildung 3.3.1a zeigt die fehlerhafte Rasterung bei ungenauem Maskensitz, Abbildung 3.3.1b die bei schlechtem Filmtransport.

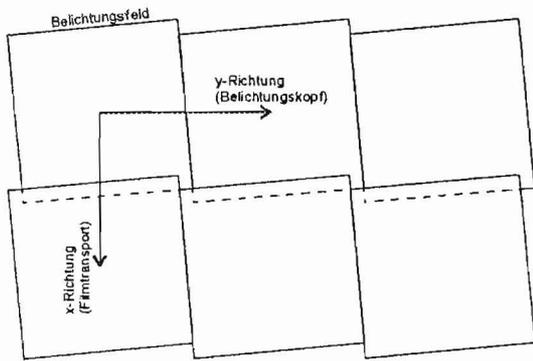


Abb. 3.3.1a: Fehlerhafter Maskensitz

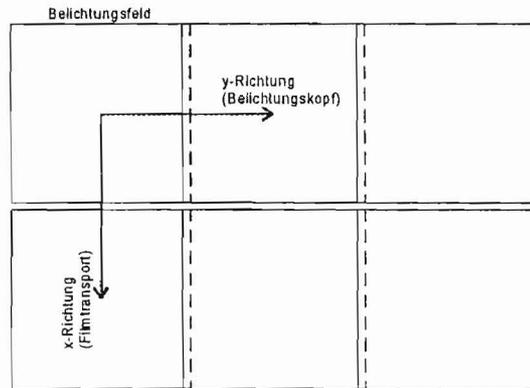


Abb. 3.3.1b: Fehlerhafter Filmtransport

Ziel der NLL ist es, Licht in den Raum zu lenken, ohne dabei die Sicht nach außen zu versperren. Der holographische Film an sich ist zwar transparent, jedoch tritt die Rasterung der HOE und somit der Film je deutlicher in Erscheinung, um so ungenauer Feld an Feld belichtet wird. Um auf der Fensterfläche des Elements eine möglichst einheitlich homogene Fläche zu erreichen, müssen demzufolge die Ausrichtung der Maske, die Fahrt des Belichtungskopfs und der Filmtransport stimmen. Für den exakten Filmtransport werden gehärtete, gerichtete Präzisionswellen eingesetzt. Die Abstimmung des Transports in Start-, Lauf- und Endgeschwindigkeit erfolgt softwaregesteuert. Zur Vermeidung von Kratzern auf dem Film werden spezielle Materialien wie beispielsweise Teflon verwendet.

„Holographie (grch.: holos = vollständig, graphein = schreiben) ist ein zweistufiges Verfahren zur Aufzeichnung und Rekonstruktion von Bildern beliebiger Gegenstände. In der ersten Stufe wird das von einem Gegenstand ausgestrahlte Lichtwellenfeld in einer Ebene als Hologramm in einem photoempfindlichen Material gespeichert. Die Speicherung ist vollständig, [...]. Mit Hilfe des Hologramms kann [...] in der zweiten Stufe des Verfahrens das ursprüngliche, vom untersuchten Gegenstand abgestrahlte Lichtwellenfeld wieder rekonstruiert werden. Da in dem Lichtwellenfeld alle optische Information über den Gegenstand erhalten ist, wird auf diese Art und Weise ein originalgetreues Bild des Gegenstandes erzeugt, das wie der Gegenstand selbst einen räumlichen Eindruck macht.“³

Durch das holographische Aufnahmeverfahren und der damit verbundenen Tatsache, dass die Holographie vollständig aufzeichnet, ist die Belichtung der HOE in Bezug auf Staubpartikel äußerst empfindlich. Jeder Staubpartikel zwischen Film und Ansaugplatte zeichnet sich nach der Entwicklung als scheinbarer „Hubbel“ im Film ab. Man sieht förmlich das Staubkorn noch unter dem Film liegen. Um Einbelichtungen von Staubkörnern auszuschließen, ist eine spezielle Ansaugplatte entwickelt worden. Wie in Abbildung 3.3.2 zu sehen ist, befindet sich am Ort der Belichtung eine Vertiefung. Direkt hinter dem Film, der gerade belichtet wird, ist somit keine Fläche, auf der sich Staub festsetzen kann. Vor und hinter dieser Nut wird der Film angesaugt, so dass die bei der Belichtung notwendige Planlage des Films erhalten bleibt.

³ Bergmann, L.; Schaefer, C.: Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. 3. Optik. Hrsg. von H. Gobrecht. - Berlin; New York: de Gruyter 1987. S. 461f.

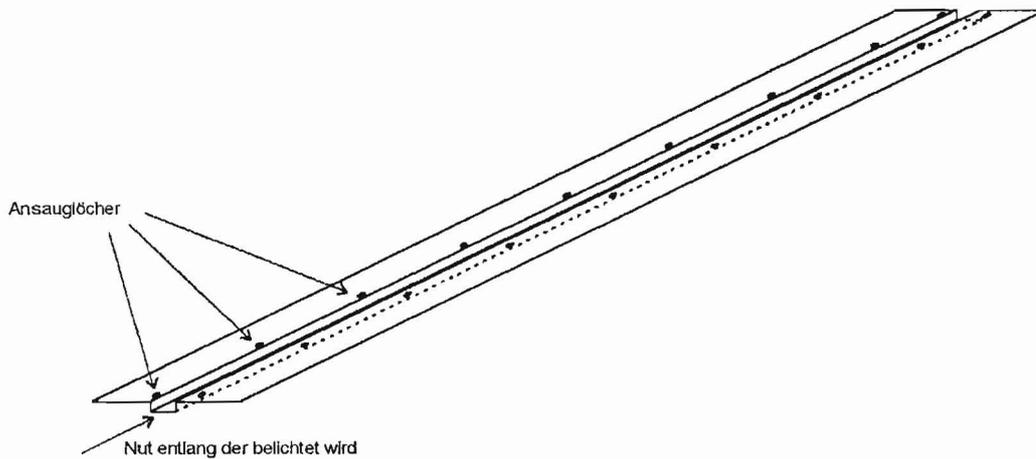


Abb. 3.3.2: Modifizierte Vakuumplatte

3.4 Mustererstellung

Bevor die Filme für die Musterelemente hergestellt werden, ist es notwendig, das holographische Filmmaterial einzutesten. Es werden mehrere Streifen Film mit sogenannten Gitterkeilen belichtet, bei denen einzelne Felder mit unterschiedlichen Belichtungszeiten belichtet werden. Die Belichtungszeit von Feld zu Feld ändert sich jeweils um den Faktor $\sqrt{\sqrt{2}}$. Während der Entwicklung des Films wird die Dichte der einzelnen Belichtungsfelder gemessen, an den entwickelten Gittern wird der Beugungswirkungsgrad bestimmt. Abbildung 3.4.1 zeigt die Dichte-Effizienzkurve des holographischen Films Agfa-Skypro. Belichtet wurde ein Gitter $0^\circ/40^\circ$.

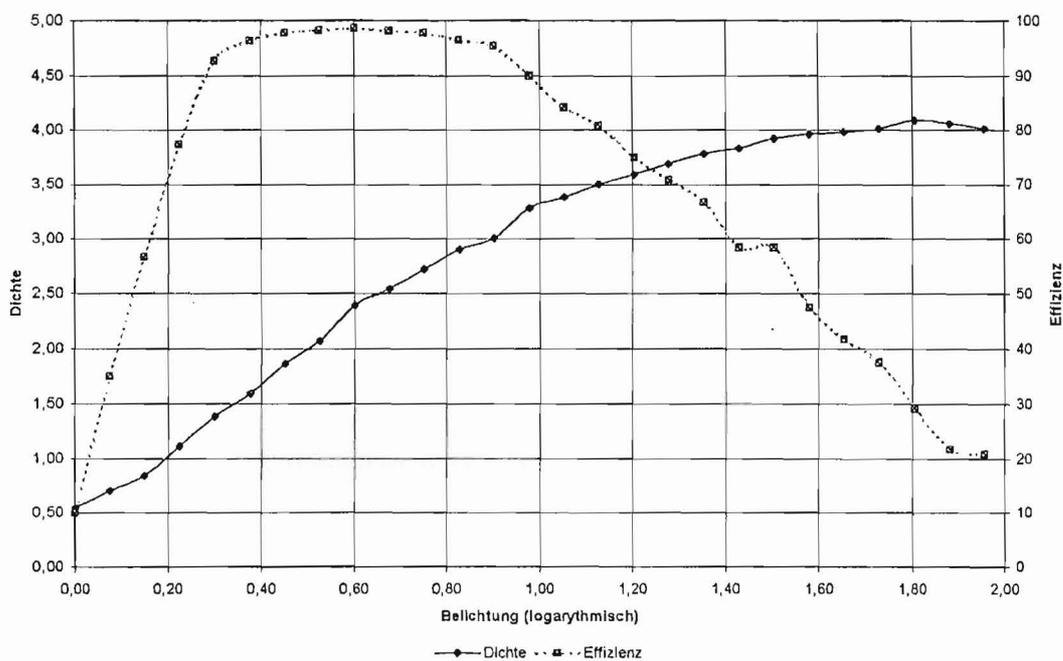


Abb. 3.4.1: Dichte-Effizienzkurve von holographischen Gittern des Agfa-Skypro

4 Herstellung der Musterelemente

4.1 Glaswerke Arnold – Neue Einbettverfahren⁴

4.1.1 Herstellen von Verbundgläsern mit Hologrammfolie

Das Problem hier war das Herstellen einer dauerhaften Verbindung zwischen Glas und der HOE. Weiterhin musste berücksichtigt werden, dass die Funktionalität der HOE bewahrt bleibt.

4.1.2 Weiterverarbeitung zu Isolierglas

Ziel hier war, die Möglichkeit zu schaffen, Isolierglaseinheiten herstellen zu können, unter Wahrung aller bauaufsichtlichen relevanten Kriterien, z.B. Oberkopfverglasung, Wärmedämmung, Schallschutz.

Als Ergebnis zu den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 lässt sich zusammenfassen, dass alle Scheibenaufbauten mit Eigenschaften, die üblicherweise am Bau verwendet werden, hergestellt werden können.

4.1.3 Tests zur Einbettung auf Stoß

Da die HOE in der Breite begrenzt sind, liegt der Wunsch nahe, diese mittels Aneinanderlegen zu breiteren Applikationen zu gelangen. Ziel sollte eine, zwischen dem HOE, fugenlose Einbettung sein. Versuche mit Tapes, Kleber und mechanischer Fixierung zeigten kein positives Ergebnis. Effekte wie Zerstörung der HOE, Vergilbung und Blasen im Verbund traten auf. Vorschumpfen der HOE ergab das einzig vertretbare Ergebnis. Dabei bleibt allerdings ein ca. 4 mm Spalt zwischen den Folien.

4.1.4 Kostenschätzung

Die unter Kapitel 4.1.1 erreichte Machbarkeit verlangt eine diskontinuierliche Einzelfertigung, d.h. weder höhere Stückzahlen noch konstante Formate erzielen eine nennenswerte Kostenminderung.

⁴ nach Abschlussbericht Glaswerke Arnold, siehe Anhang

4.1.5 Versuch zur Rollenverarbeitung von HOE-Folien

Hier ist keine Kostenreduktion zu erwarten, da es im Prinzip egal ist, wo der belichtete Film zugeschnitten wird (im Institut- für Licht- und Bautechnik oder bei den Glaswerken Arnold).

4.1.6 Einbettung mehrerer HOE-Folien

Die Einbettung mehrerer HOE-Folien in einer großen Scheibe, die später konfektioniert wird, weist sicherlich ein größeres Einsparpotential auf. Leider aber nur vordergründig. Betrachtet man die Kapitel 4.1.1 und 4.1.4 und zieht man das erhöhte Risiko für Produktionsfehler (Ausfall der Scheiben beim Sägen oder Schneiden der Verbundscheiben) hinzu, so ist auch hier eine Einsparung fraglich.

4.1.7 Zusammenfassung

Es können Verbundscheiben und Isolierglasscheiben hergestellt werden. Die Verfahren dazu sind stabil. Die Endprodukte sind marktreif. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften sind von Dauerhaftigkeit.

Es wurde sieben Scheiben unseren Projektpartnern zur Verfügung gestellt, um weitere Untersuchungen durchführen zu können.

4.2 Remmel + Peters – Konstruktion einer Haltevorrichtung⁵

Die Anbringung der Verglasungen zur Nordlichtlenkung soll bei allen Prototypen unter 45° Neigung vor der Fassade/Fenster geschehen.

Aus der Berücksichtigung des Abstrahlwinkels von 10° zur Waagerechten in den Raum unter die Decke ergibt sich lt. Zeichnung Nr. NK 7 die Anordnung in der Vertikalen.

⁵ nach Abschlussbericht Remmel + Peters Metallbau, siehe Anhang

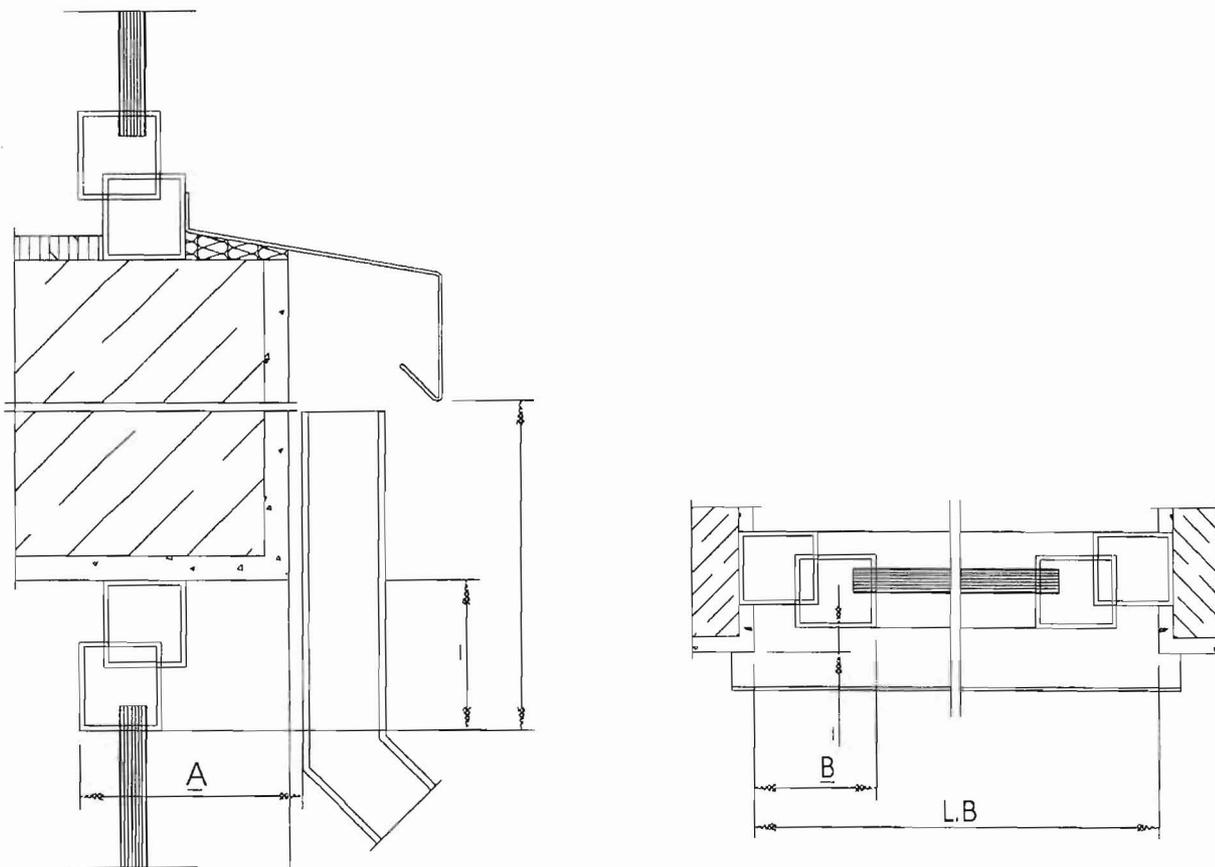


Abb. 4.2.1: Schemazeichnung NK 7

Bei der Anordnung in der Horizontalen müssen die Verschmutzungsgefahr, Reinigungsmöglichkeit sowie die individuelle Architektur des Objektes berücksichtigt werden. Nistmöglichkeiten für Vögel sowie Sitzmöglichkeiten für Tauben sollten möglichst vermieden werden.

Bei der Planung stellte sich heraus, dass ein Einsatz im Einfamilienhausbereich mit in etwa außenniveaugleichem Erdgeschossboden nur in Bereichen, die nicht zugänglich sind, sinnvoll ist.

Im einzelnen wurden folgende Konsolen zur Nordlichtlenkung (NK) entworfen:

4.2.1 NK 1

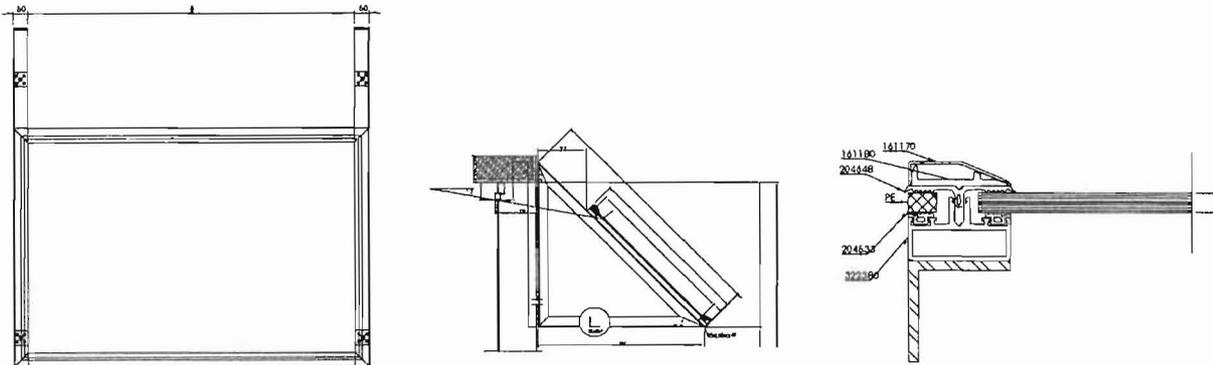


Abb. 4.2.1.1: Konsole NK 1 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)

Die unsymmetrische Konsole aus einem Winkel 50/50 in Form eines Dreieckrahmens dient als Träger für einen Rahmen aus schlanken Fassadenprofilen zur Aufnahme der Verglasung. Die Verankerung geschieht seitlich, neben den Fensterleibungen im Baukörper.

4.2.2 NK 2

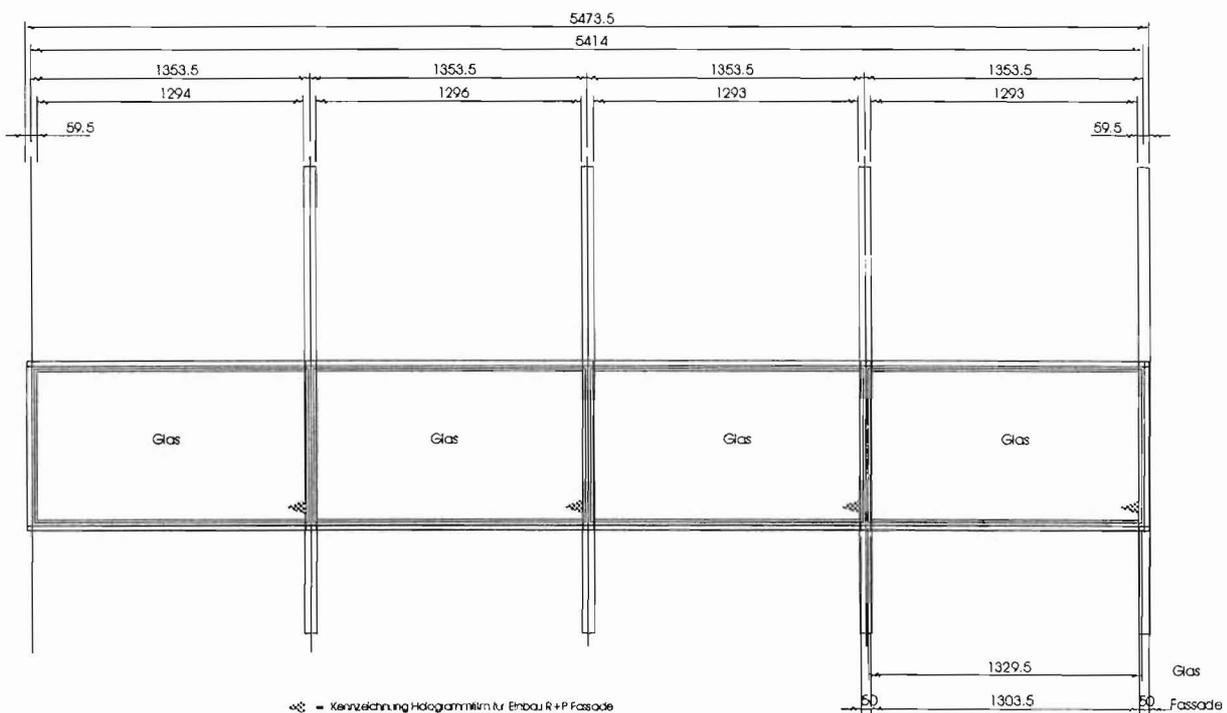


Abb. 4.2.2.1: Konsole NK 2 (Ansicht)

Hier ist der wandseitige Träger zunächst ein T 50/50, auf welches die glashaltende Fassadenkonstruktion direkt als selbsttragendes Element angelenkt wird. Die

statisch notwendige Abstützung nach unten ist über ein Aluminium-Rundrohr, Durchmesser 30 mm, vorgenommen.

Aufgrund der gewählten Konstruktionsteile ist hier eine Feineinstellung der Winkligkeit möglich.

Diese Befestigungsart eignet sich insbesondere für Pfostenriegel-Metallglas-Fassaden.

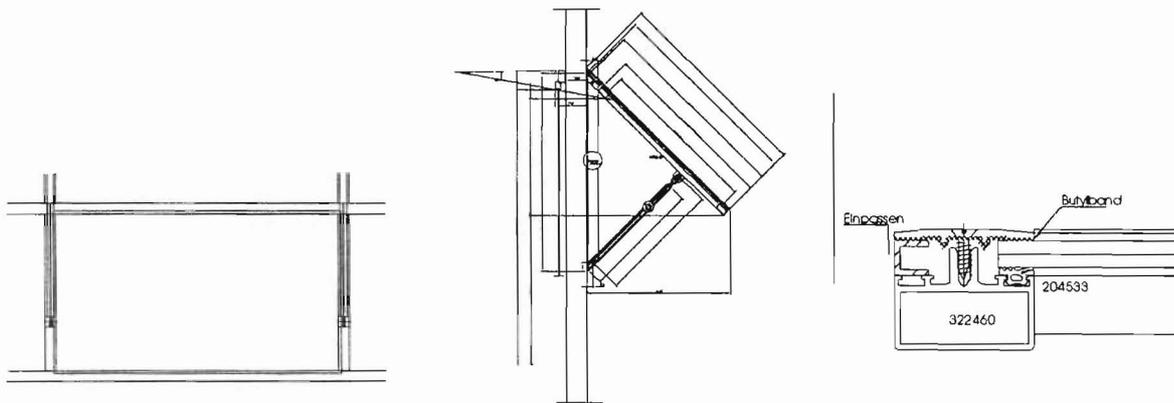


Abb. 4.2.2.2: Konsole NK 2 (Ansicht/Feldausschnitt, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)

4.2.3 NK 3

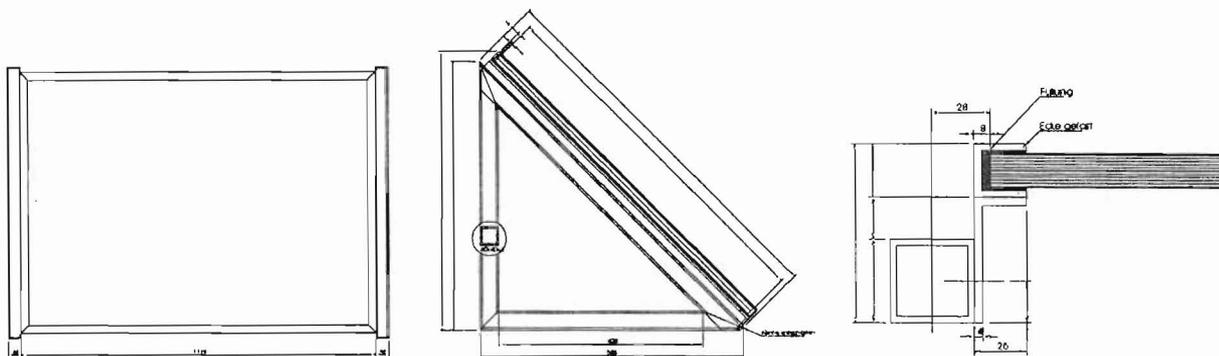


Abb. 4.2.3.1: Konsole NK 3 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)

Hier handelt es sich um eine Konsole aus einem tragenden Rohr 40/4; Anordnung ähnlich wie bei NK 1.

Die glashaltende Konstruktion besteht zunächst aus einem U 20/3, welches verstärkt wird durch einen auf- oder unterliegenden Aluminiumwinkel.

Diese Konstruktion ermöglicht eine gute statische Aussteifung bei optischer Schlankheit.

4.2.4 NK 4

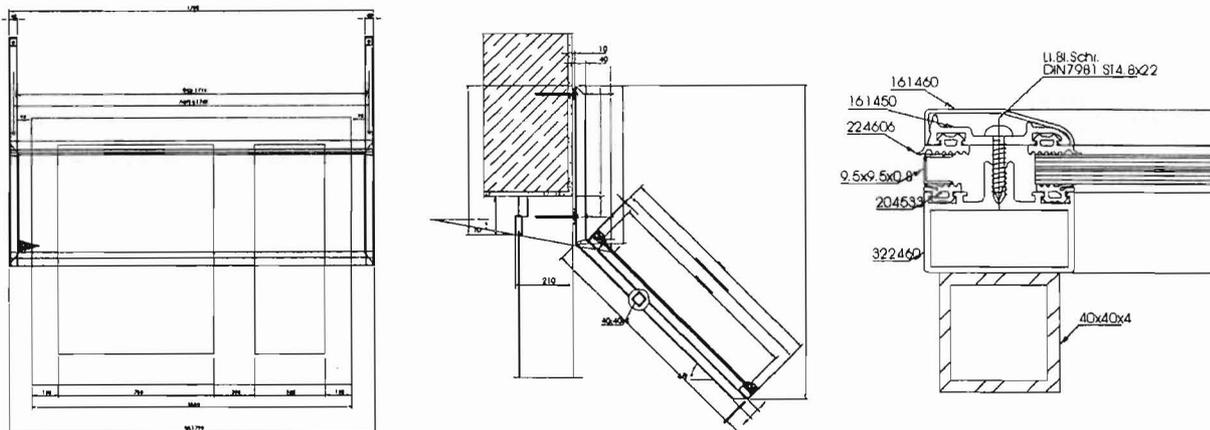


Abb. 4.2.4.1: Konsole NK 4 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)

Dies ist eine auskragende, abgeknickte Konsole aus Rohr 40/4, mit aufliegender, leichter Fassadenkonstruktion.

Sie bietet den Vorteil der Befestigung oberhalb des zu belichtenden Fensters. Hierdurch wären auch nur Teilbelichtungen innerhalb eines größeren Fensterbandes darzustellen.

4.2.5 NK 5

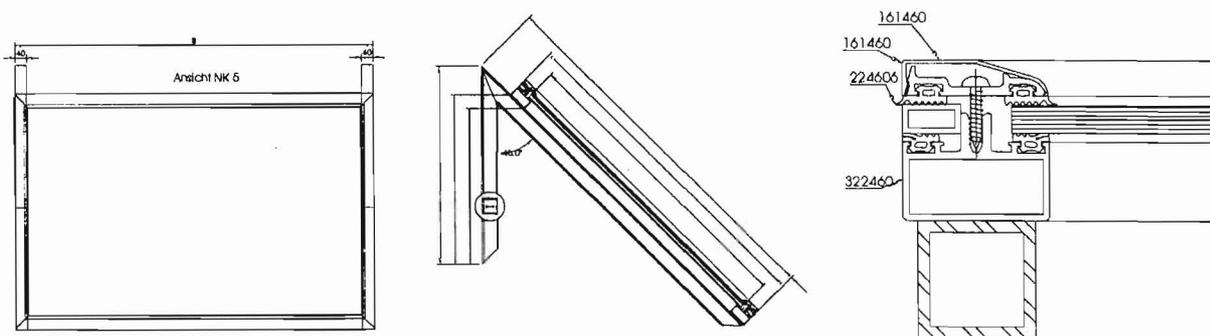


Abb. 4.2.5.1: Konsole NK 5 (Ansicht, Vertikalschnitt, Schnitt durch Sparren)

Als Pendant zu NK 4, nicht von oben abgehängt und abgeknickt auskragend, sondern von unten kommend, seitlich befestigt und dann unter 45° auskragend.

Architektonisch elegante Variante mit Befestigungen, die seitlich neben der Laibung vorgenommen werden.

5 Pilotprojekt

5.1 Einsatz der Lichtlenkelemente

Es werden insgesamt drei Räume mit Lichtlenkelementen ausgestattet. Es handelt sich hierbei um ein Büroraum der Firma Rimmel + Peters Metallbau GmbH & Co. KG, den Konferenzraum des Instituts für Licht- und Bautechnik und die Werkstatt der Firma G+B pronova GmbH. Für alle drei Räume werden Filme mit Gittern mit den Winkeln $5^\circ/50^\circ$ belichtet. Während in dem Büroraum und der Werkstatt die Lichtlenkelemente standardmäßig eingesetzt werden, wird die Scheibe im Konferenzraum um 180° vertikal gedreht eingesetzt (vgl. Abb. 5.1.1).

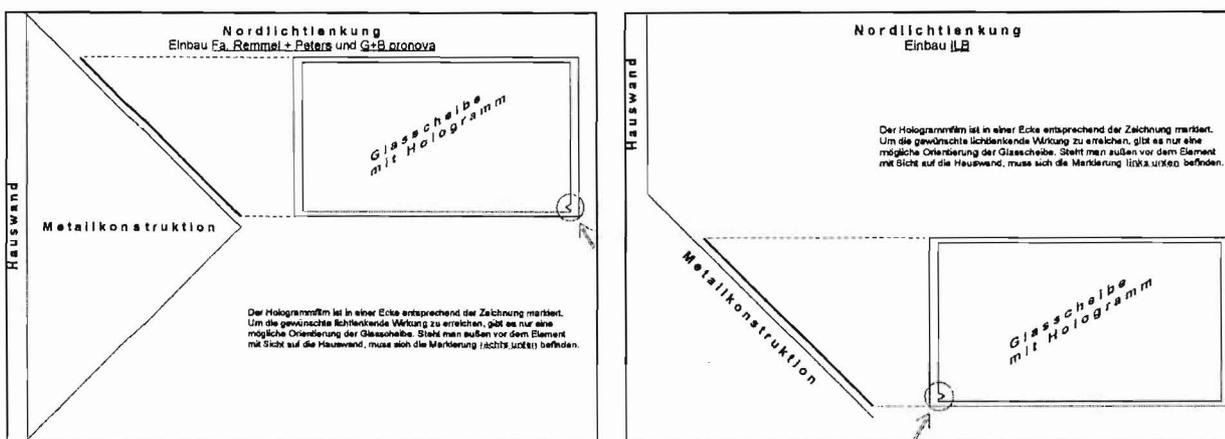


Abb. 5.1.1: Orientierung der Lichtlenkelemente beim Einbau

Der Grund der veränderten Einbausituation liegt in der starken 'Verbauung' vor den Fenstern (vgl. Kap. 2.6). Drei Meter vor dem Gebäude stehen ca. zehn Meter hohe Bäume, die das 'Fangen des Lichts' aus 50° verhindern. Ziel der gedrehten Scheibe ist es, aus höherem Winkel Licht in den Raum umzulenken. Es handelt sich hierbei um eine direkte Beleuchtung (vgl. Abb. 5.1.2 und 5.1.3).

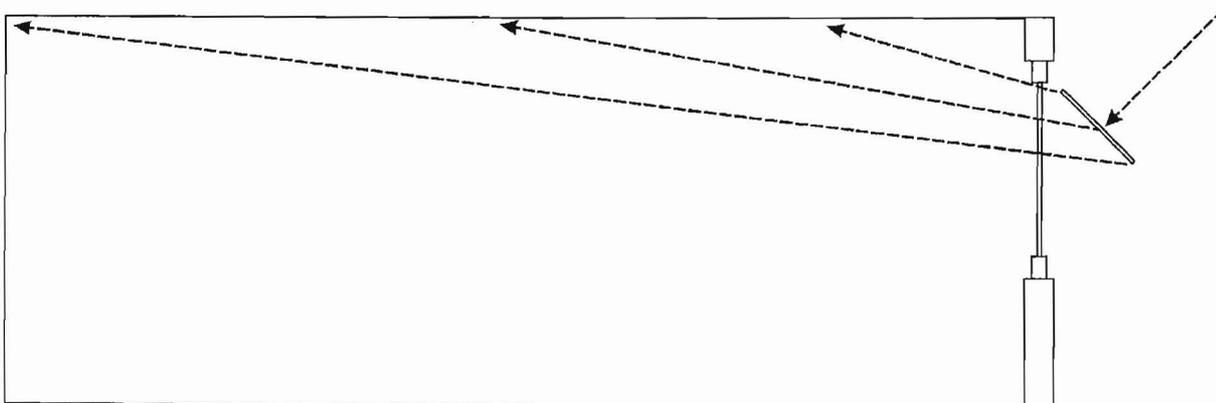


Abb. 5.1.2: Lichteintrag der Lichtlenkelemente Rimmel + Peters / G+B pronova (indirekte Beleuchtung)

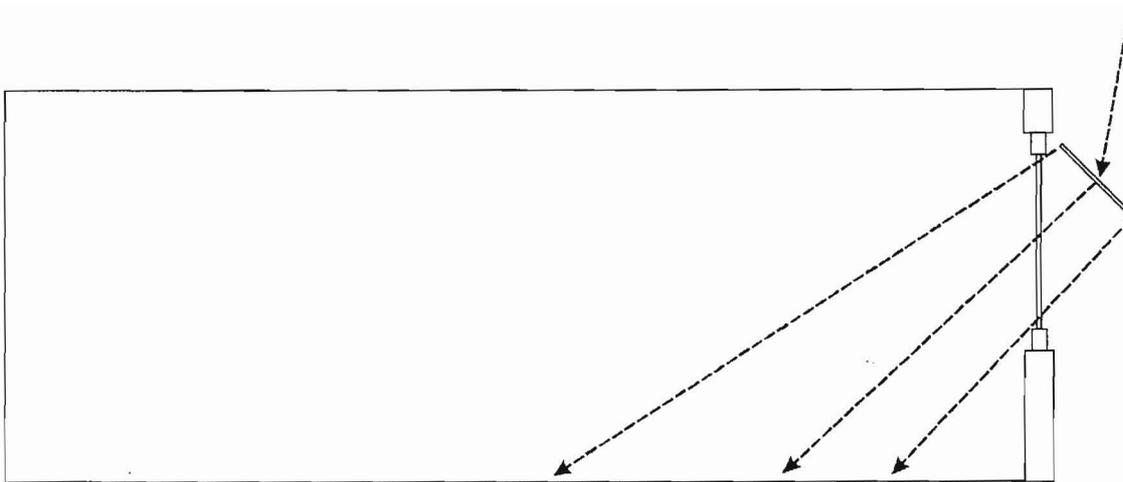


Abb. 5.1.3: Lichteintrag der Lichtlenkelemente ILB (direkte Beleuchtung)

5.2 Messdatenerfassung

Der Tageslichtquotient D (Daylight Factor) beschreibt nach DIN 5034, Teil 1, das Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_i in einem Punkt einer gegebenen Ebene, die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichteverteilung des Himmels erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke E_a im Freien bei unverbaubarer Himmelshalbkugel:

$$D = E_i / E_a \cdot 100 \text{ in \%} \quad (\text{Gl. 5.2.1})$$

mit

- E_i Beleuchtungsstärke in einem Punkt des Raumes, die durch direktes oder indirektes Himmelslicht bei einer angenommenen Leuchtdichteverteilung erzeugt wird.
- E_a die horizontale Beleuchtungsstärke im Freien bei unverbaubarer Himmelshalbkugel.

Für Berechnungen des Tageslichtquotienten wird direktes Sonnenlicht nicht berücksichtigt. Sehr wohl berücksichtigt werden müssen jedoch Einflüsse infolge der Verglasung, Versprossung und Verschmutzung der Fenster sowie die Innenreflexionsverhältnisse der Räume. Der Tageslichtquotient besteht somit aus drei Anteilen, dem Himmelslichtanteil, dem Außenreflexionsanteil und dem Innenreflexionsanteil.

In den drei Testräumen wird der Tageslichtquotient vor und nach der Installation der Lichtlenkelemente gemessen. Die Messdaten werden miteinander verglichen, um die Veränderung des Lichteintrags zu bewerten. In den Abbildungen 5.2.1 bis 5.2.3 ist die Anordnung der Messzellen in den einzelnen Räumen dargestellt. Die Sensoren befinden sich 80 cm über dem Boden und sind horizontal ausgerichtet. Für die Messung der horizontalen Beleuchtungsstärke im Freien E_a wird ein Sensor auf dem Dach des Gebäudes montiert. Die Sensoren sind miteinander verbunden und messen synchron. Die Messungen erfolgen bei ausgeschalteter Kunstlicht-Innenbeleuchtung und geschlossenen Türen.

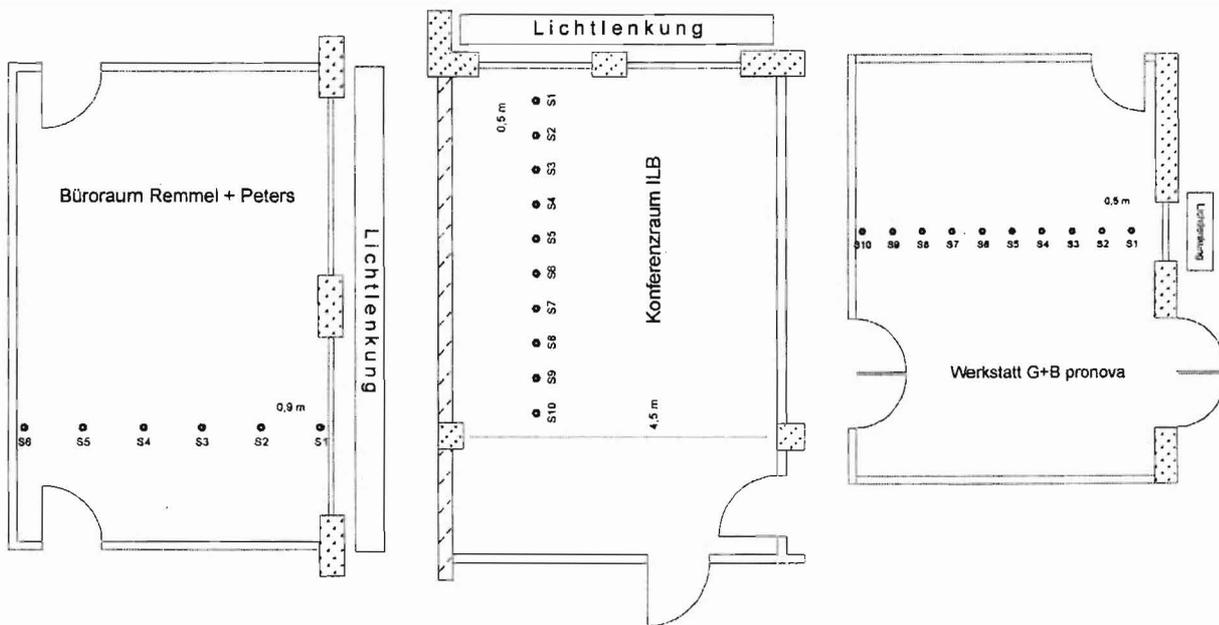


Abb. 5.2.1 – 5.2.3: Anordnung der Sensoren in den Testräumen

Die Beleuchtungsstärke wird synchron innen und außen über den Zeitraum t unterteilt in mehrere Zeitintervalle Δt gemessen. Aus den in den Zeitintervallen Δt aufgezeichneten Beleuchtungsstärken wird je Messung der Tageslichtquotient bestimmt. Der mittlere Tageslichtquotient ergibt sich aus der Summe der Einzelwerte geteilt durch die Anzahl der Werte. In den Tabellen 5.2.1 bis 5.2.5 sind die Messwerte aufgelistet, in den Abbildungen 5.2.4 bis 5.2.6 graphisch dargestellt.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
Abstand zum Fenster [m]:	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
Tageslichtquotienten im Konferenzraum ILB, Messung vom 27.11.01, ohne NLL											
Uhrzeit	E außen [Lux]										
	E innen [Lux]										
12:03:00	10588,8	100	25	13	10	8	6	5	4	3	2,5
12:04:00	11030	105	26	14,5	10	8,5	6,5	5	3,5	3	2,5
12:05:00	11030	100	25,5	13,75	10	8,25	6,25	5	4	3	2,5
12:06:00	11030	97,5	25	14,25	10	8,25	6,25	5	4	3	2,5
Tageslichtquotienten der einzelnen Messungen [%]	0,9443941	0,2360985	0,1227712	0,0944394	0,0755515	0,0566636	0,0472197	0,0377758	0,0283318	0,0236099	
	0,9519492	0,2357208	0,1314597	0,0906618	0,0770626	0,0589302	0,0453309	0,0317316	0,0271985	0,0226655	
	0,9086183	0,2311877	0,12466	0,0906618	0,074796	0,0566636	0,0453309	0,0362647	0,0271985	0,0226655	
	0,8839529	0,2266546	0,1291931	0,0906618	0,074796	0,0566636	0,0453309	0,0362647	0,0271985	0,0226655	
Mittlerer Tageslichtquotient [%]:	0,9217286	0,2324154	0,127021	0,0916062	0,0755515	0,0572303	0,0458031	0,0355092	0,0274819	0,0229016	

Tab. 5.2.1: Tageslichtquotienten im Konferenzraum ILB ohne NLL, Messung vom 27.11.01

Abstand zum Fenster [m]:	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Tageslichtquotienten in der Werkstatt G+B pronova, Messung vom 27.11.01, ohne NLL								
Uhrzeit	E außen [Lux]	E innen [Lux]						
12:16:00	13677,2	1000	340	100	37	16	10	7,5
12:17:00	13456,6	1000	340	100	34	14,5	9,5	6,5
12:19:00	12133	650	270	90	33	14	9	6
12:20:00	12574,2	800	270	110	40	16,5	10	7
12:21:00	13897,8	1000	340	120	40	16,5	10,5	7,5
12:22:00	13677,2	950	300	105	33	15	9,5	7
12:23:00	13456,6	900	300	100	31	14,5	9,5	6,5
Tageslichtquotienten der einzelnen Messungen [%]	7,311438	2,485889	0,7311438	0,2705232	0,116983	0,0731144	0,0548358	0,0438686
	7,4312977	2,5266412	0,7431298	0,2526641	0,1077538	0,0705973	0,0483034	0,0371565
	5,35729	2,2253359	0,7417786	0,2719855	0,1153878	0,0741779	0,0494519	0,0412099
	6,3622338	2,1472539	0,8748071	0,3181117	0,1312211	0,0795279	0,0556695	0,0477168
	7,1953834	2,4464304	0,863446	0,2878153	0,1187238	0,0755515	0,0539654	0,0431723
	6,9458661	2,1934314	0,767701	0,2412775	0,1096716	0,0694587	0,0511801	0,0402129
mittlerer Tageslichtquotient [%]:	6,7559538	2,322053	0,7807337	0,2675354	0,1153564	0,0732893	0,0616728	0,0414991

Tab. 5.2.2: Tageslichtquotienten in der Werkstatt G+B pronova ohne NLL, Messung vom 27.11.01

Abstand zum Fenster [m]:	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Tageslichtquotienten im Konferenzraum ILB, Messung vom 23.02.02, mit NLL						
Uhrzeit	E außen [Lux]	E innen [Lux]				
12:47:00	3091	59	25	6	2,7	1,5
12:48:00	3000	58	27	6	2,4	1,5
12:49:00	2909	61	30	7	2,8	1,5
12:50:00	3091	60	28	6,2	2,5	1,5
12:51:00	3000	56	26	5,5	2,3	1,4
12:52:30	2659	50	24	5,5	2,2	1,4
12:53:30	2523	48	23	4,5	2,2	1,3
12:54:30	2478	50	24	5	2,2	1,3
12:55:30	2523	48	24	4,8	2,5	1,4
12:56:30	2568	52	23	5,8	2,1	1,4
12:58:00	2682	52	25	5,4	2,4	1,5
12:58:40	2773	56	27	6	2,5	1,5
12:59:35	3000	58	29	7,2	3	1,7
13:01:00	3182	60	30	7,4	3	2
13:02:00	3455	68	32	7,8	3,2	2
13:03:00	3545	68	34	7,6	2,9	1,7
13:04:00	3182	60	30	6,2	2,4	1,5
13:05:00	2727	50	25	5,4	2,4	1,4
13:06:00	2727	52	25	6	2,5	1,5
Tageslichtquotient der einzelnen Messungen [%]	1,90877	0,8088	0,19411	0,08735	0,04853	0,03235
	1,93333	0,9	0,2	0,08	0,05	0,03333
	2,09694	1,03128	0,24063	0,09625	0,05156	0,03781
	1,94112	0,90586	0,20058	0,08088	0,04852	0,03235
	1,86667	0,86667	0,18333	0,07667	0,04667	0,03
	1,88041	0,9026	0,20684	0,08274	0,05265	0,02633
	1,9025	0,91161	0,17836	0,0872	0,05153	0,03171
	2,01776	0,96852	0,20178	0,08878	0,05246	0,02825
	1,9025	0,95125	0,19025	0,0909	0,05549	0,03567
	2,02492	0,89564	0,22586	0,08178	0,05452	0,03505
	1,93885	0,93214	0,20134	0,08949	0,05593	0,03729
	2,01947	0,97367	0,21637	0,09016	0,05409	0,03606
	1,93333	0,96667	0,24	0,1	0,05667	0,03833
	1,88561	0,94280	0,23256	0,09428	0,06285	0,03771
	1,96816	0,92619	0,22576	0,09262	0,05789	0,03762
	1,9182	0,9591	0,21439	0,08181	0,04795	0,03103
	1,88561	0,94280	0,19485	0,07542	0,04714	0,02828
	1,83352	0,91676	0,19802	0,08801	0,05134	0,03300
	1,90686	0,91676	0,22002	0,09168	0,05501	0,03667
	mittlerer Tageslichtquotient [%]:	1,93497	0,92732	0,20869	0,08759	0,05267

Abstand zum Fenster [m]:	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Tageslichtquotienten in der Werkstatt G+B pronova, Messung vom 23.02.02, mit NLL						
Uhrzeit	E außen [Lux]	E innen [Lux]				
13:38:30	3728	60	84	12	4,2	3,2
13:39:30	3932	60	82	14	4,4	3,4
13:40:30	4046	62	96	15	4,8	3,6
13:41:30	4273	52	100	14,5	5,2	4
13:42:30	4660	80	120	15	7,8	4,4
13:43:00	4864	82	120	16	7,4	4,2
13:44:00	4909	80	100	18	5	4
13:45:00	4546	90	86	12	4,2	3,2
13:46:00	4045	65	84	12	4	3
13:47:00	3636	66	80	12	3,9	3
13:48:00	3545	64	72	11	3,8	3
13:49:00	3500	68	82	12	4	3
13:49:30	3705	76	98	15	4,8	3,8
13:50:30	4046	84	105	13	4,8	3,8
13:52:00	4091	70	80	11	3,8	2,8
13:53:00	3545	62	74	10	3,6	2,8
13:54:30	3341	58	74	10	3,6	2,8
13:55:30	3205	60	76	11	3,6	2,6
13:56:30	3228	60	80	11	3,6	2,8
13:57:00	3273	68	74	8	3,2	2,4
13:58:00	3000	50	68	9	3,2	2,4
13:59:00	2818	48	72	9	3,2	2,4
13:59:30	2818	54	68	8,5	3	2,4
14:00:00	2818	54	62	8,2	3,8	2,2
14:01:00	2636	48	66	7,2	3,8	2,2
14:02:00	2364	44	60	7,2	2,6	2
14:02:30	2455	46	68	7,8	3	2,4
14:03:00	2545	54	60	7,8	2,8	2
14:04:00	2364	40	58	6,8	2,6	2
14:04:30	2341	42	56	6,4	2,4	1,8
14:05:00	2318	36	52	6,06	2,2	1,8
Tageslichtquotient der einzelnen Messungen [%]	1,60944	2,25322	0,32189	0,11266	0,08583	0,09120
1,52594	2,08545	0,35605	0,11190	0,08647	0,09156	
1,53238	2,37271	0,37074	0,11863	0,08898	0,09392	
1,21694	2,34028	0,33934	0,12169	0,09361	0,09361	
1,71674	2,57511	0,32189	0,16738	0,09442	0,09442	
1,68586	2,46711	0,32895	0,1524	0,08635	0,08635	
1,62966	2,03707	0,32593	0,10185	0,08148	0,08556	
1,97976	1,89177	0,26397	0,09239	0,07039	0,07479	
1,60692	2,07684	0,29668	0,09889	0,07417	0,07417	
1,81518	2,20022	0,33003	0,10726	0,08251	0,08801	
1,80536	2,03103	0,3103	0,10719	0,08463	0,08463	
1,94286	2,34286	0,34286	0,11429	0,08571	0,09143	
2,05128	2,64507	0,40486	0,12955	0,10256	0,10796	
2,07612	2,59516	0,32130	0,11864	0,09392	0,09392	
1,71107	1,95551	0,26888	0,09289	0,06844	0,07333	
1,74894	2,08745	0,28209	0,10155	0,07898	0,08463	
1,73601	2,21491	0,29931	0,10775	0,08381	0,08381	
1,87207	2,37129	0,34321	0,11232	0,08112	0,08736	

2,07760	2,26092	0,24442	0,09777	0,07333	0,07944	
1,66667	2,26667	0,3	0,10667	0,08	0,08	
1,70334	2,55500	0,31938	0,11356	0,08517	0,08517	
1,91625	2,41306	0,30163	0,10646	0,08517	0,08517	
1,91625	2,20014	0,29099	0,13485	0,07807	0,08517	
1,82094	2,50379	0,27314	0,14416	0,08346	0,08346	
1,86125	2,53807	0,30457	0,10998	0,08460	0,08460	
1,87373	2,76986	0,31772	0,1222	0,09776	0,09776	
2,12181	2,35756	0,30648	0,11002	0,07859	0,07859	
1,69208	2,45347	0,28765	0,10998	0,08460	0,08460	
1,79411	2,39214	0,27339	0,10252	0,07889	0,08543	
1,55308	2,24331	26,1432	0,09491	0,07765	0,07765	
mittlerer Tageslichtquotient (%)	2,04142	2,30442	0,33782	0,12661	0,08816	0,09095

Tab. 5.2.3 - 5.2.4: Tageslichtquotienten im Konferenzraum ILB und in der Werkstatt G+B pronova mit NLL, Messungen vom 23.02.02

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Abstand zum Fenster [m]:	0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5
Tageslichtquotienten im Büroraum Remmel + Peters, Messungen vom 31.10.01/16.01.02, ohne/mit NLL						
mittlerer Tageslichtquotient, ohne NLL[%]:	13,2	5,245	2,75	1,25	0,73	0,4
mittlerer Tageslichtquotient, mit NLL[%]:	11,7	4,60	1,73	0,77	0,54	0,31

Tab. 5.2.5: Tageslichtquotienten im Büroraum Remmel + Peters ohne/mit NLL, Messungen vom 31.10.01/16.01.02

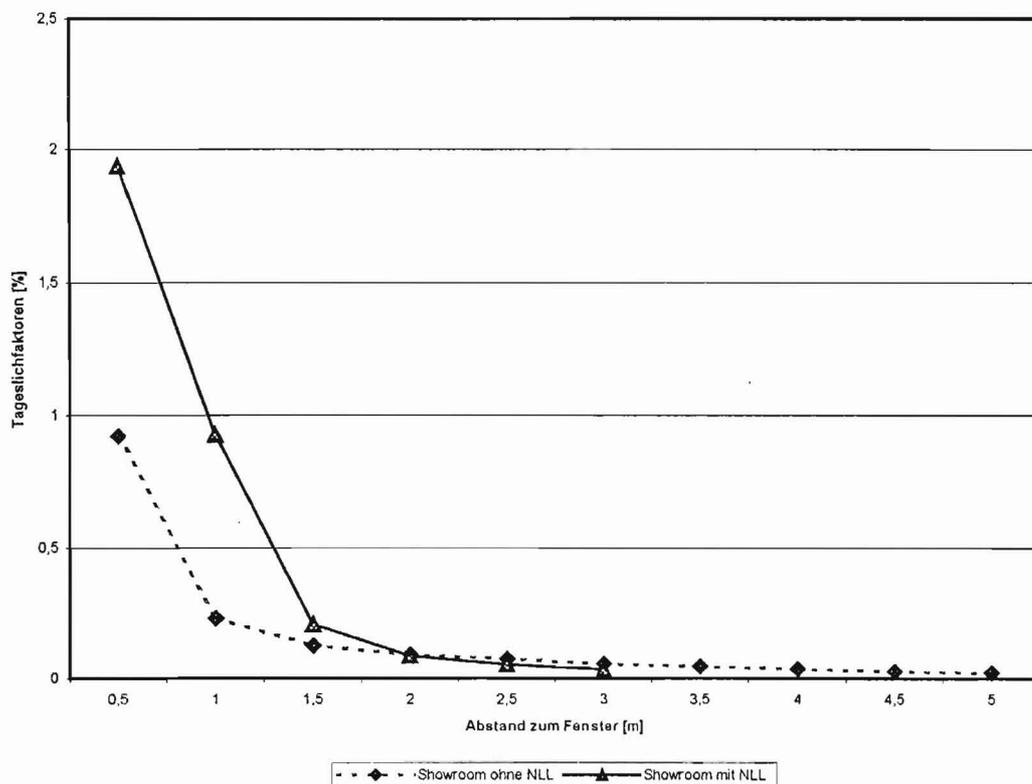


Abb. 5.2.4: Tageslichtquotienten mit/ohne Nordlichtlenkung Konferenzraum ILB

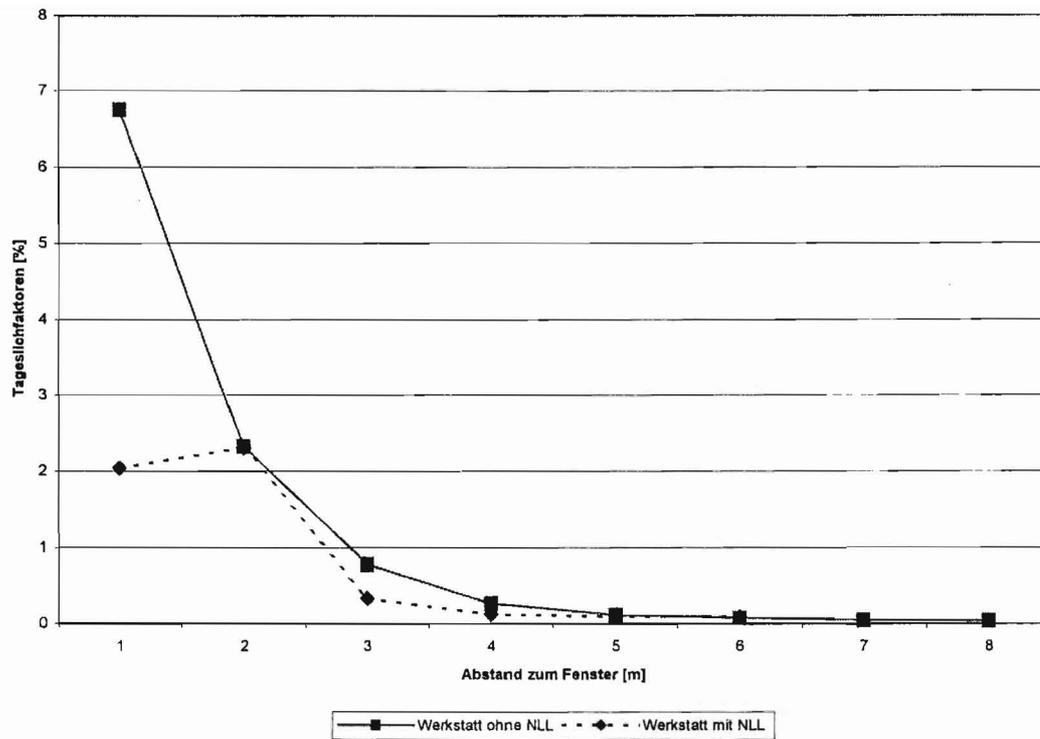


Abb. 5.2.5: Tageslichtquotienten mit/ohne Nordlichtlenkung Werkstatt G+B pronova

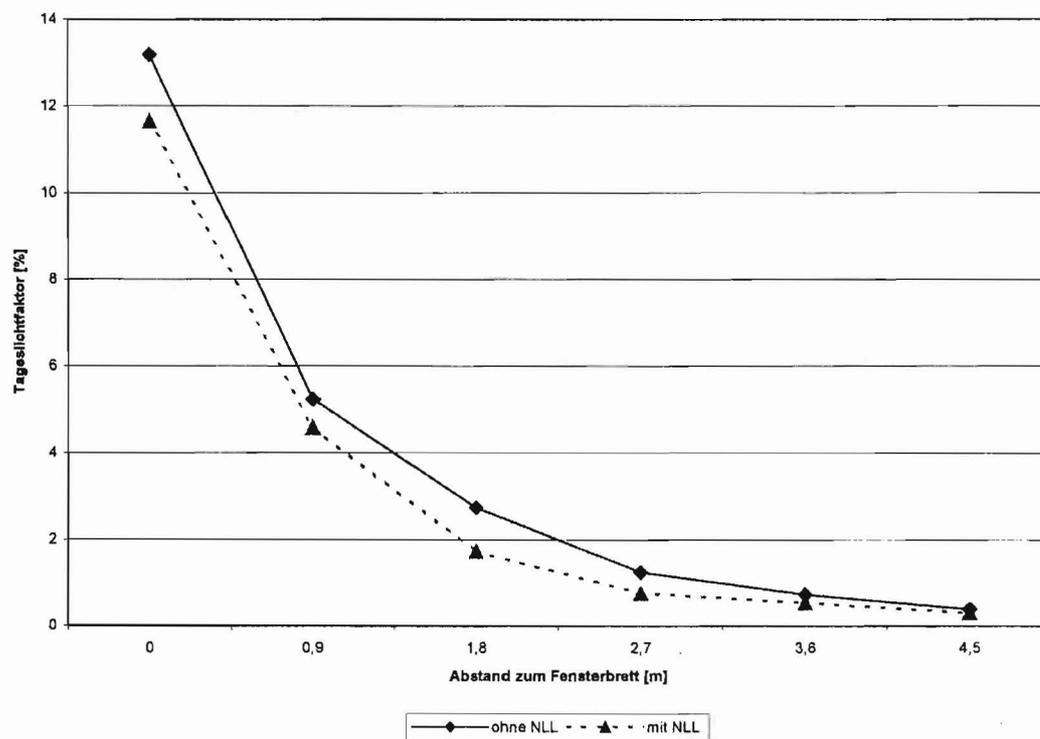


Abb. 5.2.6: Tageslichtquotienten ohne/mit Nordlichtlenkung Büroraum Remmel + Peters

Der visuelle Eindruck beim Einbau der Elemente, dass sichtbar Licht in die Raamtiefe gelangt, bestätigen die Messungen nicht. Im Gegensatz zu den theoretischen Berechnungen führt gemäß der Messdaten der standardmäßige Einsatz der Lichtlenkelemente als indirekte Beleuchtung nicht dazu, Licht in die Raamtiefe umzulenken (vgl. Abb. 5.2.5 und 5.2.6). Es lässt sich lediglich bei dem gedrehten Element eine positive Lichtumverteilung beobachten (vgl. Abb. 5.2.4).

Fazit

Ziel des Forschungsvorhabens war, die diffuse Lichtlenkung durch Holographisch Optische Elemente weiterzuentwickeln, zu optimieren und zu standardisieren, um das Produkt erfolgreich an den Markt heran zu führen. Im Rahmen des Projektes konnten beim Herstellungsprozess eine Reihe von Verbesserungen erreicht werden, die eine einfachere Handhabung und eine kostengünstigere Herstellung des Elements mit sich bringen.

In Bezug auf die Belichtung wurde eine Geometrie, 5° auf 50° , festgelegt. Die Scheiben mit den belichteten Gittern müssen je nach Einbauort (indirekte/direkte Beleuchtung, ausgestellte/vertikale Montage, unverbaut/verbaut) nur noch entsprechend in der Halterung ausgerichtet werden. Des weiteren wurde die Belichtung automatisiert. Der Film wird nun nicht mehr nach dem Flachbettprinzip Stück für Stück auf den Tisch montiert, sondern kann von Rolle zu Rolle belichtet werden. Bei den aktuellen Konfektionsgrößen des Films sind somit z.Zt. $1,70\text{ m} \times 50\text{ m}$ an einem Stück belichtbar. Der Verschnitt und der Belichtungsaufwand verringern sich folglich. Einen noch nicht optimierten Punkt im Bereich der Filmverarbeitung ist momentan der Zuschnitt. Um die Nordlichtlenkung in Serie zu produzieren, müsste eine automatisierte Schneidevorrichtung für den Film entwickelt werden. Derlei Schneidevorrichtungen sind in der Druckindustrie jedoch üblich.

Die Glaswerke Arnold haben ein Verfahren entwickelt, der einen routinierten Umgang mit der holographischen Folie ermöglicht. Es können Verbundscheiben und Isolierglasscheiben hergestellt werden. Die Verfahren dazu sind stabil und die Endprodukte marktreif. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Lichtlenkelemente in Glas sind von Dauerhaftigkeit. Die Fa. Rimmel + Peters Metallbau hat eine Reihe von Halterungen vorgestellt, die den Einsatz der Nordlichtlenkung sowohl im Bereich des Neubaus als auch bei nachträglicher Montage ermöglicht. Im Rahmen des Pilotprojektes wurden drei dieser Halterungen realisiert.

Bei der Betrachtung des Einsparpotentials der Beleuchtungsenergie zeigen die Lichtlenkelemente in der Praxis eine eher enttäuschende Bilanz. Die theoretisch errechneten Möglichkeiten sind außer im Einsatz als direkte Beleuchtung von den Messwerten nicht bestätigt worden. Weitere Messungen müssten folgen, um den Zusammenhang zwischen Theorie und Praxis herzustellen. Allerdings darf man die Nordlichtlenkung nicht in ihrer physiologischen Wirkung unterschätzen. Der visuelle Eindruck, dass es an der den Fenster gegenüberliegenden Wand sichtlich heller wird, fördert das Wohlbefinden im Raum. Wie schon beim Einsatz bei ADO Roste und den Überlandwerken in Kitzingen wurde der subjektive Lichteintrag der realisierten Elemente im Rahmen dieses Projektes positiv bewertet.

Literaturverzeichnis

Bergmann, Ludwig; Schaefer, Clemens: Lehrbuch der Experimentalphysik. Band III Optik. Hrsg. von Heinrich Gobrecht. – Berlin; New York: de Gruyter 1987.

Bjelkhagen, H. I.: Silver-Halide Recording Materials for Holography and Their Processing. – Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag 1993.

Born, Max; Wolf, Emil: Principles of Optics. Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light. – Oxford; New York: Pergamon Press 1987.

Hariharan, P.: Optical Holography. – Cambridge; New York; Melbourne: Cambridge University Press 1996.

Hecht, Eugene: Optik. – Bonn; München: Addison Wesley 1992.

DIN 5034 Teil 1

DIN 5034 Teil 2

Anhang

- A1) Abschlussbericht Glaswerke Arnold
- A2) Abschlussbericht Rimmel + Peters Metallbau
- A3) Konstruktionszeichnungen Rimmel + Peters Metallbau



Abschlußbericht

Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG, Neuseser Str. 1, 91732 Merkendorf

Forschungsprojekt

Holographische optische Elemente (HOE) zur Nordlichtlenkung (NLL) für Sanierung und Neubau – AZ 14518

Gliederung

- 1.) Herstellen von Verbundgläsern mit Hologrammfolie
- 2.) Weiterverarbeitung zu Isolierglas
- 3.) Tests zur Einbettung auf Stoß
- 4.) Kostenschätzung über günstige Verhältnisse von Stückzahlen, Formaten, Lieferzeiten
- 5.) Versuch zur Rollenverarbeitung von HOE-Folien
- 6.) Einbettung von mehreren HOE-Folien in einer großen Scheibe, die später konfektioniert werden.

zu 1.) Herstellung von Verbundgläsern mit Hologrammfolien
Das Problem hier war das Herstellen einer dauerhaften Verbindung zwischen Glas und der HOE.

Weiterhin mußte berücksichtigt werden, dass die Funktionalität der HOE gewahrt bleibt.

zu 2.) Ziel hier war die Möglichkeit zu schaffen Isolierglaseinheiten herstellen zu können, unter Wahrung aller bauaufsichtlichen relevanten Kriterien z.B. Überkopfverglasung, Wärmedämmung, Schallschutz.

Ergebnisse zu 1 + 2

Es können alle Scheibenaufbauten mit Eigenschaften die üblicherweise am Bau verwendet werden hergestellt werden.

zu 3.) Da die HOE in der Breite begrenzt sind liegt der Wunsch nahe, diese mittels an einander legen, zu breiteren Applikationen zu gelangen.

Ziel sollte eine, zwischen dem HOE, fugenlose Einbettung sein.

Versuche mit Tape's, Kleber und mechanischer Fixierung zeigten kein positives Ergebnis. Effekte wie, Zerstörung der HOE, Vergilbung und Blasen im Verbund traten auf.

Vorschrumpfen der HOE ergab das einzig vertretbare Ergebnis.

Dabei bleibt allerdings ein ca. 4 mm Spalt zwischen den Folien.

zu 4.) Die unter Punkt 1.) erreichte Machbarkeit verlangt eine diskontinuierliche Einzelfertigung.

d.h., weder höhere Stückzahlen noch konstante Formate erzielen eine nennenswerte Kostenminderung.

- zu 5.) Hier ist keine Kostenreduktion zu erwarten, da es im Prinzip egal ist wo der belichtete Film zugeschnitten wird (Institut oder Glaswerk).
- zu 6.) Ein Vorgehen wie im Titel beschrieben weist sicherlich ein größeres Einsparpotential auf. Leider aber nur vordergründig.
Betrachtet man P.1 und P.4 und zieht man das erhöhte Risiko für Produktionsfehler (Ausfall der Scheiben beim sägen oder schneiden der Verbundscheiben) hinzu, so ist auch hier eine Einsparung fraglich.

Zusammenfassung

Es können Verbundscheiben und Isolierglasscheiben hergestellt werden.
Die Verfahren dazu sind stabil.
Die Endprodukte sind marktreif.
Die chemischen und physikalischen Eigenschaften sind von Dauerhaftigkeit.

Es wurde sieben Scheiben unseren Projektpartnern zur Verfügung gestellt um weitere Untersuchungen durchführen zu können.

Merkendorf, den 27.03.2002

Systeme zur Nordlicht-Lenkung

Die Anbringung der Verglasungen zur Nordlicht-Lenkung soll bei allen Prototypen unter 45° Neigung vor der Fassade/Fenster geschehen.

Aus der Berücksichtigung des Abstrahlwinkels von 10° zur Waagerechten in den Raum unter die Decke ergibt sich lt. Zeichnung Nr. NK 7 die Anordnung in der Vertikalen.

Bei der Anordnung in der Horizontalen müssen die Verschmutzungsgefahr, Reinigungsmöglichkeit sowie die individuelle Architektur des Objektes berücksichtigt werden. Nistmöglichkeiten für Vögel sowie Sitzmöglichkeiten für Tauben sollten möglichst vermieden werden.

Bei der Planung stellte sich heraus, dass ein Einsatz im Einfamilienhausbereich mit in etwa außenniveaugleichem Erdgeschossboden nur in Bereichen, die nicht zugänglich sind, sinnvoll ist.

Im einzelnen wurden folgende Konsolen zur Nordlicht-Lenkung (NK) entworfen:

NK 1:

Die unsymmetrische Konsole aus einem Winkel 50/5 in Form eines Dreieckrahmens dient als Träger für einen Rahmen aus schlanken Fassadenprofilen zur Aufnahme der Verglasung. Die Verankerung geschieht seitlich, neben den Fensterleibungen im Baukörper.

NK 2:

Hier ist der wandseitige Träger zunächst ein T 50/5, auf welches die glashaltende Fassadenkonstruktion direkt als selbsttragendes Element angelenkt wird.

Die statisch notwendige Abstützung nach unten ist über ein Alu-Rundrohr Durchm. 30 mm, vorgenommen.

Aufgrund der gewählten Konstruktionsteile ist hier eine Feineinstellung der Winkligkeit möglich.

Diese Befestigungsart eignet sich insbesondere für Pfostenriegel-Metallglas-Fassaden.

NK 3:

Hier handelt es sich um eine Konsole aus einem tragenden Rohr 40/4; Anordnung ähnlich wie bei NK1.

Die glashaltende Konstruktion besteht zunächst aus einem U 20/3, welches verstärkt wird durch einen auf- oder unterliegenden Aluwinkel.

Diese Konstruktion ermöglicht eine gute statische Aussteifung bei optischer Schlankheit.

NK 7 = Aufmaßzeichnung

NK 4:

Dies ist eine auskragende, abgeknickte Konsole aus Rohr 40/4, mit aufliegender, leichter Fassadenkonstruktion.

Sie bietet den Vorteil der Befestigung oberhalb des zu belichtenden Fensters. Hierdurch wären auch nur Teilbelichtungen innerhalb eines größeren Fensterbandes darzustellen.

NK 5:

Als Pendant zu NK 4, nicht von oben abgehängt und abgeknickt auskragend, sondern von unten kommend, seitlich befestigt und dann unter 45° auskragend.

Architektonisch elegante Variante mit Befestigungen, die seitlich neben der Leibung vorgenommen werden.

NK 6:

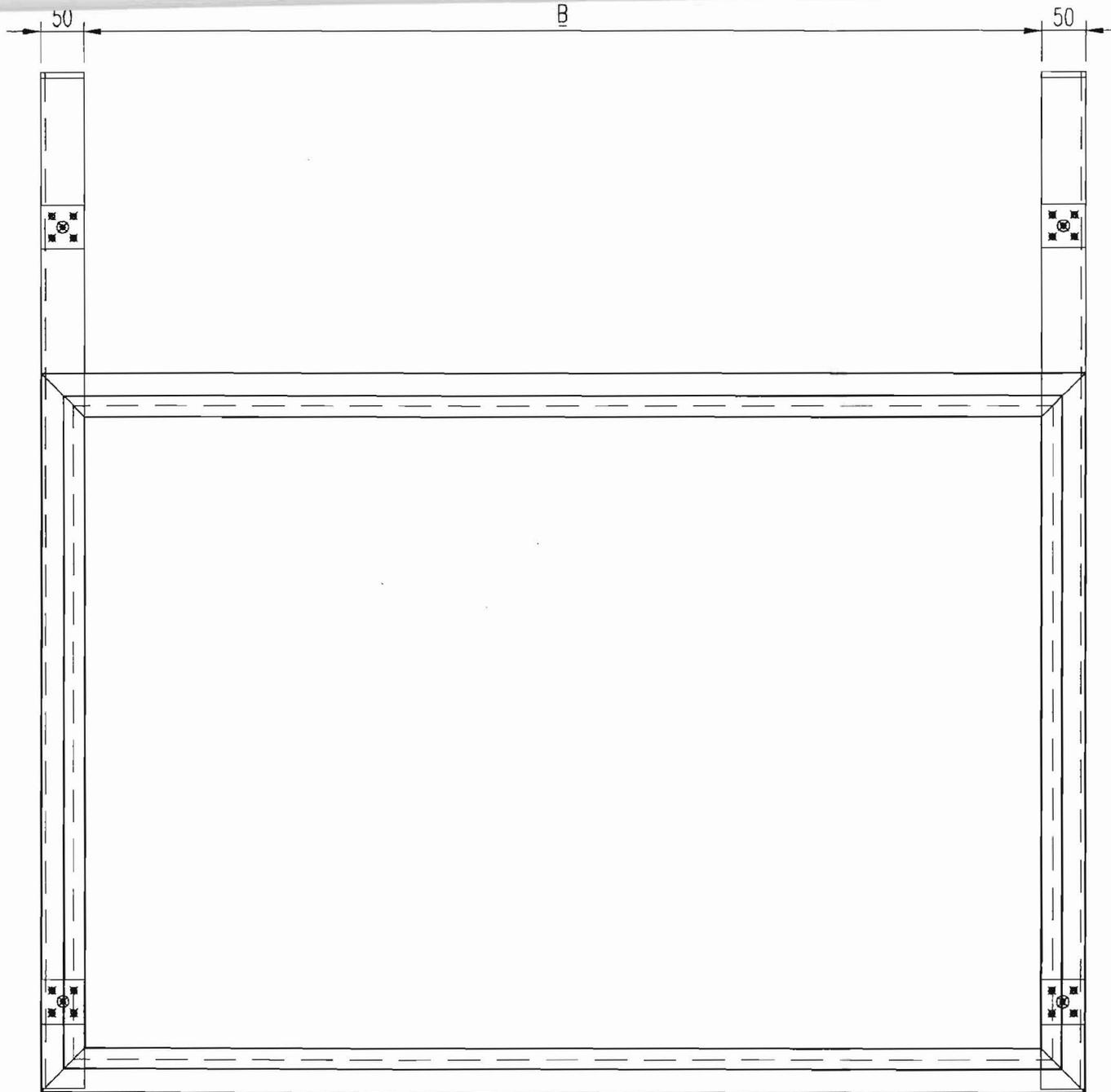
Konsole aus T50/5, ähnlich NK 2, jedoch durch spezielle Verankerungen auch in Mauerwerk einsetzbar.

Alle beschriebenen Tragkonstruktionen eignen sich prinzipiell sowohl für die frühzeitige Einplanung bei Neubauvorhaben als auch für die nachträgliche Anbringung im Altbaubereich. Eine gestalterische Abstimmung ist sowohl durch die Form als auch durch die Oberflächenbehandlung (z.B. farbige Pulverlackbeschichtungen) möglich.

17.01.02
dr2/sc

Zeichnungsverzeichnis

<u>Zeichnungs-Nr.</u>	<u>Inhalt</u>
NK 1-1	Ansicht
NK 1-2	V-Schnitt
NK 1-3	Sparren-Schnitt
NK 2-1	Ansicht
NK 2-1A	Ansicht, Feldausschnitt
NK 2-2	V-Schnitt
NK 2-3	Sparren-Schnitt
NK 3-1	Ansicht
NK 3-2	V-Schnitt
NK 3-3	Sparren-Schnitt
NK 4-1	Ansicht
NK 4-2	V-Schnitt
NK 4-3	Sparren-Schnitt
NK 5-1	Ansicht
NK 5-2	V-Schnitt
NK 5-3	Sparren-Schnitt
NK 6-1	Ansicht
NK 6-2	V-Schnitt
NK 6-3	Sparren-Schnitt
NK 6-3A	Ankerplatte
NK 7	Aufmaß-Zeichnung
NK 8	Statistische Werte der Profile



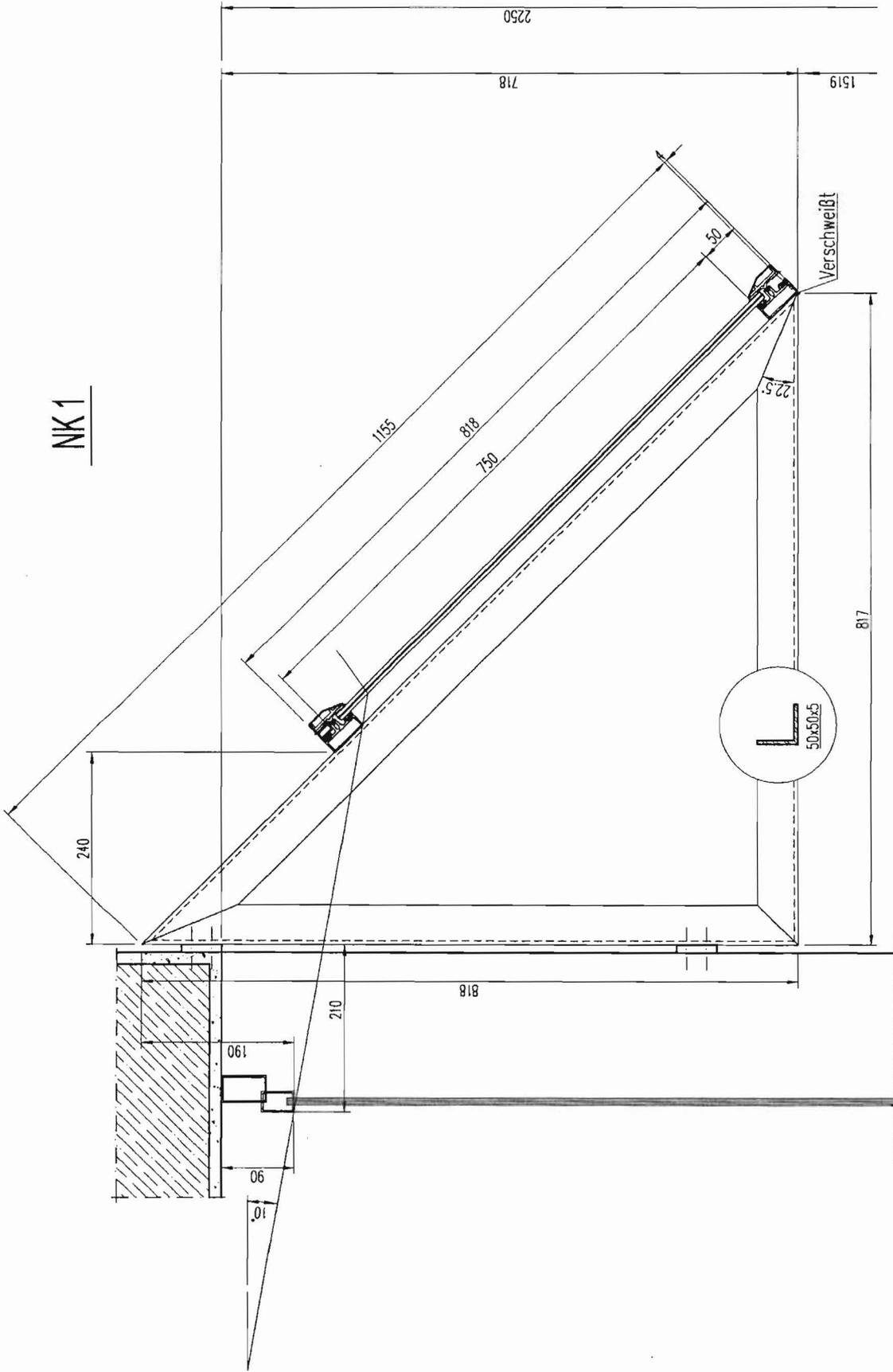
NK 1



	REMMEL + PETERS	
	GmbH+Co.KG METALLBAU	
50827 Köln		Telefon (0221) 95 65 19-0 Telefax (0221) 95 65 19-9
OBJEKT Institut für Licht- u. Bautechnik	AUFTR. 3943.01	
ARCHITEKT Dipl.-Ing. A. Eder	1a DAT	DATEI NK 1-1
PROJEKT Ansicht in wahrer Größe Schematische Vermessung	DATUM 17.10.01	GEZ. C.H.
	MASSST. 1:1	GEPR.
	AUSGABE 16.12.2001	

Diese Zeichnung ist unter Eigentum der Remmel + Peters Metallbau GmbH. Vervielfältigung, Verbreitung oder Weitergabe an andere Personen ist verboten und wird verfolgt.

NK 1

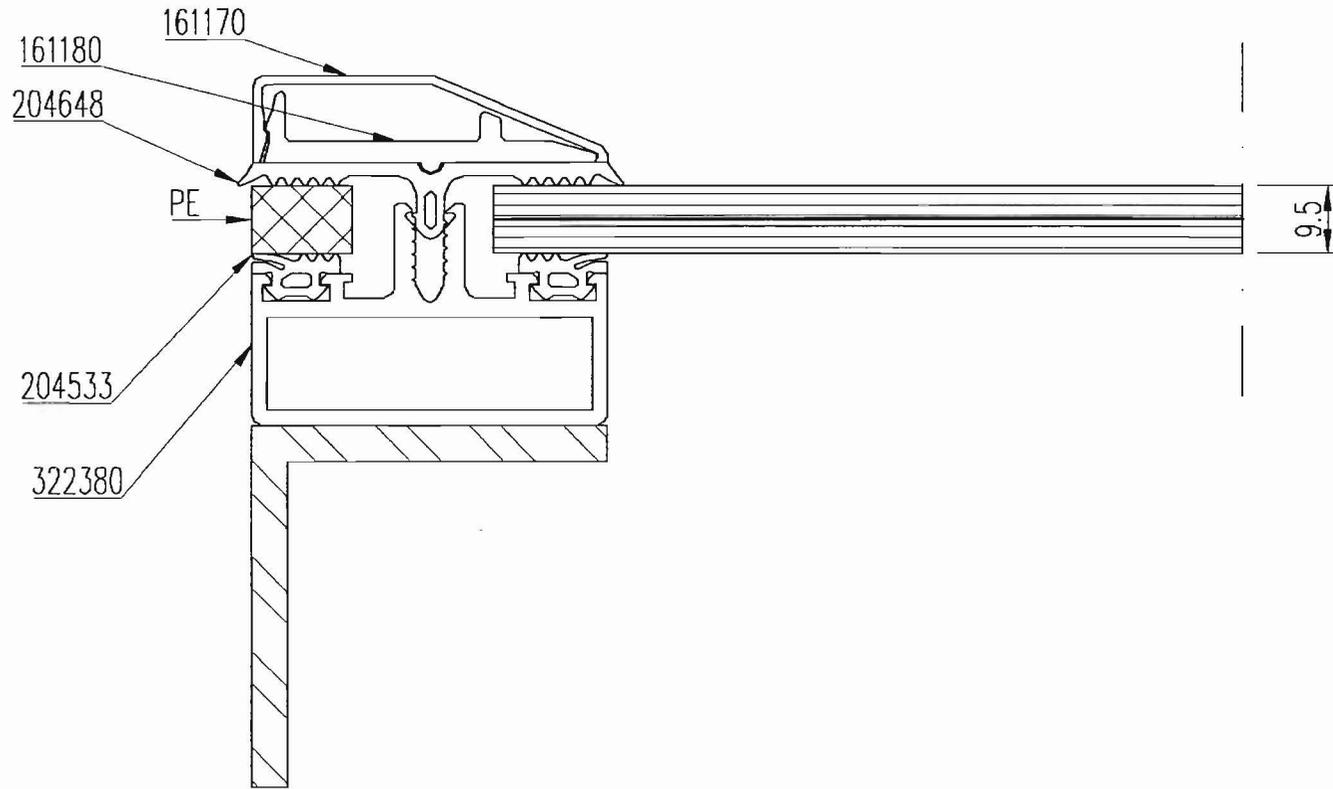


REMMELE + PETERS	
GEMISCHTE METALLBAU	
50827 Krefeld, Tel. (02531) 88 14-0	
Fax (02531) 88 14-20	
E-Mail: info@remmle-peters.de	
Web: www.remmle-peters.de	
Proj. Nr.: 3943.01	
Proj. Name: NK 1-2	
Proj. Ort: ...	
Proj. Datum: ...	
Proj. Zeichner: ...	
Proj. Gezeichnet: ...	
Proj. Geprüft: ...	
Proj. Freigegeben: ...	
Proj. Freigegeben durch: ...	

Spezial für Licht- u. Bouterdmik
Prof.-Ing. A. Eder
Verkaufstechnik

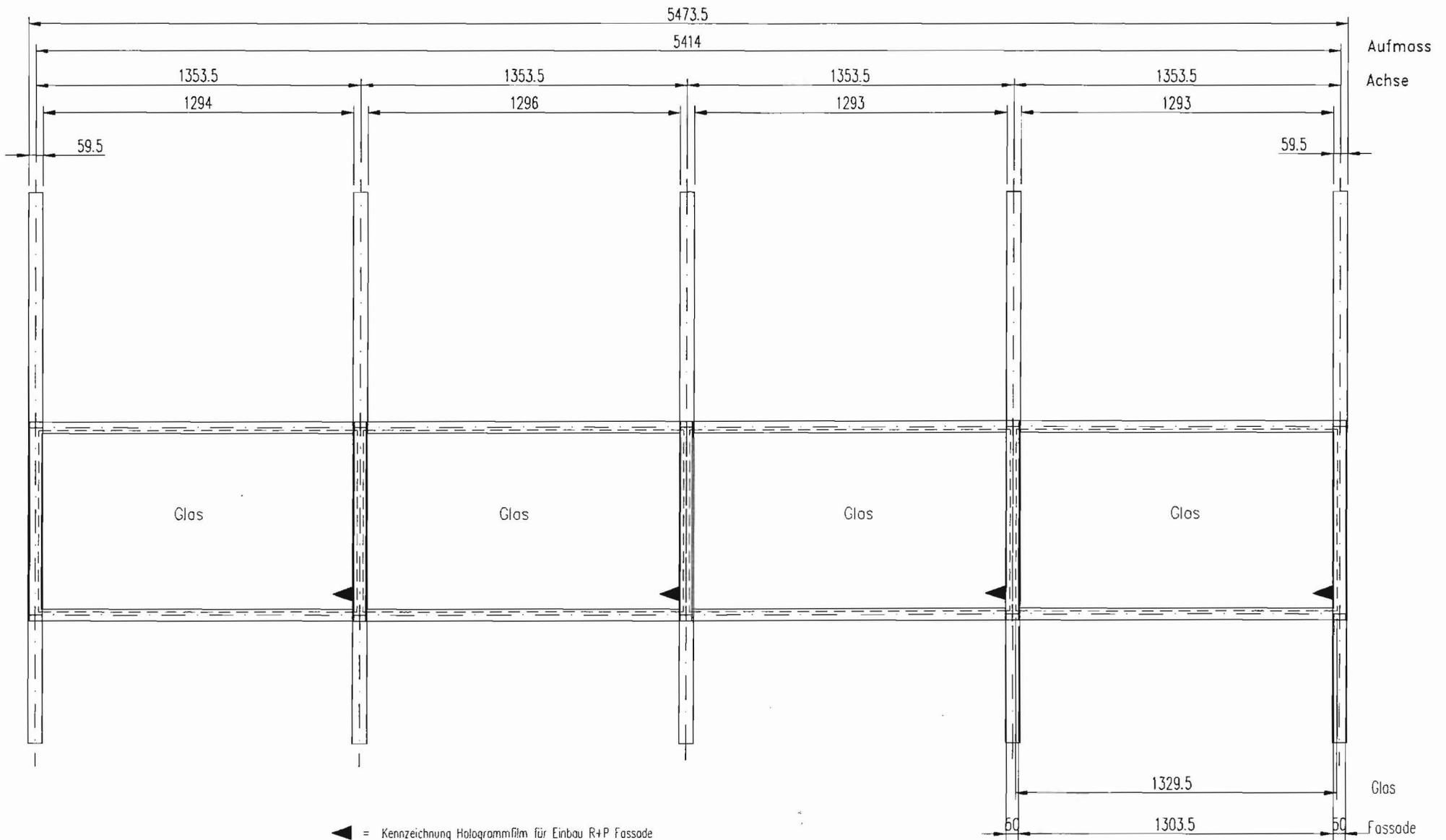
Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Weitergabe an dritte Personen ist verboten und wird verfolgt.

NK 1



	REMMEL + PETERS	
	GmbH+Co.KG METALLBAU	
50827 Köln		Telefon (0221) 95 65 19-0 Telefax (0221) 95 65 19-9
OBJEKT	Institut für Licht- u. Bautechnik	
ARCHITEKT	Dipl.-Ing. A. Eder	
INHALT	Schnitt durch Sparren Seitlich geschlossen mit PE	
AUFTR.	3943.01	
FA	ART	
DATEI	NK 1-3	
DATUM	20.10.01	
GEZ.	G.H	
MASST.	1:1	
GEPR.		
AUSGA.	16.12.2001	

NK 2

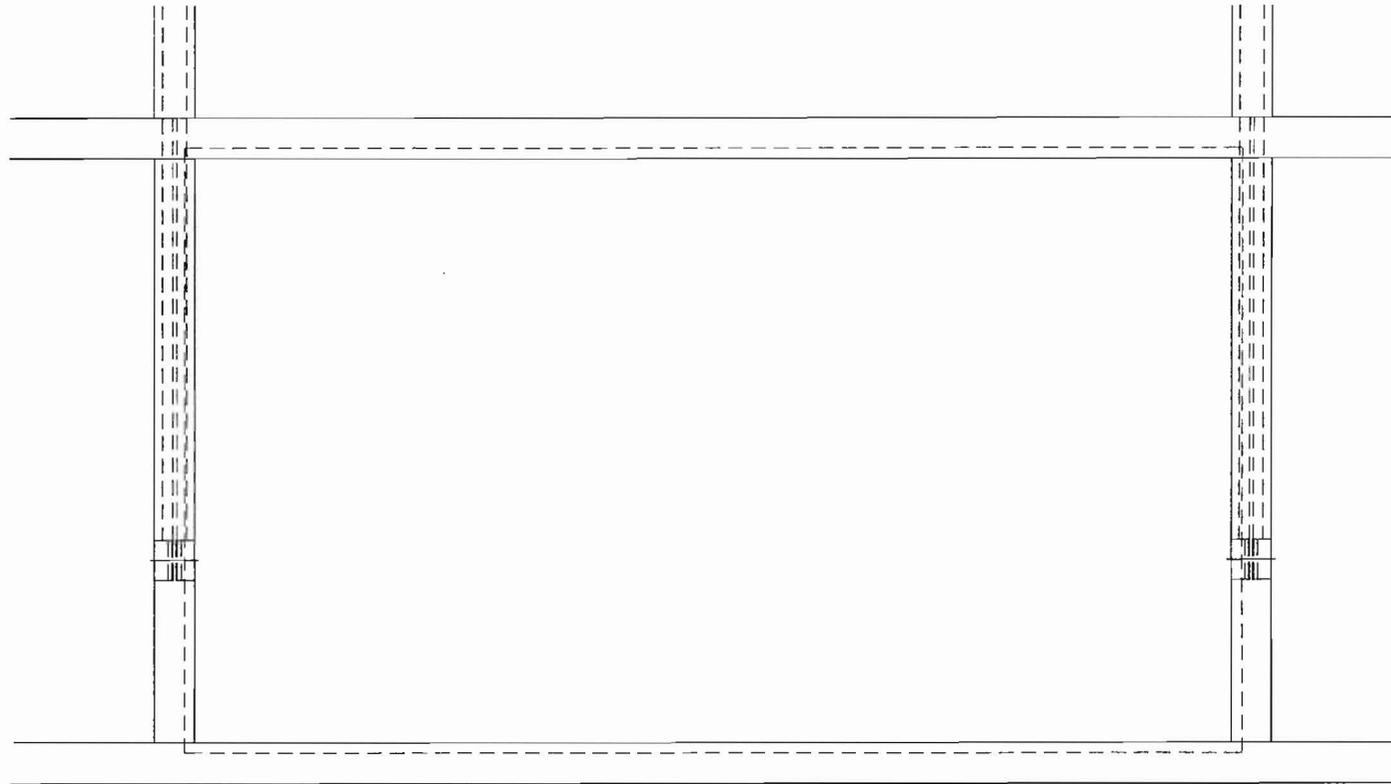


◀ = Kennzeichnung Hologrammfilm für Einbau R+P Fassade

 REMMEL + PETERS <small>GRÜNDUNG METALLBAU</small> 50827 Kün. Telefon (0221) 95 85 18-0 Telefax (0221) 95 85 18-9		PROJ.	3943.01
		NO	
R+P - Fassade		NO	NK 2-1
Proj. - Ing. A. Eder		DATE	18.10.03
Mathias-Brüggem-Str. 7		DRG.	GM
E6/EV1		MASSST.	1:1
Ansicht		ZEICH.	
		AUSG.	18.12.2002

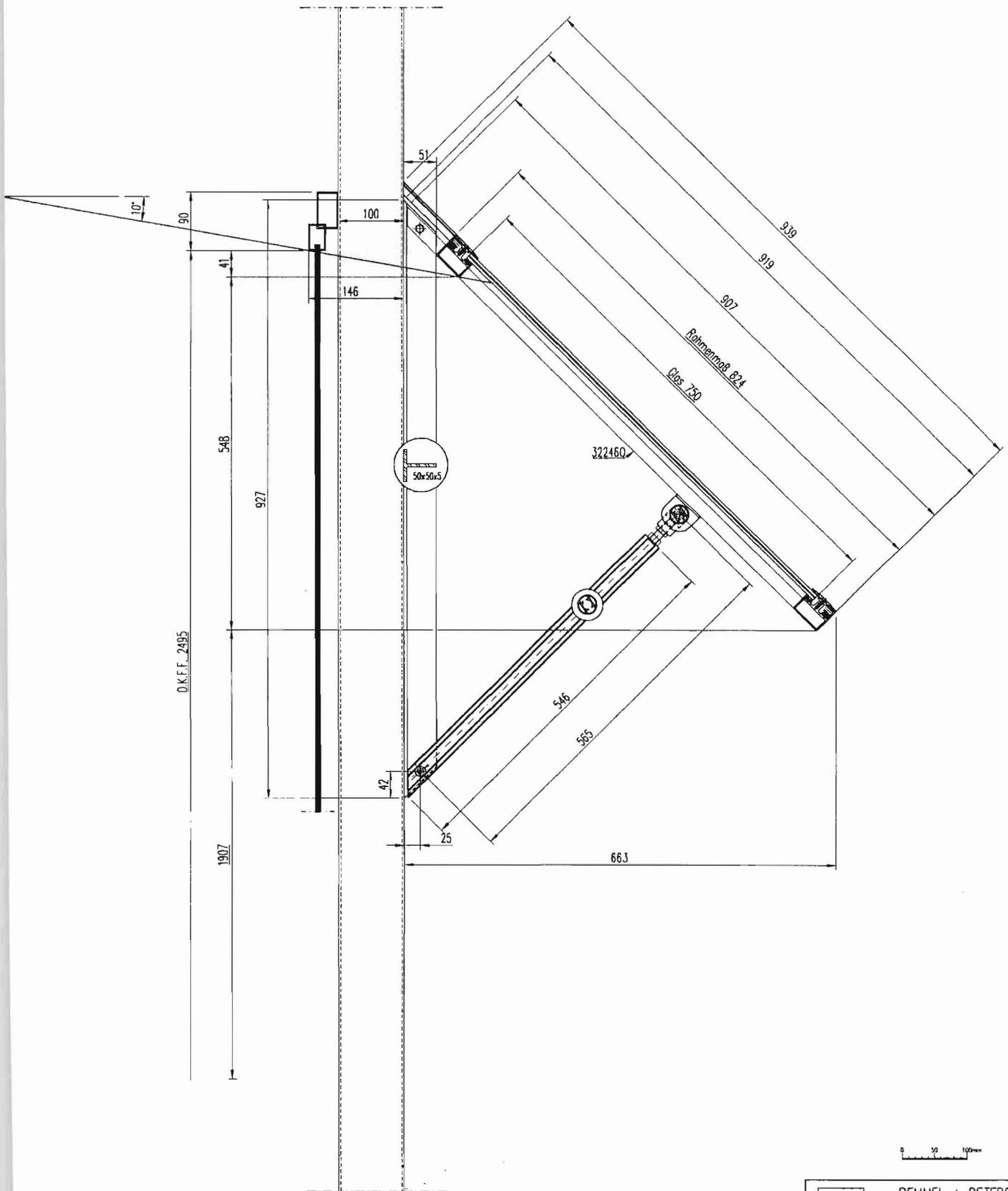
Die Zeichnung ist ein Dokument, das ausschließlich zur Ausführung der Bauarbeiten bestimmt ist. Jede Vervielfältigung, Verbreitung oder Weitergabe ist ohne schriftliche Genehmigung der R+P Projekt-AG untersagt.

Aussenansicht
NLL R+P Fassade



		REMMEL + PETERS <small>GmbH+Co.KG METALLBAU</small>	
		50827 Köln	Telefon (0221) 95 65 19-0 Telefax (0221) 95 65 19-9
<small>OBJEKT</small> Institut für Licht- u. Bautechnik	<small>AUSFÜHRUNG</small> R+P	<small>PROJEKT-NR.</small> 3943.01	<small>PROJEKTANT</small> Dipl.-Ing. A. Eder
<small>PROJEKT</small> Aussenansicht R+P - Fassade 1 Feldausschnitt	<small>DATE</small> NK 2-1A	<small>DATE</small> 21.10.01	<small>GRZ</small> G.H.
	<small>MASSST.</small> 1:1	<small>GRPR.</small> 16.12.2001	

Modell NK 2
E2/EV1 bzw. E6/EV1



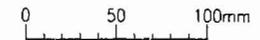
D.K.F.F. 2495

0 50 100mm

REMEL + PETERS GmbH + Co KG METALLBAU	
50827 KINn Telefon (0221) 85 83 18-0 Telefax (0221) 85 83 18-9	
R+P - Fassade	3943.01
Ausgeber Dipl.-Ing. A. Eder	NK 2-2
Fassade Mathias-Brüggan-Str.7	
Modell NK 2	
E2/ EV1 bzw. E6/EV1	
Vertikalschnitt	

Aussenansicht

NK 3



REMMEL + PETERS

GmbH+Co.KG METALLBAU

50827 Köln Telefon (0221) 95 65 19-0
Telefax (0221) 95 65 19-9

Institut für Licht- u. Bautechnik

Architekt
Dipl.-Ing. A. Eder

Ansicht
Aussenansicht
Ansicht in wahrer Größe

Zeichn. Nr. 3943.01

TA PRF

Datum NK 3-1

Datum 27.10.01

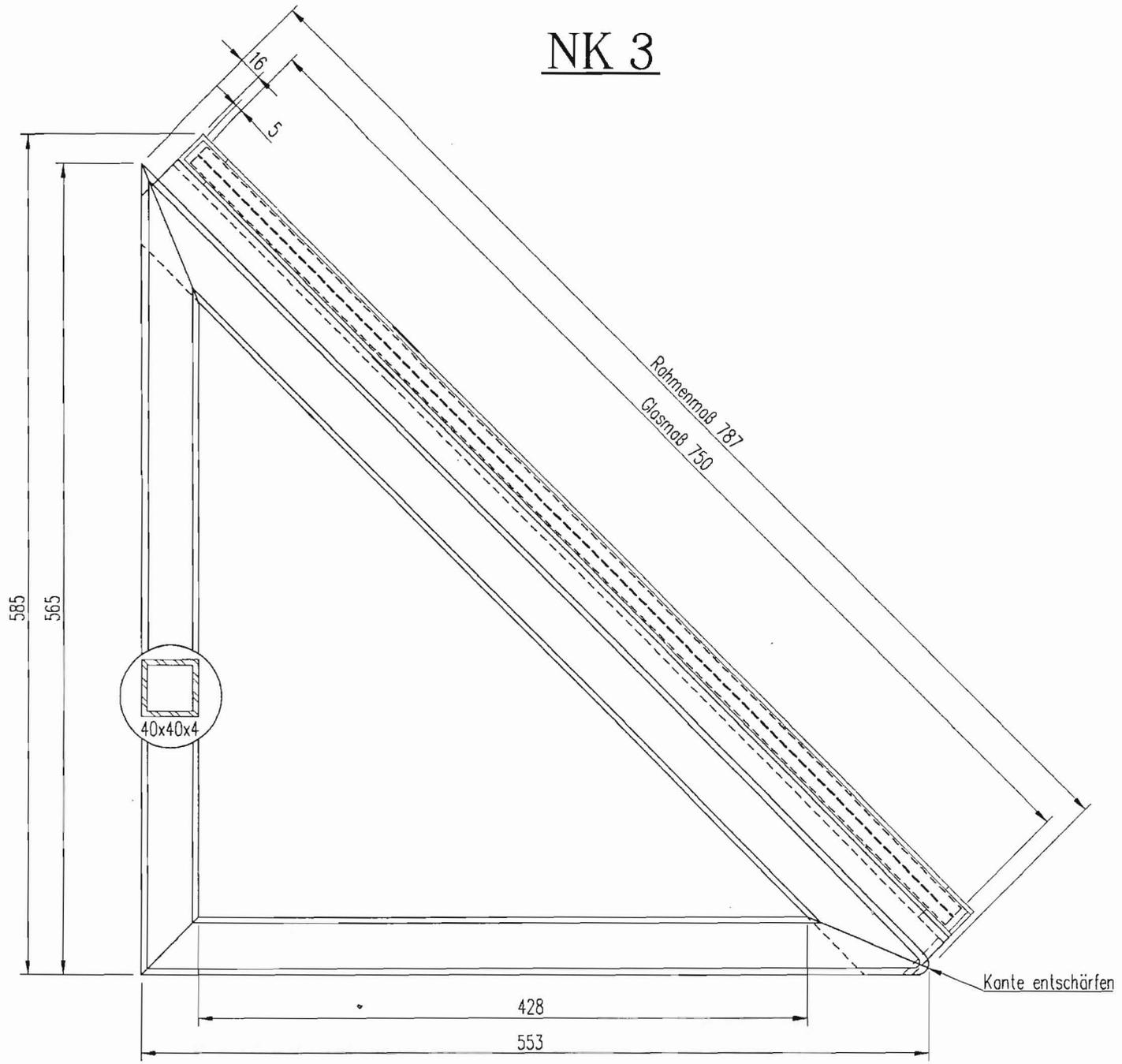
Gez. C.H.

Maßstab 1:1

Gepr. 16.12.2001

Dieser Zeichnung ist eine Kopie. Alle Rechte vorbehalten. Verwendung oder Weitergabe an Dritte ist ausdrücklich untersagt.

NK 3

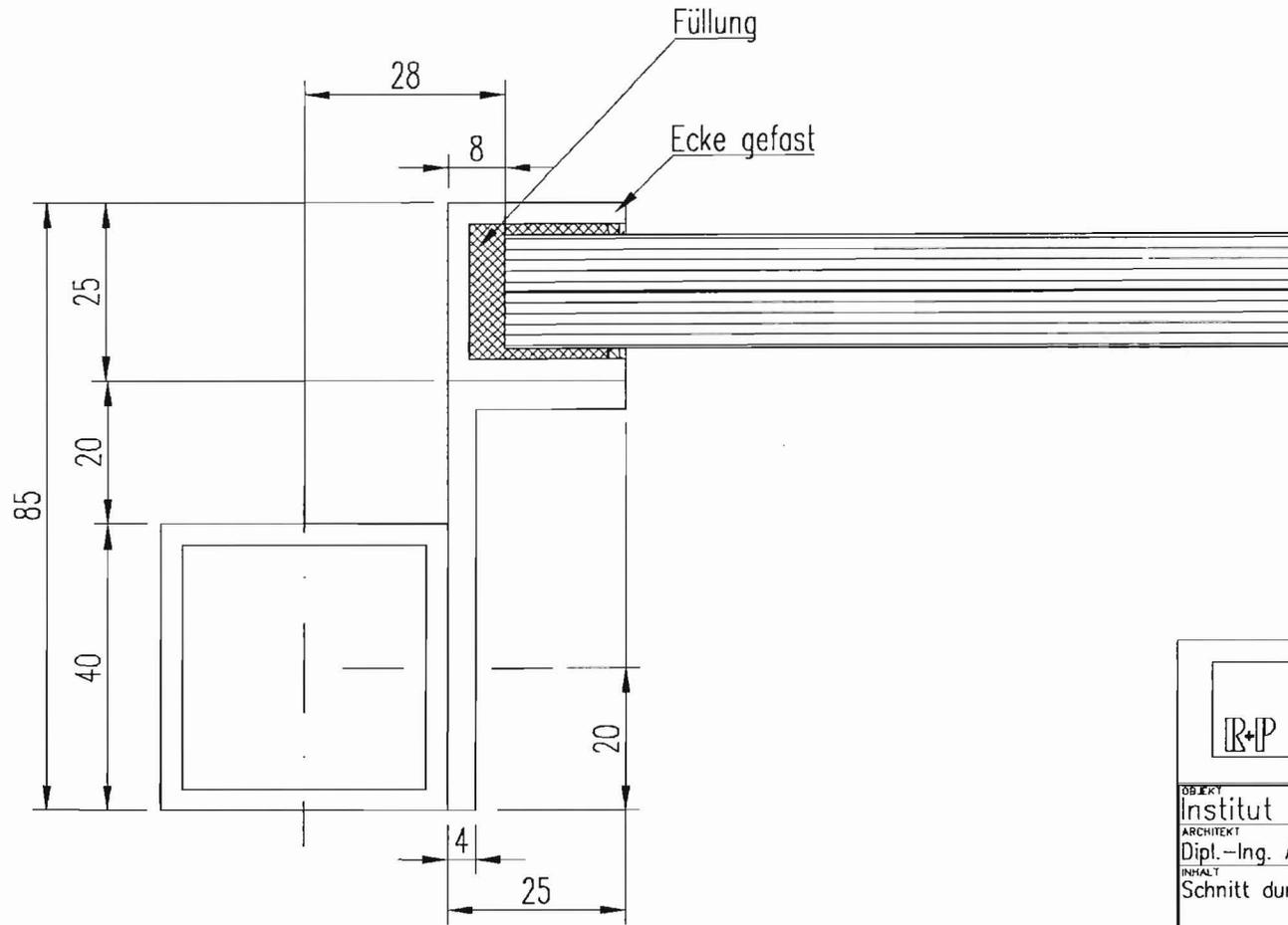


 REMMEL + PETERS GEMEIN- u. CO. KG METALLBAU 50827 Köln		Telefon (0221) 89 89 19-0 Telefax (0221) 89 89 19-8	
		3943.01	
Institut für Licht- u. Bautechnik Dipl.-Ing. A. Eder		Datum 18.11.01 Blatt 1 von 1 Zeichner: [] Gezeichnet: []	
Vertikalschnitt 16mm Glas		NK 3-2 Blatt 1 von 1 Datum: 18.11.01 Gezeichnet: []	

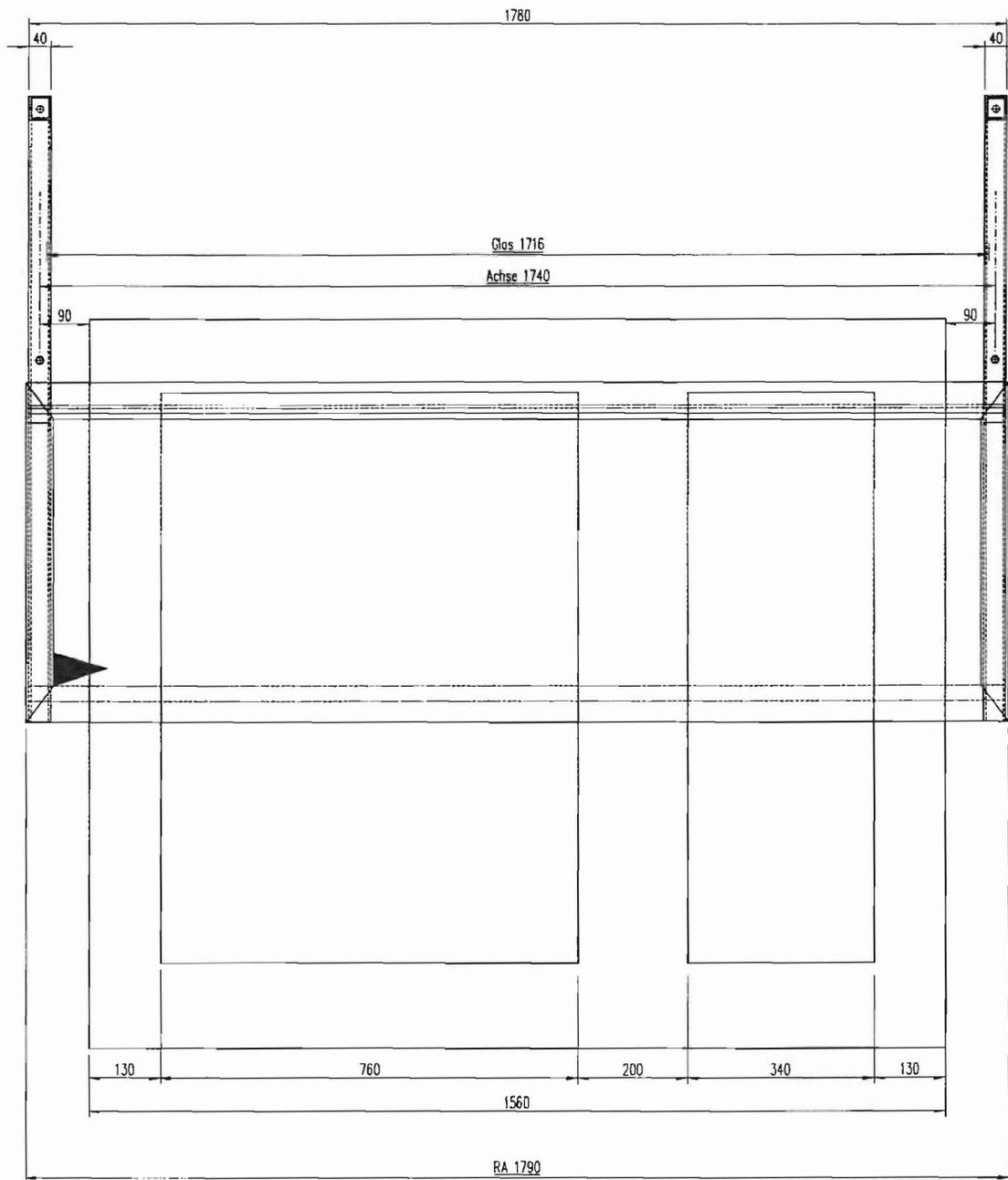
Jede Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verbreitung oder Nachdruck ist ohne unsere schriftliche Genehmigung ausdrücklich untersagt.

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Weitergabe an dritte Personen ist verboten und wird verfolgt.

NK 3



		REMMEL + PETERS	
		<small>GmbH+Co.KG METALLBAU</small>	
		50827 Köln	<small>Telefon (0221) 95 65 19-0 Telefax (0221) 95 65 19-9</small>
<small>OBJEKT</small>	Institut für Licht- u. Bautechnik		<small>AUFR.</small> 3943.01
<small>ARCHITEKT</small>	Dipl.-Ing. A. Eder		<small>JA</small> <small>ART</small>
<small>INHALT</small>	Schnitt durch Sparren		<small>DATEI</small> NK 3-3
	<small>DATUM</small>	21.10.01	<small>GEZ.</small> G.H
	<small>MASST.</small>	1:1	<small>GEPR.</small>
	<small>AUSGA.</small>	16.12.2001	



NK 4

▶ Nordlichtlenkung
Einbau ILB

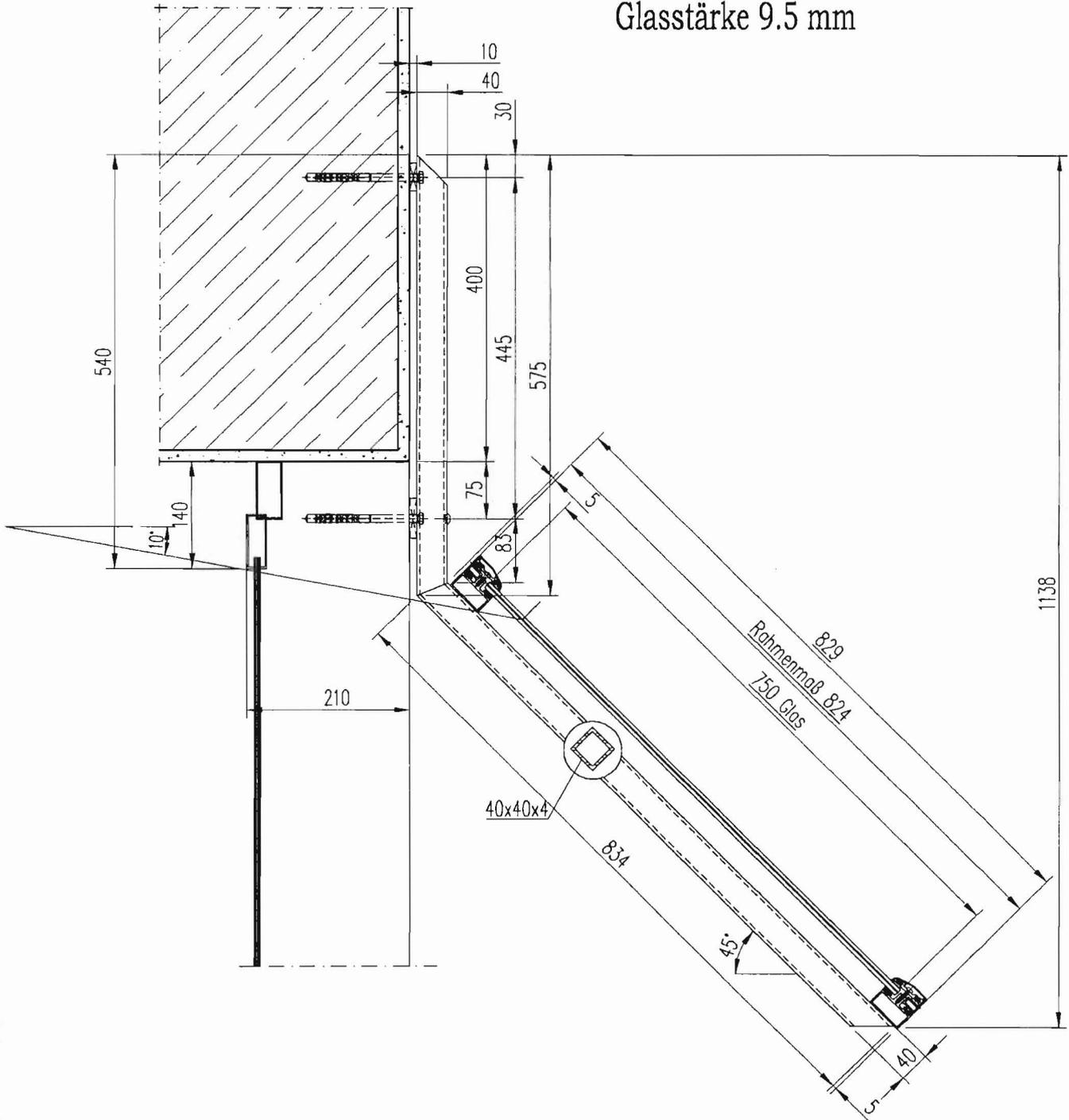
2 Stück Showroom
RAL 5010

 REMMELE + PETERS GmbH+Co.KG METALLBAU 50827 Köln Telefon (0221) 95 65 18-0 Telefax (0221) 95 65 18-9	
ZIEHST Institut für Licht- u. Bautechnik Dipl.-Ing. A. Eder Ansicht	AUFTR. 3943.01 NR. NK 4-1 DATUM 22.10.01 ZEICHNER C.H. MASSTAB 1:1 AUSGABE 12.12.2001

Diese Zeichnung ist eine Kopie eines Originals. Alle Verantwortlichkeiten, einschließlich der Einhaltung der geltenden Vorschriften, sind dem Auftraggeber zu überlassen und nicht anfertiger.

NK 4

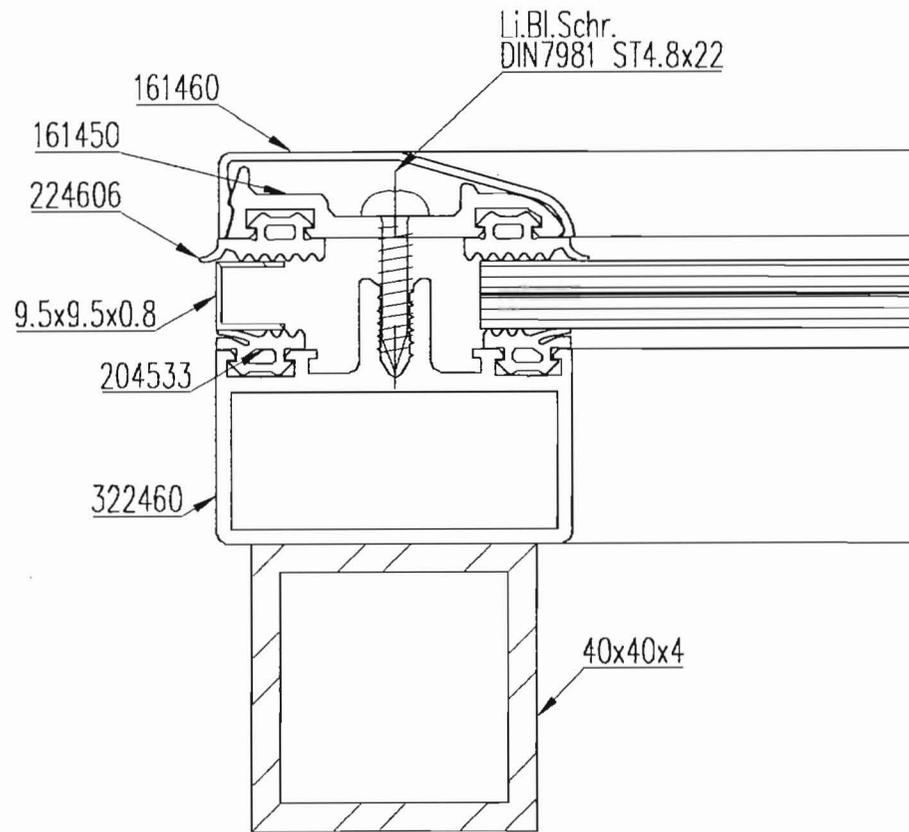
2 Stück (Showroom)
RAL 5010 (enzianblau)
Glasstärke 9.5 mm



0 50 100mm

REMEL + PETERS GmbH + Co. KG METALLBAU	
50827 KBin	Telefon (0221) 85 45 18-0 Telefax (0221) 85 46 18-3
Inst. für Licht- u. Bautechnik	3943.01
Exp. - Ing. A. Eder	NK 4-2
2 Stück (Showroom)	03. Rev. 22.10.05
Modell NK 4	02Z 10.0
RAL 5010 (Enzianblau)	04. Rev. 1.1
Vertikalschnitt	05. Rev. 13.10.05

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Weitergabe an dritte Personen ist verboten und wird verfolgt.



NK 4



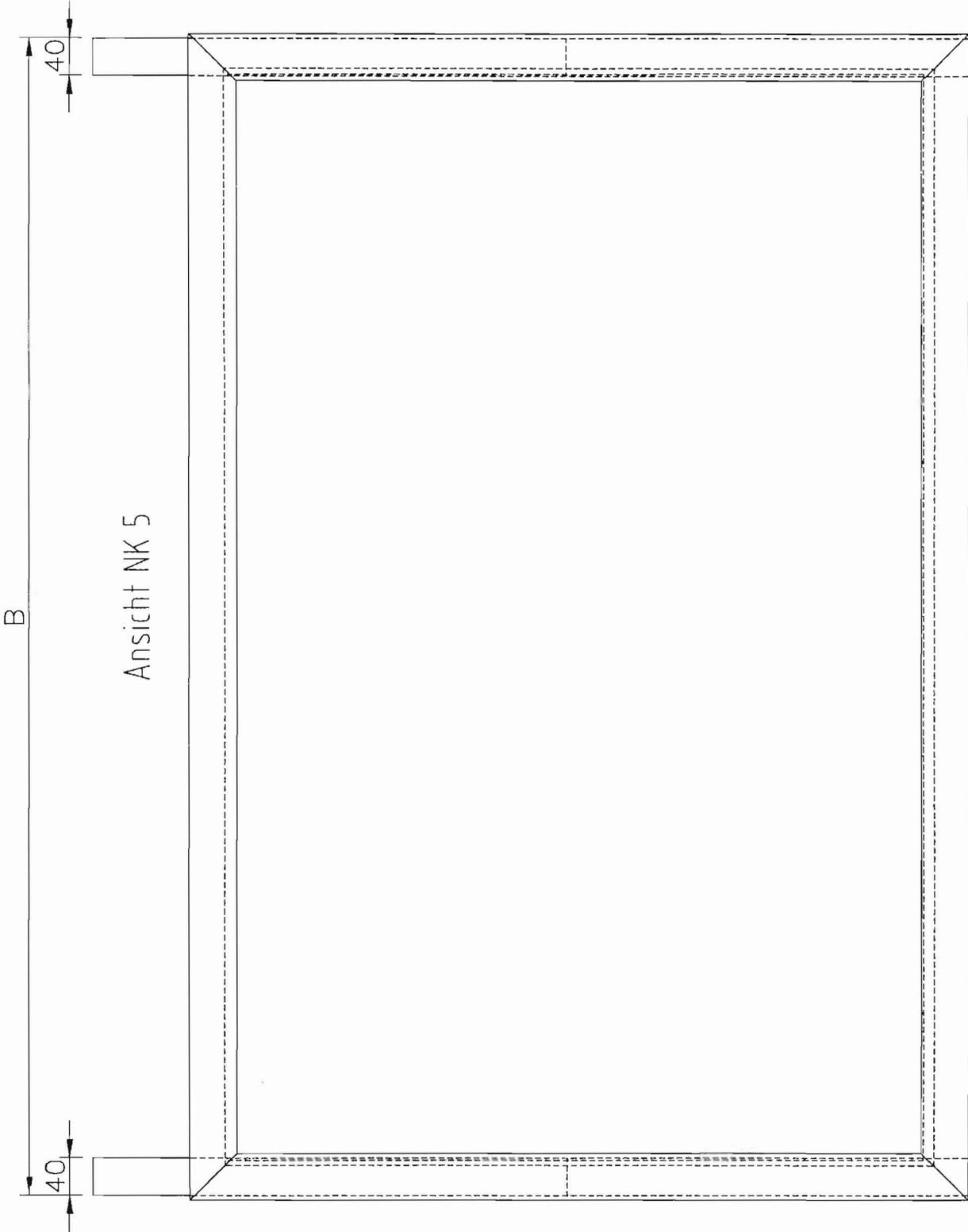
REMMEL + PETERS

GrmbH+Co.KG METALLBAU

50827 Köln Telefon (0221) 95 65 19-0
Telefax (0221) 95 65 19-9

OBJEKT
Institut für Licht- u. Bautechnik
ARCHITEKT
Dipl.-Ing. A. Eder
INHALT
Vertikalschnitt
RAL 5010
2 Stück (Showroom)

AUFTR.	3943.01
TA	ART
DATEI	NK 4-3
DATUM	16.10.01
GEZ.	C.H
MASST.	1:1
GEPR.	
AUSGA.	17.12.2001



Ansicht NK 5

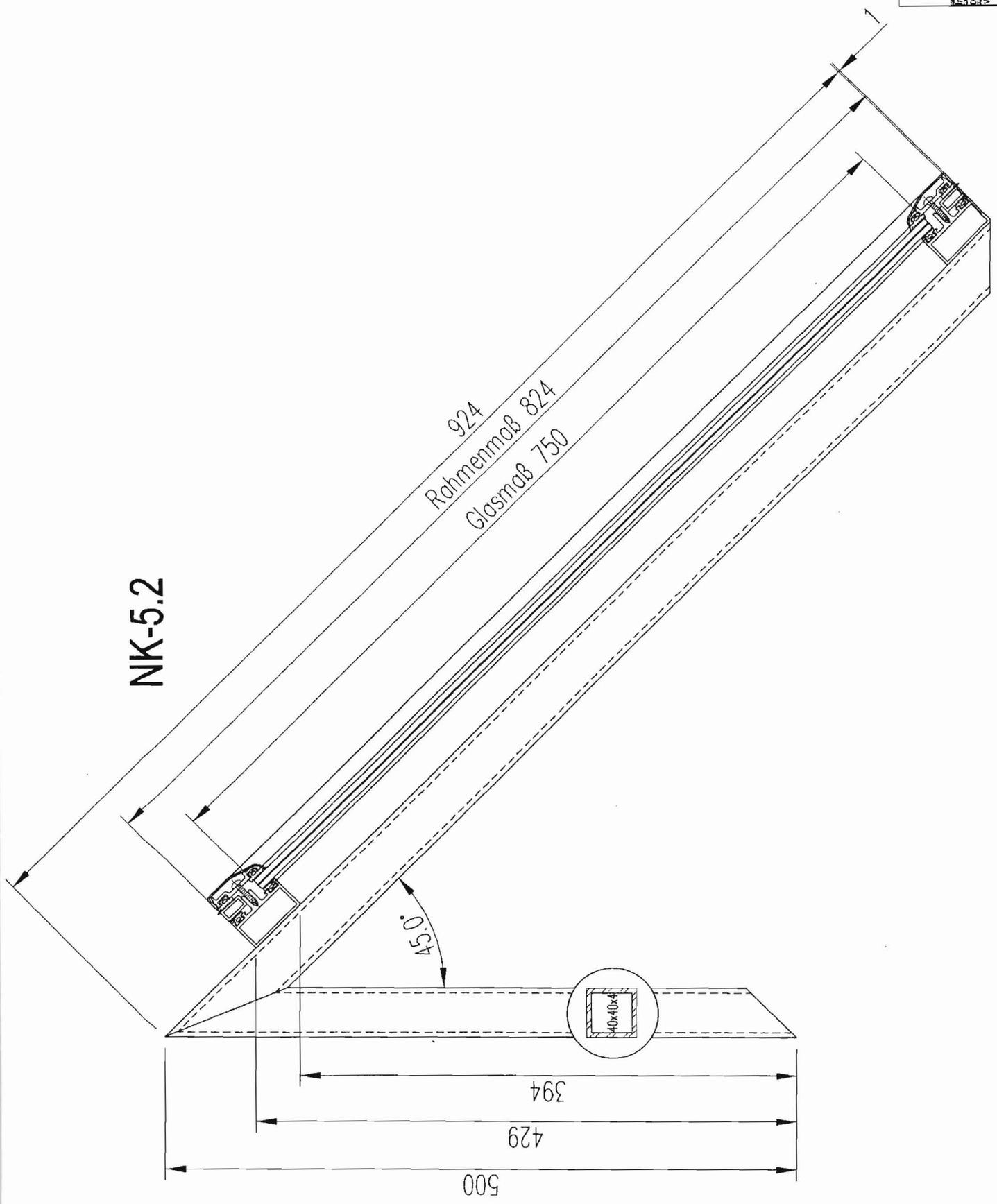
	REMMEL + PETERS <small>GENUSSMUTIG</small> 69277 KSB		Nr. 3943.01
	Institut für Licht- u. Bautechnik Prof. -Ing. A. Eder Aussehenicht Wehre Größe		Nr. NK 5-1 Blatt 1 Datum 11.11.2000

REMMEI + PETERS
DRUCK-GLAS-TECHNIK
10027 KÖLN

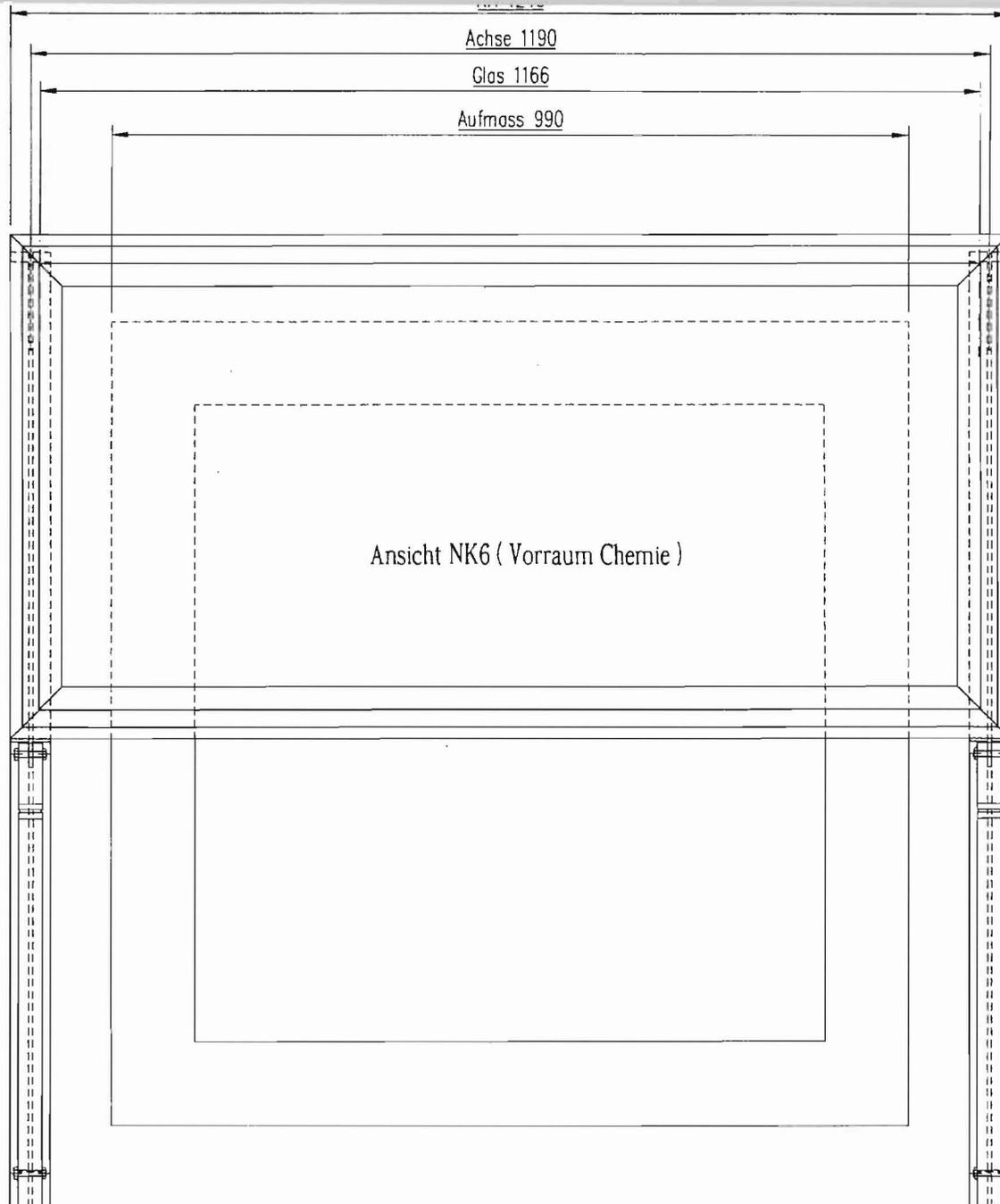
Proj. Nr. 3943.01

Institut für Licht- u. Boulechnik
 Prof. Dr.-Ing. A. Eder
 Verkaufsschnitt

Blatt	NK-5-2
Blattanzahl	1/1
Blattgröße	110x150
Blattformat	A3
Blattnummer	1/1



NK 6

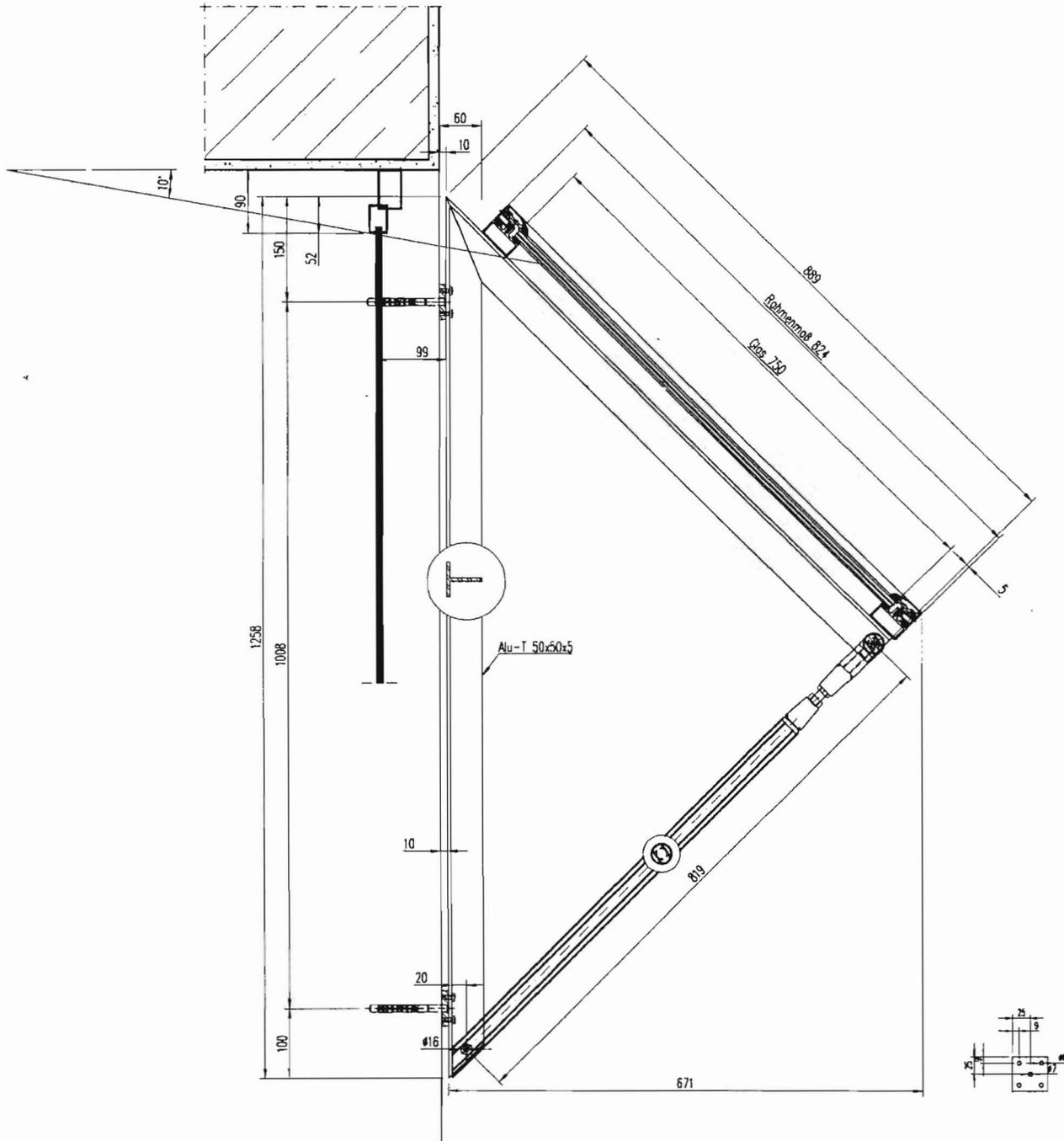


0 50 100mm

		REMMEL + PETERS	
GmbH+Co.KG METALLBAU		50827 Köln	
Telefon (0221) 95 65 18-0		Telefax (0221) 95 65 18-9	
Institut für Licht- u. Bautechnik		3943.01	
Dipl.-Ing. A. Eder		NK 6-1	
Vordachkonstruktion		30.10.01	
Modell NK 6.1		G.P.	
Silberfarbig		1:1	
Ansicht		AUSGA 17.12.2001	

Alle Zeichnungen sind Eigentum des Verordnungsorgans. Vervielfältigung, Verbreitung oder Weitergabe an Dritte ist ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers untersagt.

NK 6



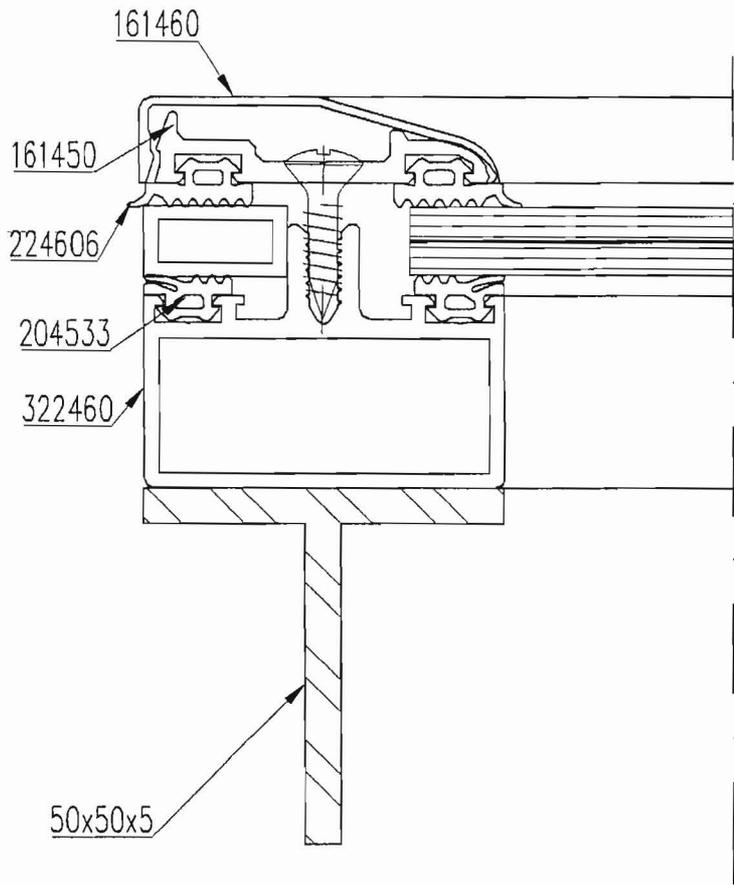
1 Stück (Chemievorraum)
 NLL Vertikalschnitt



		REMEL + PETERS	
		<small>GmbH + Co.KG METALLBAU</small>	
50827 KStn		Telefon (0221) 95 85 19-0 Telefax (0221) 95 85 18-9	
Institut für Licht- u. Bautechnik <small>Proj. 394.3.01</small>		Nr. NK 6-2 <small>DATEI 17.08.81</small>	
Dipl.-Ing. A. Eder Vordachkonstruktion Modell NK 6 Silberfarbig (E8/EV1) u. (E2/EV1) Vorraum Chemie		<small>DRG</small> <small>MASSSTAB 1:1 (Bsp. A 9)</small> <small>ZEICHNER</small> <small>VERZEICHNIS 17.12.1981</small>	

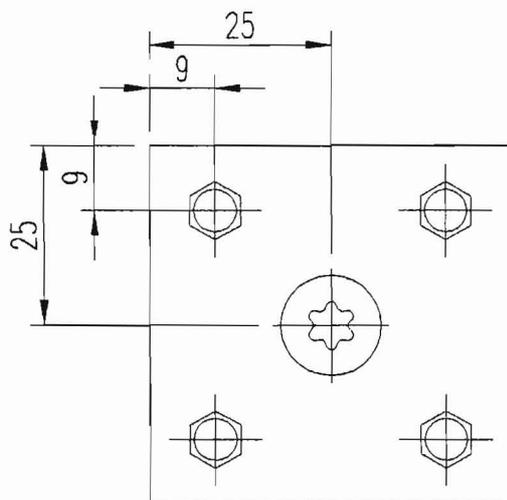
Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Weitergabe an dritte Personen ist verboten und wird verfolgt.

NK 6



	REMMEL + PETERS	
	GmbH+Co.KG METALLBAU	
50827 Köln		Telefon (0221) 95 65 19-0 Telefax (0221) 95 65 19-9
OBJEKT	Institut für Licht- u. Bautechnik	
ARCHITEKT	Dipl.-Ing. A. Eder	
INHALT	Schnitt durch Sparren	
ALP.NR.	3943.01	
JA	ART	
DATEI	NK 6-3	
DATUM	23.10.01	
GEZ.	G.H	
MASSST.	1:1	
GEPR.		
AUSGA	17.12.2001	

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Weitergabe an dritte Personen ist verboten und wird verfolgt.



$t = 10\text{mm}$



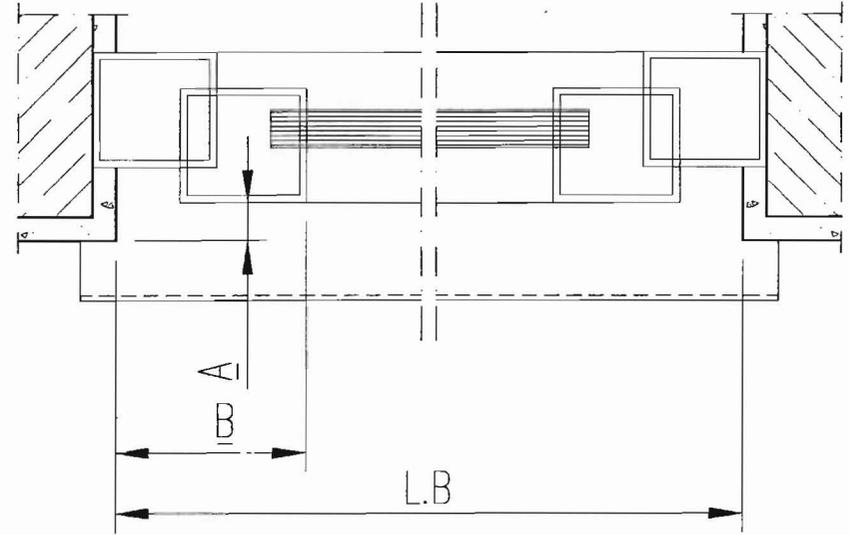
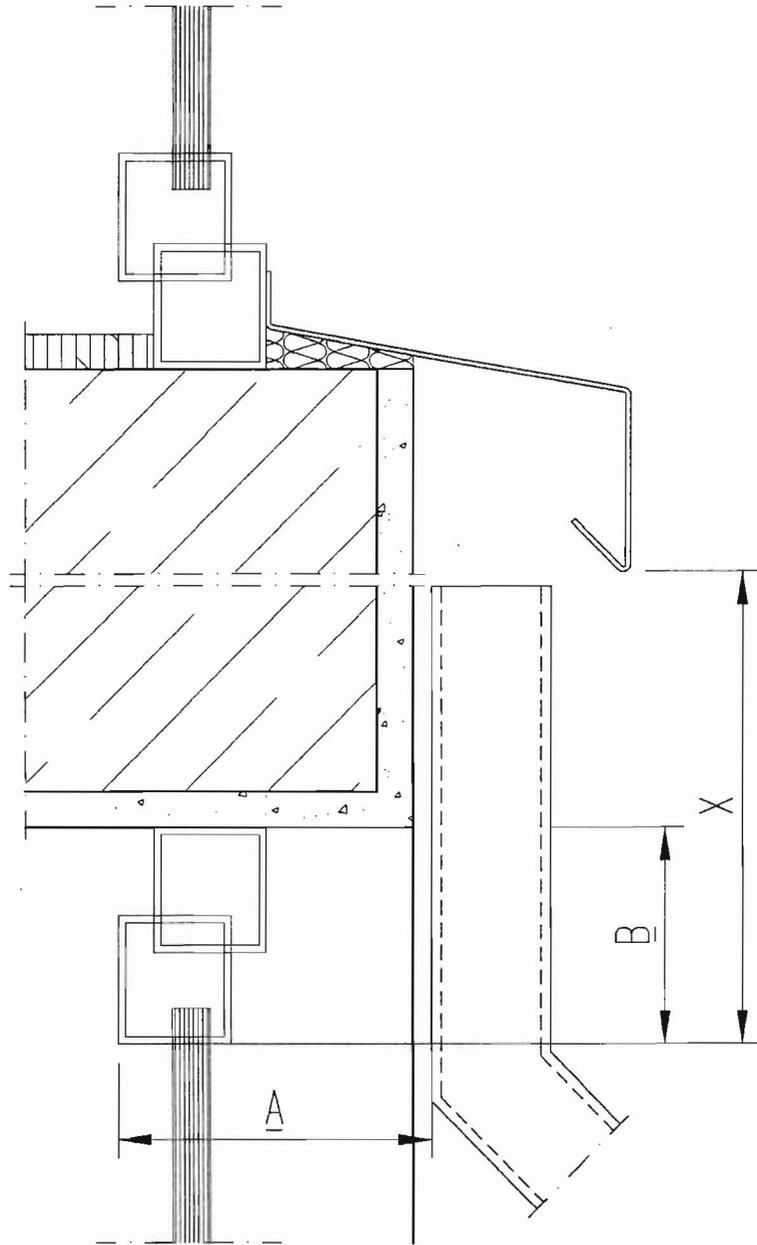
REMMELE + PETERS

GmbH+Co.KG METALLBAU

50827 Köln Telefon (0221) 95 65 19-0
Telefax (0221) 95 65 19-9

OBJEKT	Institut für Licht- u. Bautechnik		AUFTR.	3943.01	
ARCHITEXT	Dipl.-Ing. A. Eder		TA	ART	
INHALT	Einzelteilzeichnung Befestigungsplatten		DATEI	NK 6-3A	
	DATUM	21.11.01	GEZ.	G.H	
	MASST.	1:1	GEPR.		
	AUSGA.	17.12.2001			

Schema Zeichnung



REMMEL + PETERS

GmbH+Co.KG METALLBAU

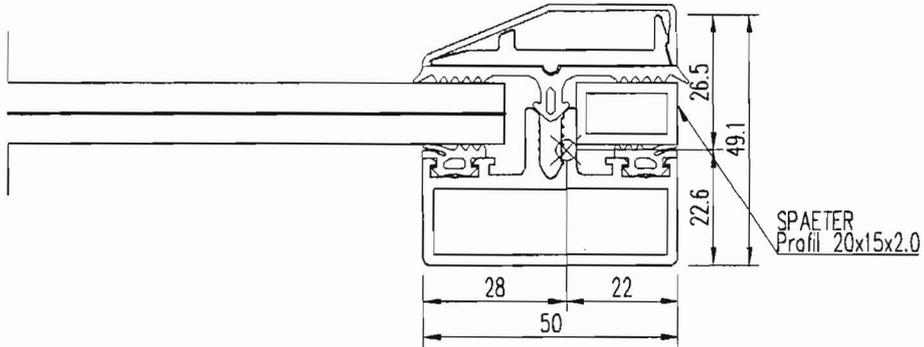
50827 Köln Telefon (0221) 95 65 19-0
Telefax (0221) 95 65 19-9

OBJEKT Institut für Licht- u. Bautechnik
ARCHITEKT Dipl.-Ing. A. Eder
INHALT Schema Zeichnung
Schematische Vermessung

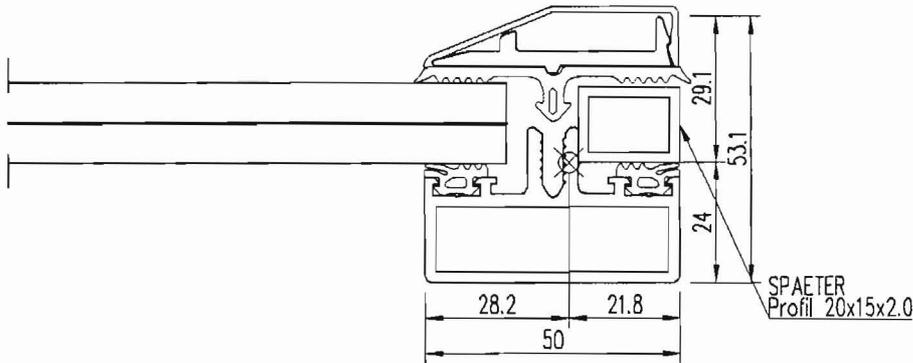
AUFTR.	3943.01
TA	ART
DATEI	NK 7
DATUM	25.10.01
GEZ.	G.H
MASST.	./.
GEPR.	
AUSGA.	17.12.2001

Diese Zeichnung ist unser Eigentum. Jede Vervielfältigung, Verwertung oder Weitergabe an dritte Personen ist verboten und wird verfolgt.

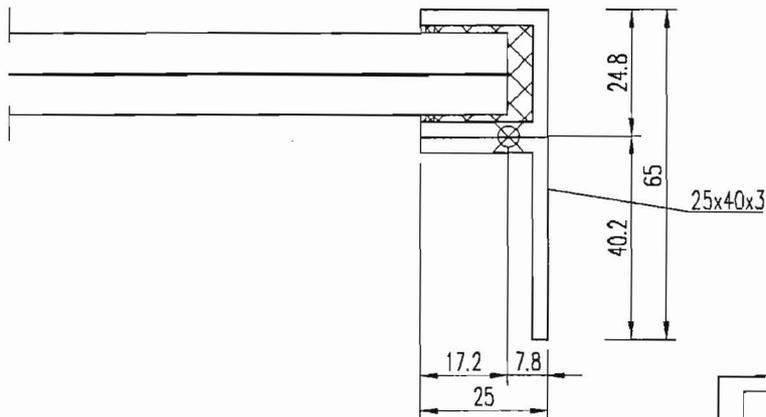
$I_x = 3.27 \text{ cm}^4$	Verbundbeiwert $c = 0$
$W_x = 1.23 \text{ cm}^3$	Gemeinsames Trägheits- und Widerstandsmoment
$I_y = 12.35 \text{ cm}^4$	von mehreren zusammengesetzten Profilen. Zur Ermittlung
$W_y = 4.41 \text{ cm}^3$	wurde als Verbundbeiwert der Faktor 0 verwendet.
$A = 6.68 \text{ cm}^2$	Die Ermittlung ersetzt keinen Spannungsnachweis!



$I_x = 9.82 \text{ cm}^4$	Verbundbeiwert $c = 0.5$
$W_x = 3.38 \text{ cm}^3$	Gemeinsames Trägheits- und Widerstandsmoment
$I_y = 13.53 \text{ cm}^4$	von mehreren zusammengesetzten Profilen. Zur Ermittlung
$W_y = 4.80 \text{ cm}^3$	wurde als Verbundbeiwert der Faktor 0.5 verwendet.
$A = 6.80 \text{ cm}^2$	Die Ermittlung ersetzt keinen Spannungsnachweis!



$I_x = 11.65 \text{ cm}^4$	Verbundbeiwert $c = 1$
$W_x = 2.90 \text{ cm}^3$	Gemeinsames Trägheits- und Widerstandsmoment
$I_y = 2.35 \text{ cm}^4$	von mehreren zusammengesetzten Profilen. Zur Ermittlung
$W_y = 1.37 \text{ cm}^3$	wurde als Verbundbeiwert der Faktor 1 verwendet.
$A = 3.93 \text{ cm}^2$	Die Ermittlung ersetzt keinen Spannungsnachweis!



	REMMEI + PETERS	
	<small>GmbH + Co.KG METALLBAU</small>	
50827 Köln		<small>Telefon (0221) 95 65 19-0</small> <small>Telefax (0221) 95 65 19-9</small>
<small>PROJEKT</small> Institut für Licht- u. Bautechnik		<small>NUMMER</small> 3943.01
<small>VERFASST</small> Dipl.-Ing. A. Eder		<small>JAHR</small> 2001
<small>BEZWECK</small> Ermitteln des Verbundbeiwerts		<small>DATEI</small> NK 8
		<small>DATUM</small> 21.10.01
		<small>ZEICHNER</small> GH
		<small>PROJEKTLEITER</small> GH
		<small>AUSGABE</small> 1R.12.2001