

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 1 072 752 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
31.01.2001 Patentblatt 2001/05

(51) Int Cl. 7: E06B 9/24, F21S 11/00

(21) Anmeldenummer: 99118004.3

(22) Anmeldetag: 20.09.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: Lorenz, Werner, Dr.  
45257 Essen (DE)

(72) Erfinder: Lorenz, Werner, Dr.  
45257 Essen (DE)

### (54) Eine Fensterscheibe für Sonnenschutz, Raumausleuchtung und Energieeinsparung

(57) Die Fensterscheibe für Sonnenschutz, Raumausleuchtung und Energieeinsparung ist ein aus zwei Scheiben bestehendes Prismenscheibensystem. Die Rippen der Scheiben sind mit einem bestimmten Winkel zur Horizontalen in der Fensterebene geneigt, haben identische Querschnitte in der Form eines rechtwinkligen Dreiecks mit einem bestimmten Basiswinkel ( $\theta$ ), sind einander zugewendet und so ineinander verzahnt, daß nur ein kleiner Luftspalt zwischen den beiden Scheiben verbleibt. Die Flächen ( $S_A$ ) der Rippen sind mit einer spiegelnd reflektierenden Beschichtung und die Flächen ( $S_B$ ) der Rippen sind mit einer diffus reflek-

tierenden Beschichtung versehen.

Das Prismenscheibensystem ist für übliche Fensterneigungswinkel ( $v$ ) und Fensterausrichtungen mit wesentlicher Sonneneinstrahlung an Standorten in gemäßigten Klimazonen geeignet. Es schränkt die Sicht nach außen nicht wesentlich ein, bietet im Vergleich zu anderen Fensterscheiben eine relativ gleichmäßige Ausleuchtung eines Raumes mit Tageslicht und während des Sommers und der Übergangszeiten einen besseren Sonnenschutz und deutlich geringere eingeschaltete Wärmemengen. Von den reflektierenden Prismenflächen geht kein Blendeffekt aus.

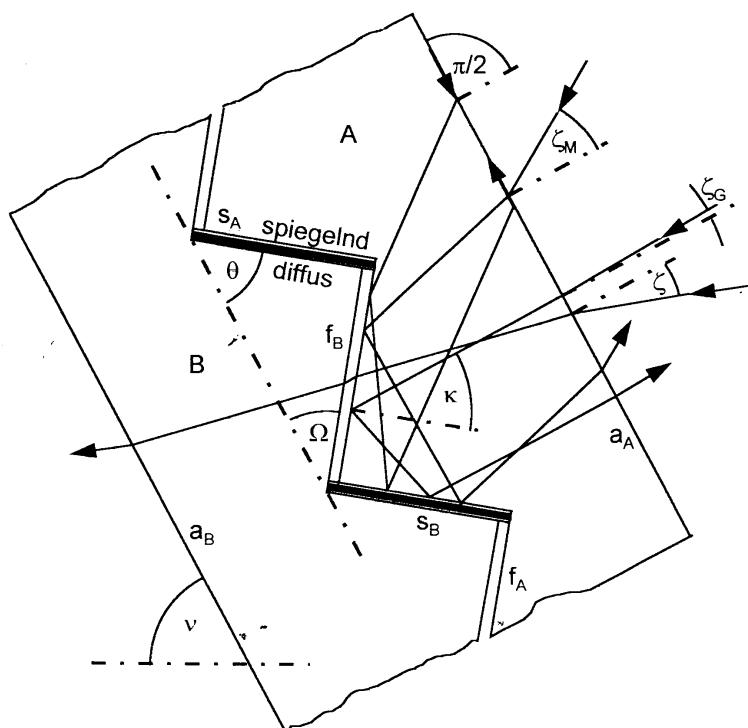


Abb. 12

EP 1 072 752 A1

**Beschreibung****Stand der Technik****5 Scheiben mit horizontalen prismatischen Rippen**

[0001] Glasscheiben mit horizontal verlaufenden, prismatischen Rippen für vertikale, nach Süden ausgerichtete Fenster, welche, abhängig vom jeweiligen Sonnenhöhenwinkel, die direkte Sonnenstrahlung reflektieren oder durchlassen, sind bereits seit 1980 bekannt (Französische Patentschrift Nr. 8017364, Publikation Nr. 2463254). Bei richtiger Auslegung des Rippenquerschnitts (Abb. 1) bewirken die Brechung der Strahlen beim Eintritt in die Oberseite der Rippen und - gegebenenfalls - die Totalreflexion im Innern der Scheibe an der Rückseite, daß die direkte Sonnenstrahlung im Sommer reflektiert und im Winter durchgelassen wird. Der Prismenbasiswinkel  $\theta$  wird so gewählt, daß die Gleichung

$$15 \quad \sin(\eta_G - \theta) = n \cdot \sin(\kappa - \theta) \quad (1)$$

mit

20  $n$  : dem Brechungsindex des Scheibenmaterials, welcher bei üblichem Fensterglas und Acrylglas etwa gleich 1,5 ist,

25  $\eta_G$  : dem gewählten Grenzwert des Sonnenhöhenwinkels  $\eta_S$  um 12 Uhr mittags Ortszeit - d.h. einfallende Sonnenstrahlen mit einem Winkel  $\eta_S > \eta_G$  sollen nicht durchgelassen und mit einem Winkel  $\eta_S < \eta_G$  sollen durchgelassen werden - und

$\kappa = \arcsin(1/n)$ , dem kritischen Winkel der Totalreflexion,

erfüllt wird. Wenn das Fenster mit der Prismenglasscheibe nach Süden ausgerichtet ist, so liegt der Sonnenstrahlungsvektor zur Tageszeit  $t_v=12$  Uhr mittags in der Rippenquerschnittsebene und steht vertikal zu den Längsachsen der prismatischen Rippen und die horizontalen prismatischen Rippen sind parallel zur Äquatorebene. Die Ausrichtung der Prismenglasscheibe nach Süden bewirkt somit, daß der tageszeitliche Verlauf des Strahleinfallswinkels  $\gamma_2$  an der Rückseite der Prismenglasscheibe, der über Reflexion oder Durchdringung entscheidet, symmetrisch zur Tageszeit  $t_v=12$  Uhr mittags ist. Diese Reflexionseigenschaft der prismatischen Rippen ist bei gleicher Einfallsrichtung für Strahlung, welche vom klaren oder bedeckten Himmel einfällt, natürlich dieselbe wie für direkt von der Sonne einfallende Strahlung. Im Sommer bleibt dadurch die Temperatur in den Räumen im allgemeinen in akzeptablen Grenzen, während die Sonnenenergie im Winter zur Reduktion der aufzuwendenden Heizenergie beiträgt. Diese Prismenglasscheibe ist aber undurchsichtig und nur für vertikale und im wesentlichen nach Süden ausgerichtete Fenster anwendbar. Im Vergleich zu üblichen Isolierglasscheiben bietet diese Prismenglasscheibe einen besseren Blendschutz gegen direkte Sonnenstrahlung auf der Arbeitsplatzebene in Fensternähe, führt aber zu keiner verbesserten Ausleuchtung der Raumtiefe.

40

**Scheiben mit nicht-horizontalen prismatischen Rippen**

[0002] Eine neuere Entwicklung (Europäische Patentanmeldung Nr. 97113294.9-2205) beschreibt, wie Glasscheiben mit prismatischen Rippen diese Wirkung auch für alle vertikalen Fenster mit einer Ausrichtung zwischen Ost-südost und West-südwest erreichen können. Dieses gelingt dadurch, daß die prismatischen Rippen - abhängig von der Abweichung  $\Delta\beta$  der Fensterausrichtung von der Südrichtung - mit einem bestimmten Winkel  $\alpha$  zur Horizontalen geneigt werden. Der Winkel  $\alpha$  wird nach der Gleichung

$$50 \quad \tan\alpha = -\sin\Delta\beta/\tan\lambda \quad (2)$$

mit  $\lambda$ : der geographischen Breite des Anwendungsortes bestimmt. Für Fenster mit verschiedenen Fensterausrichtungen ist die Neigung der prismatischen Rippen zur Horizontalen in Abb. 2 dargestellt. Der Winkel  $\eta$  wird allgemein als Winkel zwischen der Richtungskomponente eines Strahls in der Rippenquerschnittsebene und der Schnittgeraden von Horizontebene und Rippenquerschnittsebene definiert. Die Bestimmung des Grenzwinkels  $\eta_G$  zwischen dem Sonnenstrahlungsvektor und der Schnittgeraden von Horizontebene und Rippenquerschnittsebene für den Tageszeitwinkel  $\beta_v$  erfolgt mit Hilfe der Gleichungen

$$\delta_G = \delta_0 \cdot \cos(2\pi \cdot d_G / d_J), \quad (3)$$

5 dem Grenzwinkel der Sonnendeklination zur Äquatorebene zu den Jahreszeitpunkten, an denen gerade keine Sonnenstrahlung mehr bzw. gerade wieder Sonnenstrahlung die Prismenscheibe durchdringen soll, mit

$\delta$  : der Sonnendeklination zur Äquatorebene,

10  $\delta_0 = 23,45^\circ$ , der maximalen Sonnendeklination zur Äquatorebene zum Jahreszeitpunkt der Sommersonnenwende,

15  $d_G$ : der als Sonnensperrzeit bezeichneten Zeit in Tagen jeweils vor und nach der Sommersonnenwende, in der keine Sonnenstrahlung die Prismenscheibe durchdringen soll,

15  $d_J = 365,25$  Tage, der Zeit eines Jahres,

$$\beta_v = -\arctan(\tan \Delta \beta / \sin \lambda), \quad (4)$$

20 dem Tageszeitwinkel, für den der Sonnenstrahlungsvektor in der Rippenquerschnittsebene liegt und vertikal zu den Längsachsen der prismatischen Rippen steht, mit

$t$ : der mittleren Tageszeit des Ortes,

25  $\beta = \pi/12h \cdot t$  : dem Tageszeitwinkel,

$$\eta_0 = -\arcsin(\cos \beta_v \cdot \cos \lambda / \cos \alpha), \quad (5)$$

30 dem Winkel zwischen dem Sonnenstrahlungsvektor und der Schnittgeraden von Horizontebene und Rippenquerschnittsebene für den Tageszeitwinkel  $\beta_v$  und die Sonnendeklination  $\delta=0^\circ$  und

$$\eta_G = \delta_G + \eta_0. \quad (6)$$

35 **[0003]** Der Prismenbasiswinkel  $\theta$  wird nach der Gleichung

$$\tan \theta = (1 - \sin \eta_G) / [(n^2 - 1)^{1/2} - \cos \eta_G] \quad (7)$$

40 bestimmt. Gl. 7 ist eine explizite Form von Gl. 1. Der maximal mögliche Winkel  $\eta$  zwischen dem Sonnenstrahlungsvektor und der Schnittgeraden von Horizontebene und Rippenquerschnittsebene für den Tageszeitwinkel  $\beta_v$  zur Jahreszeit der Sommersonnenwende ist

$$45 \quad \eta_M = \delta_0 + \eta_0. \quad (8)$$

**[0004]** Der Winkel  $\Omega$  des Rippenquerschnitts wird so bestimmt, daß

$$50 \quad \Omega \geq \pi/2 - \eta_G \quad (9)$$

erfüllt ist. Wenn

$$55 \quad \Omega \geq \pi/2 - \theta - \arcsin[\sin(\eta_M - \theta) / n]$$

ist, was für große Abweichungen der Fensterausrichtung von der Südrichtung und/oder große Sonnensperrzeiten der

Fall ist, wird ein Sägezahnprofil mit bestimmten Winkeln an den Unterseiten der prismatischen Rippen vorgesehen (Abb. 3). Bei einer derartigen Auslegung der Prismenscheibe ist der tageszeitliche Verlauf des Sonnenstrahleinfallwinkels  $\gamma_2$  an der Rückseite der Prismenglasscheibe, der über Reflexion oder Durchdringung entscheidet, symmetrisch zum Tageszeitpunkt  $t_v$ , weist für diesen Tageszeitpunkt ein Minimum auf und liegt in Abhängigkeit von dem Jahreszeitpunkt um so höher, je näher der Jahreszeitpunkt der Sommersonnenwende ist. Dieser tageszeitliche Verlauf des Sonnenstrahleinfallwinkels  $\gamma_2$  ist für ein Beispiel ( $\Delta\beta=45^\circ$ ,  $\delta_G=11,725^\circ$ ,  $\alpha=-30,68^\circ$ ,  $\theta=47,87^\circ$ ,  $\beta_v=127,45^\circ$  bzw.  $t_v=8:30$ ) in Abb. 4 dargestellt. Man erkennt, daß während der Tage zu den beiden Jahreszeitpunkten der Grenzsonnendeklination  $\delta_G$  gerade noch kein Sonnenstrahl die Prismenscheibe durchdringen kann und daß die Sonnensperrwirkung der Prismenscheibe mit abnehmender Sonnendeklination  $\delta$  mehr und mehr aufgehoben wird. Da die Sperrwirkung der Prismenglasscheibe für vom Himmel ausgehende Strahlung natürlich genauso wie für Sonnenstrahlung vorhanden ist, kann auch der Teil der Himmelsstrahlung, für den  $\gamma_2>\kappa$  gilt, nicht durchdringen. Diese Prismenscheibe bietet somit den Sonnenschutz und die energetischen Vorteile der in der französischen Patentschrift Nr. 8017364 beschriebenen Prismenscheibe für einen breiten Bereich von Fensterausrichtungen und ermöglicht außerdem die individuelle Wahl der jährlichen Sonnensperrzeit durch die Dimensionierung des Prismenprofils. Aber auch diese Prismenscheibe ist 15 undurchsichtig und nur für vertikale Fenster anwendbar. Auch diese Prismenglasscheibe bietet im Vergleich zu üblichen Isolierglasscheiben einen besseren Blendschutz gegen direkte Sonnenstrahlung auf der Arbeitsplatzebene in Fensternähe, führt aber zu keiner verbesserten Ausleuchtung der Raumtiefe. Der Aufwand für die Fertigung dieser Scheibe steigt erheblich, wenn ein Sägezahnprofil erforderlich ist.

## 20 Scheiben mit horizontalen Einschnitten oder Hohlräumen

**[0005]** Ein Fensterglas für vertikale Fenster, dessen optisch wirksamer Teil aus vertikal übereinander angeordneten, horizontalen Rippen besteht, ist ebenfalls bekannt (Edmonds I.R., 1993. Performance of laser cut light deflecting panels in daylighting applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 29, 1-26). Dieses System kann z.B. mit Hilfe von 25 Acrylglasplatten, in welche - etwa mit Laserstrahlen - schmale, parallele Einschnitte eingebracht werden, realisiert werden (Abb. 5). Die Querschnitte dieser Rippen können die Form eines Rechtecks oder eines nicht wesentlich von der Rechteckform abweichenden Parallelogramms mit dem Seitenverhältnis  $h/b$  haben.

**[0006]** Ein in die Rippe eindringender Strahl tritt, abhängig vom Auftreffpunkt, dem Winkel  $\eta$  des Strahls sowie dem Seitenverhältnis  $h/b$  und der Form des Glasrippenquerschnitts, nach keiner, einer oder mehreren Reflexionen an der Rückseite der Glasrippe wieder aus. Abb. 6 zeigt als Beispiel drei mögliche Strahlenverläufe in der Rippenquerschnittsebene für drei verschiedene Winkel  $\eta$ . Man erkennt, daß ein Teil der Strahlen - abhängig vom Winkel  $\eta$  - nach oben umgelenkt wird, während die übrigen Strahlen die ursprüngliche Richtung beibehalten. Tatsächlich schwankt der Anteil der nach oben umgelenkten Strahlung in Abhängigkeit von der Richtung der einfallenden Strahlung von 0 bis 1; dieses gilt auch, wenn der Glasrippenquerschnitt ein Parallelogramm ist. Strahlung, welche vom klaren oder bedeckten Himmel einfällt, wird von diesem System trotz der Richtungsabhängigkeit der Umlenfung zum erheblichen Anteil nach oben gegen die üblicherweise weiße Raumdecke umgelenkt und verbessert somit die Ausleuchtung tiefer Räume mit Tageslicht. Direkte Sonnenstrahlung, welche ja zu einem Zeitpunkt jeweils nur aus einer Richtung einfällt, wird jedoch je nach Tageszeit und Jahreszeit sehr unterschiedliche und schnell wechselnde Beleuchtungsverhältnisse und Strahlrichtungen in mit diesem System ausgerüsteten Räumen erzeugen und es wird zu erheblichen Blendwirkungen kommen. Dieses System kommt also auch mit geeigneter Beschichtung nicht als Sonnenschutzglas in Frage und es hat 40 - im Vergleich zu üblichem Isolierglas - keinen regelnden Einfluß auf die Strahlungswärmeaufnahme im Sommer und Winter. Für vertikale Fenster jedoch, welche im wesentlichen nach Norden - auf der südlichen Hemisphäre: nach Süden - ausgerichtet sind, ist dieses System, welches auch eine gute Durchsichtigkeit aufweist, gut zur Verbesserung der Ausleuchtung tiefer Räume mit Tageslicht geeignet. An äquatornahen Anwendungsorten ist dieses System als Dekkenlicht in der Form einer Pyramide im Vergleich zu einem entsprechenden Deckenlicht aus üblichem Isolierglas in der Lage, sowohl den Strahlungswärmeeinfall in einen Raum deutlich zu reduzieren als auch für eine verbesserte Ausleuchtung des Raumes mit Tageslicht zu sorgen.

## 50 Scheiben mit horizontalen, verspiegelten Profilstäben

**[0007]** Die Deutsche Patentanmeldung DE A1 E04D003-35 beschreibt ein Fensterglas, welches horizontale, verspiegelte Profilstäbe im Zwischenraum eines aus zwei Scheiben bestehenden Isolierglases (Abb. 7) nutzt, um direkte Sonnenstrahlung während des Sommers zu reflektieren und während des Winters - nach oben umgelenkt - in den Raum eintreten zu lassen. Entsprechend kann die mit flachen bis mittleren Winkeln einfallende Strahlung des bedeckten bzw. klaren Himmels in den Raum eindringen, während die mit mittleren bis steilen Winkeln einfallende Strahlung des bedeckten bzw. klaren Himmels reflektiert wird. Dieses Fensterglas hat also das Ziel, die Strahlungswärmeaufnahme so zu steuern, daß im Sommer möglichst wenig und im Winter möglichst viel Energie in den Raum eindringen kann, und durch Umlenkung des einfallenden Lichtes gegen die üblicherweise weißen Raumdecken - im Vergleich zu

üblichem Isolierglas - eine bessere Ausleuchtung tiefer Räume mit Tageslicht zu erreichen. Dieses System wurde mit Hilfe des Rechenprogrammes RADIANCE für einen Testraum mit einem nach Süden ausgerichteten Fenster simuliert (Moeck M., 1998. On daylight quality and quantity and its application to advanced daylight systems. *Journal of the Illuminating Engineering Society* Winter 1998, 3-21) und auch meßtechnisch untersucht (Aizlewood M.E. ,1993. Innovative Daylighting Systems: An experimental evaluation. *Lighting Research and Technology* 25,141-152) und mit anderen Systemen verglichen. Hierbei ergab sich, daß dieses System, von potentiellen Blendwirkungen einmal abgesehen, den angestrebten Sonnenschutz bieten kann und auch zur Vergleichmäßigung der Helligkeit in tiefen Räumen beiträgt. Es reduziert den Licht- und Energieeinfall in Räume jedoch nicht nur im Sommer sondern auch im Winter erheblich, so daß im jeweiligen Anwendungsfall beurteilt werden muß, ob das System die angestrebte energiesparende

Wirkung erbringt. Das System ist in gewissem Maße durchsichtig. Da die Profilstäbe jedoch einen größeren Anteil der freien Fläche eines Fensters als die Lamellen eines üblichen Jalousiesystems beanspruchen, ist die Durchsichtigkeit dieses Fensterglasses geringer als bei einem Fenster mit einem Jalousiesystem. Wegen der ausschließlich horizontal ausgerichteten Profilstäbe ist dieses System ebenso wie das bereits beschriebene Prismenglas nach der französischen Patentschrift Nr. 8017364 nur für im wesentlichen nach Süden ausgerichtete Fenster geeignet. Bei klarem Himmel und direkter Sonnenstrahlung ist wegen der spiegelnd reflektierenden Profile mit tageszeitlich wechselnder Blendwirkung zu rechnen.

### Sonnenschutz- und Lichtlenksysteme für vertikale Fenster

[0008] Es ist ferner ein feststehendes Prismensystem (Abb. 8) bekannt (Bartenbach, C., 1986. Neue Tageslichtkonzepte. *Technik am Bau* 4, BR Deutschland), welches aus zwei Prismenscheiben und einem Innenspiegel besteht. Die beiden Prismenscheiben und der Innenspiegel sind so angeordnet, daß sie einen Hohlraum mit gleichschenkligem Querschnitt bilden. Die nach außen vorspringende Prismenscheibe hat die Aufgabe, die direkte Sonnenstrahlung, welche bis zu einem maximalen Sonnenhöhenwinkel einfallen kann, zu reflektieren sowie die intensive Strahlung des Himmels aus dem Zenitbereich durchzulassen und auf den Innenspiegel zu lenken. Die durchgelassene Strahlung wird von dem Innenspiegel auf die zweite Prismenscheibe gelenkt, welche die Aufgabe hat, die Strahlung nach oben gegen die weiße Decke des Innenraumes zu lenken und so eine möglichst gleichmäßige, blendfreie Beleuchtung von tiefen Räumen mit Tageslicht zu erzeugen. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, ist jeweils eine Fläche der Prismen dieser Scheiben mit einer spiegelnd reflektierenden Aluminiumschicht bedampft. Dieses System wurde ebenfalls mit Hilfe des Rechenprogrammes RADIANCE für einen Testraum mit einem nach Süden ausgerichteten Fenster untersucht (Moeck M., 1998. On daylight quality and quantity and its application to advanced daylight systems. *Journal of the Illuminating Engineering Society* Winter 1998, 3-21). Dabei fand man heraus, daß dieses System den angestrebten, nahezu vollkommenen Sonnenschutz bieten kann und daß es Blendwirkungen durch direktes Sonnenlicht verhindert. Es trägt aber offenbar kaum zur Vergleichmäßigung der Helligkeit in tiefen Räumen bei. Es reduziert den Licht- und Energieeinfall in Räume sowohl im Sommer als auch im Winter ganz erheblich, so daß dieses System im Sommer und im Winter ziemlich gleichmäßig - d.h. ohne deutliche, von der Jahreszeit abhängige Steuerwirkung - als Licht- und Energieabblendeinrichtung wirkt. Dieses System ist nicht durchsichtig. Deswegen und wegen der nach außen vorspringenden Prismenscheibe ist es im wesentlichen für Oberlichter in Kombination mit darunter angeordneten üblichen, durchsichtigen Sonnenschutzfenstern geeignet. Wegen der ausschließlich horizontal ausgerichteten prismatischen Rippen ist dieses System ebenso wie bereits oben beschriebene Systeme nur für im wesentlichen nach Süden ausgerichtete Fenster geeignet.

[0009] Es wurden noch weitere Systeme (Ruck N.G., 1985. Beaming daylight into deep rooms. *Building Res. Pract.* 6, 144-147 bzw. Beltrán L.O., Lee E.S., Selkowitz S.E., 1997. Advanced optical daylighting systems: Light shelves and light pipes. *Journal of the Illuminating Engineering Society* Winter 1997, 91-106) entworfen, welche - ähnlich dem hier beschriebenen System von Bartenbach - die Aufgabe haben, Tageslicht durch ein oberes, senkrechttes Teilfenster - ein sogenanntes Oberlicht - in die tiefer gelegenen Raumbereiche - insbesondere gegen die Raumdecke - zu lenken. Diese Systeme zielen jedoch - im Gegensatz zu dem System von Bartenbach - auf die Nutzung des direkten Sonnenlichtes zur Raumausleuchtung; sie sind ziemlich komplex und aufwendig und weisen, um das direkte Sonnenlicht aufnehmen zu können, Bestandteile auf, welche aus der senkrechten Fassade eines Gebäudes herausragen. Derartige Systeme haben also einen bestimmenden Einfluß auf die Fassade eines Gebäudes und schränken somit die Gestaltungsfreiheit des Architekten ein.

### Zwei vertikale Scheiben mit ineinander verzahnten, horizontalen prismatischen Rippen

[0010] Es ist ferner ein System bekannt (Europäische Patentanmeldung 833 01687.6, Publikation 0092322 A1), welches aus zwei Scheiben mit horizontalen prismatischen Rippen besteht (Abb. 9). Die prismatischen Rippen der beiden Scheiben, welche alle identische Querschnitte in der Form eines rechtwinkligen Dreiecks haben, sind einander zugewendet und so ineinander verzahnt, daß nur ein kleiner Luftspalt zwischen den beiden Scheiben vorhanden ist.

Der als "charakteristisch" bezeichnete Querschnitt der prismatischen Rippen ist durch den Prismenbasiswinkel  $\theta$  und die Flächen  $C_A$ ,  $f_A$  und  $s_A$  bestimmt (Abb. 10). Der charakteristische Querschnitt der prismatischen Rippen kann als Ersatz der tatsächlichen Konfiguration für die Untersuchung des Strahlenganges herangezogen werden, da die Parallelverschiebung der frontseitigen Grenzfläche  $a_A$  nur eine unerhebliche Parallelverschiebung des Strahlenganges bewirkt. Die Sperrwirkung des Systems ist für Strahlen in der Querschnittsebene zwischen den Grenzwinkeln

5

10 und

$$\eta_{Go} = \arcsin[n \cdot \sin(\theta - \kappa)] \quad (10)$$

15 gegeben, sofern die Strahlen in einem bestimmten Bereich, welcher in Abb. 10 durch die Teilfläche  $c_R$  gekennzeichnet ist, in den charakteristischen Querschnitt eindringen. Ein erheblicher Teil der Strahlung dringt jedoch außerhalb dieses Bereiches in den charakteristischen Querschnitt ein, wird an der rückseitigen Grenzfläche  $f_A$  reflektiert, trifft erneut auf die frontseitige Grenzfläche  $a_A$  - in Abb. 10 ersetztweise auf die Fläche  $c_A$  - und wird daran reflektiert und trifft unter einem so steilen Einfallswinkel auf die rückseitige Grenzfläche  $s_A$ , daß diese von der Strahlung durchdrungen wird.  
20 Wenn man von geringen Reflexionsverlusten an den Grenzflächen absieht, so ist das Verhältnis der reflektierten zur gesamten, auf die Fläche  $c_A$  unter dem Winkel  $\eta$  in dem Winkelbereich  $\eta_{Go} > \eta > \eta_{Gu}$  einfallenden Strahlung

$$c_R/c_A = 2 \cdot \cos(\theta - \eta_1) \cdot \cos\theta / \cos\eta_1 \quad (12)$$

25

mit  $\sin\eta_1 = 1/n \cdot \sin\eta$ , falls die Strahlung parallel zur Querschnittsebene einfällt.

[0011] Das Verhältnis der durchdringenden Strahlung zur gesamten einfallenden Strahlung  $1 - C_R/C_A$  ist für  $\theta = 76^\circ$  in Abhängigkeit von dem Winkel  $\eta_1$  in Abb. 11 dargestellt. Man erkennt, daß Strahlung mit Winkeln von  $\eta_1 = 0^\circ$  bis  $\eta_{1Gu} = 27,8^\circ$  vollständig durchdringen kann; das System ist in diesem Winkelbereich durchsichtig. Strahlung mit Winkeln von  $\eta_{1Go} = 34,17^\circ$  bis  $\eta_1 = 41,81^\circ$  kann - abgesehen von Reflexionsverlusten - ebenfalls vollständig durchdringen, aber das System ist in diesem Winkelbereich nicht durchsichtig. In dem Winkelbereich  $27,8^\circ < \eta_1 < 34,17^\circ$  dringt aber immer noch mehr als die Hälfte der Strahlung durch. Dieses System hat also - im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Systemen - den Vorteil, daß es in den unteren Winkelbereichen durchsichtig ist, aber den Nachteil, daß es die Strahlung in den mittleren und oberen Winkelbereichen nur ungenügend oder gar nicht reflektiert. Die Sonnenschutzwirkung dieses Systems ist somit ungenügend. In der Internationalen Patentanmeldung PCT/GB94/00949, Publikation WO 94/25792, wird ein ähnliches System beschrieben.

#### Aufgabe, Berechnungsgrundlagen und Wirkungen der neuen Fensterscheibe

40 Aufgabe der Fensterscheibe im Sinne der Erfindung

[0012] Die Erfindung betrifft eine Fensterscheibe, die vollkommenen Sonnenschutz und Blendschutz während des gesamten Tages im Sommer, energiesparende Eigenschaften im Sommer und Winter, gute Ausleuchtung der Raumtiefe und ein kaum beinträchtigtes Blickfeld für die Sicht von innen nach außen für einen breiten Bereich von Fensterausrichtungen mit bis zu  $75^\circ$  Abweichung von der Südrichtung auf der Nordhemisphäre bzw. von der Nordrichtung auf der Südhemisphäre, für Fensterneigungswinkel von  $45^\circ$  bis  $90^\circ$  zur Horizontebene und für die gemäßigten Klimazonen der Erde jeweils zwischen  $\lambda = 30^\circ$  und  $\lambda = 60^\circ$  nördlicher und südlicher Breite realisieren soll.

50 Berechnungsgrundlagen der neuen Fensterscheibe

[0013] Der Gegenstand dieser Patentanmeldung ist ein aus zwei Scheiben mit ineinander verzahnten, prismatischen Rippen von rechtwinkligem Querschnitt bestehendes Scheibensystem. Es ist eine Verbesserung und Weiterentwicklung des in der Europäischen Patentanmeldung 833 01687.6 beschriebenen Systems aus zwei vertikalen Scheiben mit ineinander verzahnten, horizontalen prismatischen Rippen. Zur Vermeidung der wesentlichen Mängel des in der Europäischen Patentanmeldung 833 01687.6 beschriebenen Systems werden jeweils die Prismenflächen  $s_A$  der äußeren Prismenscheibe A mit einer möglichst vollkommen spiegelnd reflektierenden und jeweils die Prismenflächen  $s_B$  der inneren Prismenscheibe B mit einer möglichst vollkommen diffus reflektierenden Beschichtung versehen (Abb. 12).

**Berechnung der Parameter des Systems**

**[0014]** Für den allgemeinen Fall eines Fensters mit beliebigem Neigungswinkel  $v$  zur Horizontebene und unter einem Winkel  $a$  zur Horizontalen in der Fensterebene geneigten prismatischen Rippen wird ein Koordinatensystem P - genannt P-System -, dessen  $z_p$ -Achse in der Schnittgeraden zwischen Fensterebene und Rippenquerschnittsebene liegt und dessen  $x_p$ -Achse mit der Fensterflächennormalen identisch ist, definiert. Die Richtung eines Strahls im Raum in Bezug auf das P-System soll durch die beiden Winkel

$\zeta$  : Winkel zwischen der Fensterflächennormalen und der Strahlrichtungskomponente in der Rippenquerschnittsebene, genannt Rippenhöhenwinkel, und

$\xi$  : Winkel zwischen der Fensterflächennormalen und der Strahlrichtungskomponente in der Ebene, welche senkrecht zur Rippenquerschnittsebene ist und die Fensterflächennormale enthält, genannt Rippenlängenwinkel,

definiert werden (Abb. 13). Diese Winkel  $\xi$  und  $\zeta$  sowie der Einfallswinkel  $\gamma$  eines Strahls werden im Verlaufe eines Strahlenganges mit der Ordnungszahl des Grenzflächenkontakte, sei es Reflexion oder Brechung, als Index gekennzeichnet.

**[0015]** Der Neigungswinkel  $\alpha$  der prismatischen Rippen zur Horizontalen in der Fensterebene wird durch

$$20 \quad \tan \alpha = -\sin \Delta \beta / (\cos \Delta \beta \cdot \cos v + \tan \lambda \cdot \sin v) \quad (13)$$

bestimmt. Als Beispiel ist  $\alpha$  in Abb. 14 für  $v=90^\circ$  und in Abb. 15 für  $v=60^\circ$  jeweils für die  $\lambda$ -Werte  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  und  $60^\circ$  in Abhängigkeit von dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta \beta$  dargestellt.

**[0016]** Definitionsgemäß muß der Sonnenstrahlungsvektor senkrecht zur Längsachse der prismatischen Rippen sein, wenn der Tageszeitwinkel  $\beta = \beta_v$  ist. Aus dieser Bedingung erhält man die allgemeine Bestimmungsgleichung für  $\beta_v$ :

$$30 \quad \tan \beta_v = [E \cdot (\sin \lambda \cdot \cos \Delta \beta - \cos \lambda \cdot \tan v) - \sin \lambda \cdot \tan \Delta \beta] / (1 + E \cdot \sin \Delta \beta) \quad (14)$$

mit  $E = \tan \Delta \beta / (\cos \Delta \beta + \tan \lambda \cdot \tan v)$ .

**[0017]** Zwischen dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta$  und dem Winkel  $\eta$  besteht die Beziehung

$$35 \quad \zeta = \eta - \arctan [1 / (\tan v \cdot \cos \alpha)], \quad (15)$$

d.h. für  $\alpha=0^\circ$  gilt  $\eta = \zeta + \pi/2 - v$  und für vertikale Fenster ( $v=90^\circ$ ) gilt  $\eta = \zeta$ . Mit dieser Beziehung werden  $\zeta_S$ ,  $\zeta_O$ ,  $\zeta_G$  und  $\zeta_M$  analog zu  $\eta_S$ ,  $\eta_O$ ,  $\eta_G$  und  $\eta_M$  definiert. Der Sonnenstrahlungsvektor S in der Äquatorebene zur Jahreszeit der Tagundnachtgleiche und in der Rippenquerschnittsebene zur Tageszeit  $t_v$ , also für den Sonnendeklinationswinkel  $\delta=0^\circ$  und den Tageszeitwinkel  $\beta_v$ , ist im P-System durch

$$45 \quad x_{0v} = -C \cdot \sin v \cdot \cos \beta_v \cdot \cos \lambda \cdot \cos v \quad (16a)$$

$$45 \quad y_{0v} = D \cdot \cos \alpha + (C \cdot \cos v - \cos \beta_v \cdot \cos \lambda \cdot \sin v) \cdot \sin \alpha \quad (16b)$$

$$50 \quad z_{0v} = -D \cdot \sin \alpha + (C \cdot \cos v - \cos \beta_v \cdot \cos \lambda \cdot \sin v) \cdot \cos \alpha \quad (16c)$$

mit  $C = (\cos \beta_v \cdot \sin \lambda \cdot \cos \Delta \beta - \sin \beta_v \cdot \sin \Delta \beta)$

und  $D = (\cos \beta_v \cdot \sin \lambda \cdot \sin \Delta \beta + \sin \beta_v \cdot \cos \Delta \beta)$  gegeben und der Rippenhöhenwinkel dieses Sonnenstrahlungsvektors ist durch

$$55 \quad \tan \zeta_0 = z_{0v} / x_{0v} \quad (17)$$

bestimmt. Für eine gegebene Sonnensperrzeit  $d_G$  wird der Prismenbasiswinkel  $\theta$  durch

$$\theta = \pi/2 - \kappa + \arcsin\{1/n \cdot \sin[\delta_0 \cdot \cos(2\pi \cdot d_G/d_J) + \zeta_0]\} \quad (18)$$

5

bzw. für einen gegebenen Prismenbasiswinkel  $\theta$  die Sonnensperrzeit  $d_G$  durch

$$d_G = d_J/2\pi \cdot \arccos(\{\arcsin[n \cdot \sin(\theta + \kappa - \pi/2)] - \zeta_0\}/\delta_0) \quad (19)$$

10

bestimmt. Als Beispiel ist die Sonnensperrzeit  $d_G$  in Abb. 16 für  $v=90^\circ$  und in Abb. 17 für  $v=60^\circ$  jeweils für die  $\lambda$ -Werte  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  und  $60^\circ$  und eine Auswahl der  $\theta$ -Werte  $45^\circ$ ,  $48^\circ$ ,  $51^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $57^\circ$ ,  $70,5^\circ$  und  $76^\circ$  in Abhängigkeit von dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$  dargestellt. Für alle Berechnungen wurde der Brechungsindex  $n$  des Scheibenmaterials 15 gleich 1,5 gesetzt, welcher dem Brechungsindex von üblichem Fensterglas und Acrylglas entspricht.

15

### Durchsichtigkeit des Systems

**[0018]** Strahlen, welche nicht auf die Prismenfläche  $s_A$  fallen, die Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  durchdringen und nicht auf die Prismenfläche  $s_B$  fallen, durchdringen das System, ohne die Richtung zu verändern. Das gilt sowohl für von außen nach innen als auch für von innen nach außen gerichtete Strahlen. Das System ist somit in Richtung dieser Strahlen nicht nur strahlungsdurchlässig sondern auch durchsichtig.

**[0019]**  $c_f$  ist eine Teilfläche der Fläche  $c_A$  einer prismatischen Rippe (Abb. 18), durch welche der Anteil der Strahlung hindurchtritt, welcher nach dem Eindringen über die Grenzfläche  $a_A$  direkt auf die Prismenfläche  $f_A$  fällt und, falls  $\gamma_2 < \kappa$ , das System durchdringt. Dieser Anteil ist von dem jeweiligen Winkel  $\zeta_1$  der einfallenden Strahlung abhängig, ist gleich dem Verhältnis der beiden Flächen  $c_f/c_A$  und soll als Sichtflächenverhältnis  $SV$  bezeichnet werden. Das Sichtflächenverhältnis kann bei Vernachlässigung der Größe des Abstandes zwischen den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  mit Hilfe der Gleichung

$$30 \quad SV = \sin\theta \cdot \sin(\theta - \zeta_1) / \cos\zeta_1 \quad (20a)$$

für  $\zeta_1 \geq \theta - \pi/2$  und

$$35 \quad SV = 1 + \cos\theta \cdot \cos(\theta - \zeta_1) / \cos\zeta_1 \quad (20b)$$

für  $\zeta_1 < \theta - \pi/2$

bestimmt werden.

**[0020]** Das Sichtflächenverhältnis  $SV$  ist in den Abbildungen 19, 20 und 21 für die Prismenbasiswinkel  $\theta = 76^\circ$ ,  $\theta = 70,5^\circ$  und  $\theta = 51^\circ$  jeweils in einem  $\zeta, \xi$ -Sichtfelddiagramm aufgetragen. Man erkennt, daß das Sichtfeld für  $\theta = 76^\circ$  und  $\theta = 70,5^\circ$  und vertikale Fenster in den interessanten Ausblickrichtungen, nämlich  $30^\circ > \zeta > -90^\circ$  und  $60^\circ > \xi > -60^\circ$ , nur sehr wenig eingeschränkt wird. Das gilt auch für das System mit  $\theta = 51^\circ$ , wenn man berücksichtigt, daß dieses System für Dachfenster mit einem Neigungswinkel von z.B.  $v = 45^\circ$  angewendet werden soll. Eine befriedigende Durchsichtigkeit des Systems ist allerdings nur dann zu erwarten, wenn die Prismenscheiben A und B mit ausreichender Präzision gefertigt werden und die einzelnen Prismenflächen eine glatte und ebene Oberfläche haben.

### Systematik der Strahlengänge

**[0021]** Zusätzlich zu den bereits definierten Winkeln sollen die folgenden Funktionen definiert werden (Abb. 18):

50

$\zeta = \zeta_K(\xi)$  die Winkelpaare  $\zeta$ ,  $\zeta_K$  der Strahlen, welche die Prismenscheibe A durchdringen und gerade mit dem Einfallswinkel  $\gamma_2 = \kappa$  an der Prismenfläche  $f_A$  reflektiert werden, erfüllen die Funktion  $\zeta = \zeta_K(\xi)$ . Insbesondere ist  $\zeta_G = \zeta_K(0)$ .

55

$\zeta = \zeta_U(\xi)$ : die Winkelpaare  $\zeta$ ,  $\zeta_U$  der Strahlen, welche nach Reflexion an der spiegelnd reflektierenden Prismenfläche  $s_A$  und Durchdringung der beiden Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  auf die rückseitige Grenzfläche  $a_B$  der Prismenscheibe B treffen und hier gerade mit dem kritischen Winkel der Totalreflexion  $\kappa$  reflektiert werden, erfüllen die Funktion  $\zeta = \zeta_U(\xi)$ .

$\zeta = \zeta_c(\xi)$  : die Winkelpaare  $\xi, \zeta_c$  der Strahlen, welche die Prismenscheibe A parallel zur spiegelnd reflektierenden Prismenfläche  $s_A$  durchdringen, erfüllen die Funktion  $\zeta = \zeta_c(\xi)$ .

5 [0022] Abhängig von dem Winkelpaar  $\xi, \zeta$  und dem Auftreffort eines Strahls können die folgenden typischen Strahlengänge unterschieden werden:

**Strahlengang 1:** Der Strahl mit  $\zeta < \zeta_K(\xi)$  durchdringt  $a_A$  und  $c_A$ ,

10 **Fall 1a:** dringt über die Teilfläche  $c_f$  in die charakteristische prismatische Rippe ein, trifft auf  $f_A$ , der Rippenhöhenwinkel ist

$$\zeta_2 = \zeta_1 - \theta + \pi/2, \quad (21)$$

15 durchdringt  $f_A, f_B$  und  $a_B$  und durchdringt somit das System, wobei Eintritts- und Austrittsrichtung des Strahls identisch sind, bzw.

20 **Fall 1b:** dringt über die Teilfläche  $c-c_f$  in die charakteristische prismatische Rippe ein, wird an  $s_A$  reflektiert, trifft auf  $f_A$ , der Rippenhöhenwinkel ist

$$\zeta_3 = -(\zeta_1 - \theta + \pi/2), \quad (22)$$

25 durchdringt  $f_A$  und  $f_B$ .

**Fall 1b1,  $\zeta_c(\xi) < \zeta < \zeta_K(\xi)$ :**

30 **Fall 1b11,  $(\zeta_U(\xi) < \zeta < \zeta_K(\xi))$ :** wird an  $a_B$  reflektiert und trifft entweder direkt oder nach einer weiteren Reflexion an  $f_B$  bzw. weiteren Reflexionen an  $f_B$  und  $a_B$  auf  $s_B$ , wo er zum geringen Teil absorbiert und überwiegend diffus reflektiert wird - ein Teil der von  $s_B$  reflektierten Energie des Strahls durchdringt  $f_B, f_A$  und  $a_A$  und wird somit von dem System letztlich reflektiert, während ein Teil der Energie des Strahls  $a_B$  und somit das System durchdringt - bzw.

35 **Fall 1b12,  $\zeta_c(\xi) < \zeta < \zeta_U(\xi)$ :** durchdringt  $a_B$  und somit das System, wobei Eintritts- und Austrittsrichtung des Strahls verschieden sind, bzw.

40 **Fall 1b2,  $\zeta < \zeta_c(\xi)$ :** trifft entweder direkt oder nach einer weiteren Reflexion an  $f_B$  bzw. weiteren Reflexionen an  $f_B$  und  $a_B$  auf  $s_B$ , wo er zum geringen Teil absorbiert und überwiegend diffus reflektiert wird - ein Teil der von  $s_B$  reflektierten Energie des Strahls durchdringt  $f_B, f_A$  und  $a_A$  und wird somit von dem System letztlich reflektiert, während ein Teil der Energie des Strahls  $a_B$  und somit das System durchdringt -.

**Strahlengang 2:** Der Strahl mit  $\zeta > \zeta_K(\xi)$  durchdringt  $a_A$  und  $c_A$ ,

45 **Fall 2a:** dringt über die Teilfläche  $c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe ein, wird entweder

**Fall 2a1:** zuerst an  $f_A$  und dann an  $s_A$  reflektiert oder

**Fall 2a2:** zuerst an  $s_A$  und dann an  $f_A$  reflektiert,

50 durchdringt  $a_A$  in umgekehrter Richtung wie beim Eintritt und wird somit von dem System reflektiert, bzw.

**Fall 2b:** dringt über die Teilfläche  $c_A-c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe ein, wird zuerst an  $f_A$  und dann an  $a_A$  reflektiert,

55 **Fall 2b1:** wird an der Teilfläche  $s_R$  von  $s_A$  (Strahlengang S in Abb. 22)

- die Teilfläche  $s_R$  wird von der Fläche  $s_A$  durch die Fläche, welche die obere Kante der charakteristischen prismatischen Rippe enthält und parallel zum Strahl vom 4. zum 5. Grenzflächenkontakt ist, abgetrennt,

so daß

$$s_R/s_A = \tan(3\theta - \zeta_1 - \pi) \cdot \tan \theta \quad (23)$$

5

ist -

reflektiert, wird an  $f_A$  reflektiert und - bei geeignetem Winkel  $\theta$  und nach weiteren Reflexionen an  $a_A$  und  $f_A$  - durchdringt  $a_A$  in umgekehrter Richtung wie beim Eintritt und wird somit von dem System reflektiert, bzw.

10

**Fall 2b2:** wird an der Teilfläche  $s_A - s_R$  (Strahlengang R in Abb. 22) reflektiert,

**Fall 2b21:** durchdringt  $a_A$  und wird somit von dem System reflektiert, bzw.

15

**Fall 2b22:** wird an  $a_A$  reflektiert und - bei geeignetem Winkel  $\theta$  und nach einer weiteren Reflexion an  $a_A$  bzw. nach weiteren Reflexionen an  $a_A$  und  $f_A$  - durchdringt  $f_A$  und durchdringt somit das System bzw. durchdringt  $a_A$  und wird somit von dem System reflektiert, wobei Eintritts- und Austrittsrichtung des Strahls verschieden sind.

20

**[0023]** Man erkennt aus Gl. 21 und 22, daß in dem Fall 1a beim Auftreffen eines Strahls mit der ursprünglichen Einfallsrichtung  $\xi, \zeta$  auf die Fläche  $f_A$  der Betrag des Rippenhöhenwinkels  $\zeta_2$  gleich dem Betrag des Rippenhöhenwinkels  $\zeta_3$  beim Auftreffen eines Strahls mit derselben ursprünglichen Einfallsrichtung  $\xi, \zeta$  auf die Fläche  $f_A$  in dem Fall 1b ist. Entsprechendes gilt in den Fällen 2a1 und 2a2. Ob ein Strahl das System durchdringt oder von dem System reflektiert wird, hängt in diesen Fällen also nur von der Richtung und nicht vom Auftreffort eines Strahls ab. Diese Eigenschaft des Systems ist eine Folge des rechtwinkligen Rippenspitzenwinkels, der daher auch für alle Varianten beibehalten wird.

25

**[0024]** Ein Anteil der in den Fällen 1b11 und 1b2 von der Prismenfläche  $s_B$  diffus reflektierten Energie durchdringt letztlich  $a_A$  und wird somit von dem System reflektiert, während ein Anteil letztlich  $a_B$  durchdringt und somit das System durchdringt. Die Anteile werden vereinfacht, aber ausreichend genau, durch die angenähert berechneten Strahlungsaustauschfaktoren zwischen den Flächen  $s_B$  und  $a_B$

30

$$F(s_B \rightarrow a_B) = (1 + \cos \theta) / 2 \quad (24)$$

35

bzw. zwischen den Flächen  $s_B$  und  $a_A$

$$F(s_B \rightarrow a_A) = (1 - \cos \theta) / 2 \quad (25)$$

40

ermittelt. Im Fall 1b12 ist der Rippenhöhenwinkel  $\zeta_5$  des auf  $a_B$  einfallenden Strahls aus dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$  des an  $a_A$  gebrochenen Strahls durch

45

$$\zeta_5 = \pi + \zeta_1 - 2\theta \quad (26)$$

zu berechnen.

50

**[0025]** Wie aus den Gleichungen von Fresnel hervorgeht, ist der Übergang eines Strahls von einem transparenten Medium in ein anderes bei verschiedenem Brechungsindex mit Reflexionsverlusten verbunden. Die interne Totalreflexion innerhalb eines Mediums erfolgt jedoch praktisch verlustlos, so daß ein Strahl auch bei einem Strahlengang mit mehrfachen internen Totalreflexionen nur Energie durch Absorption in dem Medium verliert. Die durch Absorption verlorene Energie eines Strahls in üblichem Fensterglas und insbesondere in Acrylglas ist wegen der auch bei mehrfachen internen Totalreflexionen noch relativ kurzen Wegstrecke des Strahls im Medium jedoch sehr gering, wenn auch nicht vernachlässigbar.

55

**Ableitung eines Auswahlkriteriums für den Prismenbasiswinkel  $\theta$**

**[0026]** Der Fall 2b2 bedarf einer näheren Untersuchung, da - abhängig von dem Winkelpaar  $\xi, \zeta$  des Strahls und

dem Prismenbasiswinkel  $\theta$  - der Strahl das System sowohl durchdringen als auch von dem System reflektiert werden kann. Um eine Vorauswahl für die Prismenbasiswinkel  $\theta$  treffen zu können, die dem System auch im Fall 2b2 die erwünschten Reflexionseigenschaften geben, werden im folgenden - vereinfachend - Strahlengänge für  $\xi=0^\circ$  betrachtet.

5 [0027] Für  $\theta=\Omega=45^\circ$  ist  $c_R/c_A \geq 1$ , d.h. es existiert keine Teilfläche  $c_A-c_R$  und somit werden Strahlen mit  $\zeta > \zeta_K(\xi)$  von dem System nach genau 4 Grenzflächenkontakten reflektiert.

10 [0028] Für  $\theta > 45^\circ$  ist  $c_R/c_A < 1$  möglich, d.h. es kann eine Teilfläche  $c_A-c_R$  existieren. Strahlen mit  $\zeta > \zeta_K(\xi)$ , welche über die Teilfläche  $c_A-c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eindringen, werden an  $f_A$ ,  $a_A$  und  $s_A$  reflektiert, treffen dann erneut auf  $a_A$  und erfahren somit mindestens 5 Grenzflächenkontakte. Für den Rippenhöhenwinkel beim 5. Grenzflächenkontakt gilt

$$\zeta_5 = 3\theta - \zeta_2 - \pi/2. \quad (27)$$

15 [0029] Damit alle Strahlen mit  $\xi=0^\circ$  und  $\zeta > \zeta_G$  nach 5 Grenzflächenkontakten die Prismenfläche  $a_A$  durchdringen und somit von dem System reflektiert werden (Strahlengang 2b21), ist  $\zeta_2 \geq \kappa$  und  $\zeta_5 \leq \kappa$  erforderlich. Aus Gl. 27 ergibt sich somit der maximale Prismenbasiswinkel  $\theta$ , für den gerade noch die Reflexion aller Strahlen mit  $\xi=0^\circ$  und  $\zeta > \zeta_G$  nach 5 Grenzflächenkontakten möglich ist, zu

$$20 \quad \theta_{5Kmax} = (2\kappa + \pi/2)/3 = 57,874^\circ. \quad (28)$$

25 [0030] Wie aus den Abb. 16 und 17 erkennbar ist, sind Systeme mit  $\theta < \theta_{5Kmax}$  nur für Fenster geeignet, welche zur Horizontebene geneigt sind ( $v < 90^\circ$ ) und/oder Fensterausrichtungen  $\Delta\beta \neq 0^\circ$  haben, da nur dann sich erwünschte Sonnensperrzeiten im Bereich von 30 bis 120 Tagen ergeben. Auf der Grundlage der vorstehenden Berechnungen wird der Prismenbasiswinkel in dem Bereich

30  $45^\circ \leq \theta_{5K} \leq 58^\circ$  für Systeme, welche Strahlung mit 4 bzw. 5 Grenzflächenkontakten reflektieren, - kurz 5K-Systeme - ausgewählt. Die Strahlung, welche über die Teilfläche  $c_A-c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eindringt, hat den Anteil  $P=1-c_R/c_A$  an der gesamten aus der Richtung  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung. Für 5K-Systeme ist der Anteil  $P$  in Abb. 23 für  $\theta=45^\circ$ ,  $\theta=48^\circ$ ,  $\theta=51^\circ$ ,  $\theta=54^\circ$  und  $\theta=57^\circ$  in Abhängigkeit von  $\zeta_1$  dargestellt.

35 [0031] Strahlen mit  $\zeta > \zeta_K(\xi)$ , welche über die Teilfläche  $c_A-c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eindringen, an  $f_A$ ,  $a_A$  und der Teilfläche  $s_A-s_R$  reflektiert werden, danach wieder an  $a_A$  und  $f_A$  reflektiert werden, treffen erneut auf  $a_A$  und erfahren somit mindestens 7 Grenzflächenkontakte. Für den Rippenhöhenwinkel beim 6. bzw. 7. Grenzflächenkontakt gilt

$$35 \quad \zeta_6 = 5\theta - \zeta_1 - 3/2\pi \quad (29)$$

40 bzw.

$$\zeta_7 = 5\theta - \zeta_2 - 3/2\pi. \quad (30)$$

45 [0032] Damit ein Strahl nach 7 Grenzflächenkontakten von dem System reflektiert werden kann, darf er nicht  $f_A$  beim 6. Grenzflächenkontakt durchdringen, d.h. es muß  $\zeta_6 \geq \kappa$  sein. Aus Gl. 29 ergibt sich somit der minimale Prismenbasiswinkel  $\theta$ , für den gerade noch die Reflexion aller Sonnenstrahlen mit  $\zeta \leq \zeta_M$  nach 6 Grenzflächenkontakten möglich ist, zu

$$50 \quad \theta_{7Kmin} = (\kappa + \zeta_{M1} + 3/2\pi)/5. \quad (31)$$

55 [0033] Für  $\Delta\beta=0^\circ$ ,  $v=90^\circ$  und  $\lambda=60^\circ$  ist  $\zeta_M=53,45^\circ$  und  $\theta_{7Kmin}=68,838^\circ$  bzw. für  $\Delta\beta=0^\circ$ ,  $v=90^\circ$  und  $\lambda=30^\circ$  ist  $\zeta_M=83,45^\circ$  und  $\theta_{7Kmin}=70,657^\circ$ . Aus Gl. 9, 13 und 15 erkennt man, daß  $\zeta_M(\Delta\beta \neq 0^\circ, v, \lambda) < \zeta_M(\Delta\beta = 0^\circ, v, \lambda)$  und daher  $\theta_{7Kmin}(\Delta\beta \neq 0^\circ, v, \lambda) < \theta_{7Kmin}(\Delta\beta = 0^\circ, v, \lambda)$  ist.

55 [0034] Aus Gl. 30 und den entsprechenden Argumenten wie für 5 Grenzflächenkontakte ergibt sich der maximale Prismenbasiswinkel  $\theta$ , für den gerade noch die Reflexion aller Strahlen mit  $\zeta > \zeta_G$  nach 7 Grenzflächenkontakten möglich ist, zu

$$\theta_{7K\max} = (2\kappa + 3/2\pi)/5 = 70,724^\circ . \quad (32)$$

- 5 [0035] Auf der Grundlage der vorstehenden Berechnungen wird der Prismenbasiswinkel in dem Bereich  $68^\circ \leq \theta_{7K} \leq 71^\circ$  für Systeme, welche Strahlung mit 4 bzw. 7 Grenzflächenkontakten reflektieren, - kurz 7K-Systeme - ausgewählt. Die Strahlung, welche über die Teilfläche  $c_A - c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eindringt und an der Teilfläche  $s_A - s_R$  reflektiert wird, hat den Anteil  $P = (1 - c_R/c_A) \cdot (1 - s_R/s_A)$  an der gesamten aus der Richtung  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung. Für 7K-Systeme ist der Anteil P in Abb. 24 für  $\theta = 70,5^\circ$  in Abhängigkeit von  $\zeta_1$  dargestellt.
- 10 [0036] Für 9 Grenzflächenkontakte gilt ganz entsprechend

$$\zeta_8 = 7\theta - \zeta_1 - 5/2\pi , \quad (33)$$

$$\zeta_9 = 7\theta - \zeta_2 - 5/2\pi , \quad (34)$$

$$\theta_{9K\min} = (\kappa + \zeta_{M1} + 5/2\pi)/7 , \quad (35)$$

$$\theta_{9K\max} = (2\kappa + 5/2\pi)/7 = 76,232^\circ . \quad (36)$$

- 25 [0037] Für  $\Delta\beta = 0^\circ$ ,  $v = 90^\circ$  und  $\lambda = 60^\circ$  ist  $\zeta_M = 53,45^\circ$  und  $\theta_{9K\min} = 74,885^\circ$  bzw. für  $\Delta\beta = 0^\circ$ ,  $v = 90^\circ$  und  $\lambda = 30^\circ$  ist  $\zeta_M = 83,45^\circ$  und  $\theta_{9K\min} = 76,184^\circ$  und entsprechend gilt  $\theta_{9K\min}(\Delta\beta \neq 0^\circ, v, \lambda) < \theta_{9K\min}(\Delta\beta = 0^\circ, v, \lambda)$ .

- 20 [0038] Auf der Grundlage der vorstehenden Berechnungen wird der Prismenbasiswinkel in dem Bereich  $74^\circ \leq \theta_{9K} \leq 77^\circ$  für Systeme, welche Strahlung mit 4 bzw. 9 Grenzflächenkontakte reflektieren, - kurz 9K-Systeme - ausgewählt. Die Strahlung, welche über die Teilfläche  $c_A - c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eindringt und an der Teilfläche  $s_A - s_R$  reflektiert wird, hat den Anteil  $P = (1 - c_R/c_A) \cdot (1 - s_R/s_A)$  an der gesamten aus der Richtung  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung. Für 9K-Systeme ist der Anteil P in Abb. 25 für  $\theta = 76^\circ$  in Abhängigkeit von  $\zeta_1$  dargestellt.
- 30 [0039] Prismen, welche auf 11 und mehr Grenzflächenkontakte basieren, brauchen nicht untersucht zu werden, da die hierfür sich ergebenden Sonnensperrzeiten zu klein für eine Anwendung in einem Sonnenschutzsystem sind.
- 35 [0040] Eine detaillierte Untersuchung über die Sonnenschutzwirkung dieser ausgewählten Systeme für Strahlen mit  $\zeta \neq 0^\circ$  anhand von  $\xi, \zeta$ -Diagrammen führt zu dem folgenden Ergebnis:

- 40 • 5K-Systeme mit  $45^\circ \leq \theta \leq 58^\circ$ : Die Strahlung, welche über  $c_A - c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eintritt und beim 4. Grenzflächenkontakt an  $s_A - s_R$  reflektiert wird, hat nur einen geringen Anteil P an der gesamten einfallenden Strahlung und ist nur aus einem engen  $\zeta_1$ -Bereich (Abb. 23) möglich. Die Energie der Sonnenstrahlung mit  $|\xi| > 60^\circ$  aus dem engen  $\zeta_1$ -Bereich, welche auf die Prismenfläche  $s_B$  treffen und zum Teil das System in unerwünschter Weise durchdringen kann, ist geringfügig.
- 45 • 7K-Systeme mit  $68^\circ \leq \theta \leq 71^\circ$ : Die Strahlung, welche über  $c_A - c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eintritt und beim 4. Grenzflächenkontakt an  $s_A - s_R$  reflektiert wird, hat einen Anteil P im Bereich  $0,2 \leq P \leq 0,4$  an der gesamten einfallenden Strahlung und ist aus einem Bereich  $\zeta_1 \geq 22^\circ$  (Abb. 24) möglich. Die Energie der Sonnenstrahlung mit  $|\xi| > 60^\circ$  zur Zeit der Sommersonne bzw. der Sonnenstrahlung mit  $|\xi| > 30^\circ$  zur Zeit  $d/6$  vor oder nach der Sommersonne aus dem  $\zeta_1$ -Bereich, welche auf die Prismenfläche  $s_B$  treffen und zum Teil das System in unerwünschter Weise durchdringen kann, ist noch als gering im Verhältnis zur reflektierten Sonnenstrahlungsenergie einzustufen.
- 50 • 9K-Systeme mit  $74^\circ \leq \theta \leq 77^\circ$ : Die Strahlung, welche über  $c_A - c_R$  in die charakteristische prismatische Rippe eintritt und beim 4. Grenzflächenkontakt an  $s_A - s_R$  reflektiert wird, hat einen Anteil P im Bereich  $0 \leq P \leq 0,26$  an der gesamten einfallenden Strahlung und ist aus einem Bereich  $\zeta_1 \geq 34^\circ$  (Abb. 25) möglich. Für dieses System gibt es aber keine Strahlen mit dem Strahlengang 2b22, welche beim 9. Grenzflächenkontakt an  $aA$  reflektiert werden,  $f_A$  und  $f_B$  durchdringen, an  $s_B$  diffus reflektiert werden und schließlich teilweise  $a_B$  und somit das System durchdringen. Dieses System hat also als Sonnenschutzsystem besonders perfekte Eigenschaften.

- 55 [0041] Bei diesen Systemen tritt Blendwirkung durch an den Spiegelflächen  $s_A$  reflektierte Sonnenstrahlen nicht auf. Es würde aber Blendwirkung durch an den Prismenflächen  $S_B$  der inneren Prismenscheibe B reflektierte Sonnenstrah-

len auftreten, wenn die Prismenflächen  $s_B$  mit einer spiegelnd reflektierenden Beschichtung versehen wären. Aus diesem Grunde sind die Prismenflächen  $s_B$  mit einer diffus reflektierenden Beschichtung versehen.

### Wirkungen der neuen Fensterscheibe im Vergleich zu anderen Fensterscheiben

5

#### Der Testraum

[0042] Für einen Testraum, wie er Abb. 26 dargestellt ist, wurden die Beleuchtungsstärken sämtlicher Teilflächen und Sensorflächen sowie die durch Fensterflächen eindringende Strahlungswärme und der von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen bewirkte Wärmedurchgang an Fensterflächen mit dem Rechenprogramm BELEUSYS berechnet. Der Raum hat die Form eines Quaders von 6 m Breite, 10 m Länge und 3 m Höhe. Dem Raum ist ein rechtwinkliges x,y,z-Koordinatensystem zugeordnet. Die Breite des Raumes erstreckt sich von der yz-Ebene in Richtung der x-Achse, die Länge des Raumes von der zx-Ebene in Richtung der y-Achse und die Höhe des Raumes von der xy-Ebene in Richtung der z-Achse. Die Oberflächen sind in der Breite 6-fach, in der Länge 10-fach und in der Höhe 3-fach unterteilt, so daß es insgesamt 216 1m x 1m große Teilflächen gibt, welche den Raum umschließen. Die gesamte Breitseite des Raumes in +y-Richtung ist eine transparente Fensterfläche, während die übrigen Seitenflächen, die Boden- und die Deckenfläche strahlungsundurchlässige Wandflächen sind. Die Bodenfläche hat einen Reflexionsgrad von 0,2 (etwa einem dunklen Teppichbodenbelag entsprechend), die Seitenwände haben bis 1 m Höhe einen Reflexionsgrad von 0,5, während die Seitenwände über 1 m Höhe und die Deckenfläche einen Reflexionsgrad von 0,8 (etwa einem weißen Farbanstrich entsprechend) haben. In der Symmetrieebene des Raumes sind jeweils in 1 m Höhe über dem gemeinsamen Eckpunkt von jeweils 4 Teilflächen 9 Sensorflächen mit Flächennormalen in +z-Richtung angeordnet. Leuchten sind in diesem Rechenmodell nicht vorhanden. Auch Bauten oder Bäume außerhalb des Testraumes, welche die Strahlung von der Sonne, dem Himmel und/oder der Erde durch die Fensterfläche in den Testraum eventuell abschatten könnten, sind nicht vorhanden.

25

[0043] Um den Einfluß der Verglasung der Fensterfläche auf die Höhe und Verteilung der Beleuchtungsstärke im Raum bzw. auf die eingestrahlten und abgegebenen Wärmemengen besonders deutlich werden zu lassen, wird jede Berechnung bei ansonsten identischen Bedingungen für drei verschiedene Verglasungen der Fensterfläche durchgeführt:

30

- **Isolierglas:** 2 Scheiben Fensterglas von jeweils 4 mm Dicke mit einem Scheibenzwischenraum von 12 mm, Brechungsindex: 1,50, Lichttransmissionsgrad bei senkrecht Lichteinfall: 0,790, Streugrad: 0, Lichtreflexionsgrad bei senkrecht Lichteinfall: 0,150, Gesamtenergiedurchlaßfaktor: 0,770, Glasflächenreduktion: 0,90, Transmissionsreduktion: 0,90, Wärmedurchgangskoeffizient [W/Km<sup>2</sup>]: 3,000.

35

- **Sonnenschutzglas:** 2 Scheiben Fensterglas von jeweils 6 mm Dicke mit einem Scheibenzwischenraum von 12 mm, Infrarotreflexionsschicht und Argonfüllung, Brechungsindex: 1,50, Lichttransmissionsgrad bei senkrecht Lichteinfall: 0,660, Streugrad: 0, Lichtreflexionsgrad bei senkrecht Lichteinfall: 0,150, Gesamtenergiedurchlaßfaktor: 0,470, Glasflächenreduktion: 0,90, Transmissionsreduktion: 0,90, Wärmedurchgangskoeffizient [W/Km<sup>2</sup>]: 1,700.

40

- **Prismenglas:** 2 Scheiben Prismenglas mit  $h_A=5$  mm und einer Gesamtdicke von 14,5 mm und eine Scheibe Fensterglas von 6 mm Dicke mit einem Scheibenzwischenraum von 12 mm, Brechungsindex: 1,50, Lichttransmissionsgrad bei senkrecht Lichteinfall: 0,743, Streugrad: 0, Glasflächenreduktion: 0,90, Transmissionsreduktion: 0,90, Wärmedurchgangskoeffizient [W/Km<sup>2</sup>]: 1,900, Sollwert der geographischen Breite: 50°, Sollwert des Winkels zwischen Fensterrichtung und Südrichtung  $\Delta\beta$ : 45°, Sonnensperrzeit: 71,925 Tage, Fensterneigung zur Horizontebene: 90°, Prismenbasiswinkel: 70,5°, Winkel zwischen der Längsrichtung der prismatischen Rippe und der Horizontalen in der Fensterebene: -30,682°, Reflexionsgrad (spiegelnd) der Prismenfläche  $s_A$ : 0,90, Reflexionsgrad (diffus) der Prismenfläche  $s_B$ : 0,86.

50

#### Berechnungsergebnisse

[0044] Die Berechnungen werden jeweils für eine geographische Breite von 50° durchgeführt. Der Reflexionsgrad der Erdoberfläche außerhalb des Testraumes wird stets gleich 0,2 gesetzt. Die Innentemperatur des Testraumes wird unabhängig von der Tageszeit und der Jahreszeit jeweils gleich 20 °C gesetzt.

55

#### Vergleich der Beleuchtungsstärken im Raum für verschiedene Fenstergläser

[0045] Es wird jeweils eine Berechnung der Beleuchtungsstärke für einen dunklen Jahrestag, dem 20. Dezember

bei bedecktem Himmel, und einer mittleren Außentemperatur von  $-0,7^{\circ}\text{C}$  sowie eine Berechnung der Beleuchtungsstärke für einen hellen Jahrestag, dem 20. Juni bei klarem Himmel, einem Trübungsgrad der Atmosphäre von 4,39 und einer mittleren Außentemperatur von  $18,0^{\circ}\text{C}$  durchgeführt, um jeweils die Beleuchtung des Testraumes für diese Extremsituationen beurteilen zu können.

5 [0046] In Abb. 27 ist die Beleuchtungsstärke der Sensorflächen für vertikale, nach Südosten ausgerichtete Fensterflächen mit Isolierglas, Sonnenschutzglas oder Prismenglas am 20. Dezember um 12 Uhr bei bedecktem Himmel in Abhängigkeit von der Raumtiefe dargestellt. Die Beleuchtungsstärke hat für Isolierglas und Sonnenschutzglas den typischen stark abfallenden Verlauf mit wachsender Raumtiefe. Für das Prismenglas ist die Beleuchtungsstärke in Fensternähe deutlich geringer als für Isolierglas und Sonnenschutzglas, während sie aber ab etwa 3 m Raumtiefe etwas höher als die Beleuchtungsstärke für Sonnenschutzglas ist. Für das Prismenglas ist die Tendenz zu einer ausgeglicheneren Raumausleuchtung erkennbar, wennauch die Beleuchtungsstärken für alle drei Verglasungen sich in großer Raumtiefe nur wenig unterscheiden und für die meisten Anforderungen zu niedrig sind.

10 [0047] In Abb. 28 ist die Beleuchtungsstärke der Sensorflächen für vertikale, nach Südosten ausgerichtete Fensterflächen mit Isolierglas, Sonnenschutzglas oder Prismenglas am 20. Juni um 12 Uhr bei klarem Himmel in Abhängigkeit 15 von der Raumtiefe dargestellt. Die Beleuchtungsstärke hat für Isolierglas und Sonnenschutzglas ebenfalls den typischen stark abfallenden Verlauf mit wachsender Raumtiefe, allerdings auf sehr hohem Niveau. Die Beleuchtungsstärke für das Prismenglas ist in Fensternähe deutlich geringer als die sehr hohen Beleuchtungsstärken für Isolierglas und Sonnenschutzglas, obgleich auch die der Fensterfläche am nächsten liegende Sensorfläche nicht direkt von der sehr hoch stehenden Sonne beschienen wird. In diesem Fall bietet das Prismenglas deutlich verbesserten Komfort in Fensternähe. Die Tendenz zu einer ausgeglicheneren Raumausleuchtung für das Prismenglas ist ebenfalls erkennbar. Die Beleuchtungsstärke in der Nähe der Rückwand des Testraumes ist für das Prismenglas größer als für das Sonnenschutzglas und nähert sich der Beleuchtungsstärke für das Isolierglas an. Allerdings genügen in diesem Fall die Beleuchtungsstärken in großer Raumtiefe für alle drei Verglasungen allen Anforderungen.

20 [0048] In Abb. 29 ist die Beleuchtungsstärke der Sensorfläche, welche der Rückwand des Testraumes am nächsten ist, für vertikale, nach Südosten ausgerichtete Fensterflächen mit Isolierglas, Sonnenschutzglas oder Prismenglas am 20. Dezember bei bedecktem Himmel in Abhängigkeit von der Tageszeit dargestellt. Man erkennt, daß der zeitliche Verlauf der Beleuchtungsstärke in der Nähe der Rückwand des Testraumes für das Prismenglas während des ganzen Tages etwa in der Mitte zwischen den entsprechenden Beleuchtungsstärkeverläufen für Isolierglas und Sonnenschutzglas liegt.

25 [0049] In Abb. 30 ist die Beleuchtungsstärke der Sensorfläche, welche der Fensterfläche des Testraumes am nächsten ist, für vertikale, nach Südosten ausgerichtete Fensterflächen mit Isolierglas, Sonnenschutzglas oder Prismenglas am 20. Juni bei klarem Himmel in Abhängigkeit von der Tageszeit dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Sensorfläche bei Fensterflächen mit Isolierglas oder Sonnenschutzglas bis etwa 11 Uhr direkte Sonneneinstrahlung erhält und deshalb enorm hohe Beleuchtungsstärken aufweist. Auch für den Fall, daß eine Klimaanlage für eine angenehme mittlere 30 Temperatur des Raumes sorgt, ist daher der Aufenthalt in Fensternähe bei Fensterflächen mit Isolierglas oder Sonnenschutzglas ohne zusätzliche Sonnenschutzmaßnahmen, wie z.B. Außenjalousien, praktisch unmöglich. Im Vergleich dazu wird die ausgezeichnete Sonnenschutzwirkung des Prismenglasses besonders deutlich. Auch der zeitliche Verlauf der Beleuchtungsstärke in der Nähe der Fensterfläche des Testraumes während des übrigen Tages liegt für 35 das Prismenglas deutlich unter den entsprechenden Beleuchtungsstärkeverläufen für Isolierglas und Sonnenschutzglas.

#### Vergleich der in die Fensterflächen eingestrahlten und von den Fensterflächen abgegebenen Wärmemengen für verschiedene Fenstergläser

40 [0050] Es werden jeweils die in die Fensterflächen eingestrahlten und von den Fensterflächen abgegebenen Wärmemengen für den Verlauf eines Kalenderjahres berechnet. Die Berechnungen setzen einen "mittleren" Himmel gemäß DIN 5034, Teil 2, voraus. Der Berechnung werden die Verläufe der mittleren Außentemperatur, des mittleren Trübungs-faktors der Atmosphäre und der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Jahreszeit, wie sie etwa in Frankfurt am Main vorliegen, zugrundegelegt.

45 [0051] In Abb. 31 sind jeweils die täglich in die Fensterflächen eingestrahlten und von den Fensterflächen abgegebenen Wärmemengen für vertikale, nach Südosten ausgerichtete Fensterflächen mit Isolierglas, Sonnenschutzglas oder Prismenglas in Abhängigkeit von dem Jahrestag dargestellt. Man erkennt, daß in das Prismenglas im Winter nahezu soviel Wärme eingestrahlt wird wie in das übliche Isolierglas und deutlich mehr Wärme eingestrahlt wird als in das Sonnenschutzglas, während in das Prismenglas im Sommer erheblich weniger Wärme als in das übliche Isolierglas und auch deutlich weniger Wärme als in das Sonnenschutzglas eingestrahlt wird. Die von dem Prismenglas abgegebene Wärmemenge ist während des ganzen Jahres geringfügig größer als die von dem Sonnenschutzglas abgegebene Wärmemenge. Durch ähnliche Maßnahmen wie beim Sonnenschutzglas läßt sich der Wärmedurchgangs-koeffizient beim Prismenglas jedoch noch verringern.

[0052] Die energetischen Vorteile des Prismenscheibensystems im Vergleich zum üblichen Isolierglas und zum Sonnenschutzglas sind deutlich. Sofern keine Klimaanlage eingesetzt wird, bewirkt das Prismenscheibensystem im Vergleich zum üblichen Isolierglas und zum Sonnenschutzglas eine erhebliche Steigerung des thermischen Komforts während des Sommers und der Übergangszeiten. Bei manchen Gebäuden wird die Anwendung des Prismenscheibensystems den Verzicht auf eine Klimaanlage bzw. den Ersatz der Klimaanlage durch eine Lüftungsanlage ermöglichen. Wie Beispielrechnungen zeigen, werden bei gleichzeitiger Anwendung des Prismenscheibensystems und einer Klimaanlage in einem Gebäude - insbesondere bei Gebäuden mit großen Fensterflächen - die Mehrkosten einer Ausrüstung des Gebäudes mit Prismenscheiben im Vergleich zu einer Ausrüstung mit üblichem Isolierglas oder Sonnenschutzglas schnell durch die geringeren Kosten der kleineren Klimaanlage und durch die reduzierten Energiekosten kompensiert.

### Funktion des Scheibensystems für von den Auslegungsdaten abweichende aktuelle Daten

[0053] Eine analytische Untersuchung des Scheibensystems zeigt, daß geringe Abweichungen der aktuellen geographischen Breite  $\lambda$ , des aktuellen Fensterneigungswinkel  $v$  und/oder des aktuellen Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$  von den Daten, für die das Scheibensystem ausgelegt und der Neigungswinkel  $\alpha$  der Rippenlängsachse zur Horizontalen in der Fensterebene, der Prismenbasiswinkel  $\theta$  und die Sonnensperrzeit  $d_G$  bestimmt wurde, möglich sind, ohne daß die Funktion des Systems wesentlich beeinträchtigt wird. So sind die Sonnenschutzfunktion und die energetische Wirkung des Scheibensystems vollkommen gegeben, wenn z.B. der tatsächliche Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$  von dem Sollwert dieses Winkels um bis zu  $\pm 7,5^\circ$  abweicht. Diese Unempfindlichkeit des Scheibensystems bezüglich geringer Abweichungen von den Auslegungsdaten kann dazu genutzt werden, die Fertigung des Scheibensystems auf eine bestimmte Anzahl von Typen zu beschränken, mit denen die gesamte Bandbreite der Anwendungen des Scheibensystems abgedeckt werden kann.

[0054] Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, daß eine Abweichung von den Auslegungsdaten jeweils eine Abweichung der aktuellen Sonnensperrzeit  $d_G$  von deren Sollwert zur Folge hat. Für drei Scheibensysteme, deren Glasmaterial einen Brechungsindex  $n=1,5$  haben, sind in der folgenden Tabelle jeweils die partiellen Ableitungen der Sonnensperrzeit  $d_G$  nach der geographischen Breite  $\lambda$ , dem Fensterneigungswinkel  $v$  und dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$  angegeben.

$\lambda$ [°]	50	50	50
$v$ [°]	45	90	90
$\Delta\beta$ [°]	45	45	0
$\alpha$ [°]	-27,773	-30,682	0
$\theta$ [°]	48	70,5	76
$d_G$ [Tage]	58,804	71,925	80,309
$\partial d_G / \partial \lambda$ [Tage/°]	-5,5	-1,6	0
$\partial d_G / \partial v$ [Tage/°]	2,0	-0,1	2,5
$\partial d_G / \partial \Delta\beta$ [Tage/°]	1,9	-1,3	2,5

### Erläuterung der Zeichnungen

#### [0055]

Abb. 1: Prismenglasscheibe

Abb. 2: Darstellung des Neigungswinkels  $\alpha$  der prismatischen Rippen zur Horizontalen in der Fensterebene für verschiedene Fensterausrichtungen

Abb. 3: Sägezahnprofil an der Unterseite der prismatischen Rippe

Abb. 4: Der Einfallswinkel  $\gamma_2$  eines Sonnenstrahls an der ebenen Rückseite der Prismenscheibe

Abb. 5: Teil einer mit horizontalen Einschnitten versehenen Glasscheibe für die Umlenkung des einfallenden Tageslichtes gegen die Raumdecke

Abb. 6: Mögliche Strahlengänge in den Glasrippen mit rechteckigem Querschnitt

5 Abb. 7: Sonnenstrahlengänge im Sommer und Winter in einem Scheibensystem mit horizontalen, spiegelnd reflektierenden Profilen im Scheibenzwischenraum

10 Abb. 8: Oberlichtsystem für den Empfang und die Umlenkung des steil einfallenden Zenitlichtes sowie zur Reflexion der weniger steil einfallenden Sonnenstrahlung

15 Abb. 9: System aus zwei Scheiben mit ineinander verzahnten, horizontalen prismatischen Rippen

20 Abb. 10: Zwei parallele Strahlen, welche - abhängig vom Auftreffort - reflektiert werden bzw. die charakteristische prismatische Rippe durchdringen

25 Abb. 11: Anteil  $1-c_R/c_A$  an der gesamten, unter dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung, welcher die charakteristische prismatische Rippe mit dem Prismenbasiswinkel  $\theta=76^\circ$  durchdringt, in Abhängigkeit von dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$

30 Abb. 12: System aus zwei ineinander verzahnten Prismenscheiben mit spiegelnd reflektierenden Prismenflächen  $s_A$  und diffus reflektierenden Prismenflächen  $s_B$

35 Abb. 13: Definition des Einfallswinkels  $\gamma$ , des Rippenlängenwinkels  $\xi$  und des Rippenhöhenwinkels  $\zeta$  eines Strahls sowie der entsprechenden Winkel  $\gamma_1$ ,  $\xi_1$  und  $\zeta_1$  nach der Brechung und dem Eindringen des Strahls in die prismatische Rippe

40 Abb. 14: Neigungswinkel  $\alpha$  der Längsachse der prismatischen Rippen zur Horizontalen in der Fensterebene für den Fensterneigungswinkel  $v=90^\circ$  und die geographischen Breiten  $\lambda=40^\circ$ ,  $\lambda=50^\circ$  und  $\lambda=60^\circ$  in Abhängigkeit von dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$

45 Abb. 15: Neigungswinkel  $\alpha$  der Längsachse der prismatischen Rippen zur Horizontalen in der Fensterebene für den Fensterneigungswinkel  $v=60^\circ$  und die geographischen Breiten  $\lambda=40^\circ$ ,  $\lambda=50^\circ$  und  $\lambda=60^\circ$  in Abhängigkeit von dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$

50 Abb. 16: Sonnensperrzeit  $d_G$  für den Fensterneigungswinkel  $v=90^\circ$ , die geographischen Breiten  $\lambda=40^\circ$ ,  $\lambda=50^\circ$  und  $\lambda=60^\circ$  sowie die Prismenbasiswinkel  $\theta=54^\circ$ ,  $\theta=57^\circ$ ,  $\theta=70,5^\circ$  und  $\theta=76^\circ$  in Abhängigkeit von dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$

55 Abb. 17: Sonnensperrzeit  $d_G$  für den Fensterneigungswinkel  $v=60^\circ$ , die geographischen Breiten  $\lambda=40^\circ$ ,  $\lambda=50^\circ$  und  $\lambda=60^\circ$  sowie die Prismenbasiswinkel  $\theta=45^\circ$ ,  $\theta=48^\circ$ ,  $\theta=51^\circ$ ,  $\theta\leq 54^\circ$ ,  $\theta=57^\circ$  und  $\theta=70,5^\circ$  in Abhängigkeit von dem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta$

60 Abb. 18: Darstellung zur Definition der Teilfläche  $c_f$  und der Strahlrichtungen  $\xi, \zeta_U$  und  $\xi, \zeta_C$

65 Abb. 19: Das Sichtflächenverhältnis SV für den Prismenbasiswinkel  $\theta=76^\circ$  im  $\xi, \zeta$ -Diagramm

70 Abb. 20: Das Sichtflächenverhältnis SV für den Prismenbasiswinkel  $\theta=70,5^\circ$  im  $\xi, \zeta$ -Diagramm

75 Abb. 21: Das Sichtflächenverhältnis SV für den Prismenbasiswinkel  $\theta=51^\circ$  im  $\xi, \zeta$ -Diagramm

80 Abb. 22: Verschiedene, vom Auftreffort abhängige Strahlengänge zweier parallel einfallender Strahlen mit 7 bzw. 8 Grenzkontakten

85 Abb. 23: Anteil P der Strahlung mit dem Strahlengang 2b2 an der gesamten, unter dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung für Prismenbasiswinkel  $\theta=45^\circ$ ,  $\theta=48^\circ$ ,  $\theta=51^\circ$ ,  $\theta=54^\circ$  und  $\theta=57^\circ$  in Abhängigkeit von dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$

90 Abb. 24: Anteil P der Strahlung mit dem Strahlengang 2b22 an der gesamten, unter dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung für den Prismenbasiswinkel  $\theta=70,5^\circ$  in Abhängigkeit von dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$

Abb. 25: Anteil P der Strahlung mit dem Strahlengang 2b22 an der gesamten, unter dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$  eindringenden Strahlung für den Prismenbasiswinkel  $\theta=76^\circ$  in Abhängigkeit von dem Rippenhöhenwinkel  $\zeta_1$

5 Abb. 26: Testraum für die Berechnung der Verteilung der Beleuchtungsstärke und der durch die Fenster eingeschalteten und abgegebenen Wärmemengen

10 Abb. 27: Die Beleuchtungsstärke bei bedecktem Himmel am 20. Dezember um 12 Uhr in der Symmetrieebene des Testraumes in 1 m Höhe für drei verschiedene Fenstergläser bei einem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta=45^\circ$  in Abhängigkeit von der Raumtiefe

15 Abb. 28: Die Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel am 20. Juni um 12 Uhr in der Symmetrieebene des Testraumes in 1 m Höhe für drei verschiedene Fenstergläser bei einem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta=45^\circ$  in Abhängigkeit von der Raumtiefe

20 Abb. 29: Die Beleuchtungsstärke der Sensorfläche in der Symmetrieebene des Testraumes in 1 m Höhe, welche der Rückwand des Testraumes am nächsten liegt, bei bedecktem Himmel am 20. Dezember für drei verschiedene Fenstergläser bei einem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta=45^\circ$  in Abhängigkeit von der Tageszeit

25 Abb. 30: Die Beleuchtungsstärke der Sensorfläche in der Symmetrieebene des Testraumes in 1 m Höhe, welche dem Fenster des Testraumes am nächsten liegt, bei klarem Himmel am 20. Juni für drei verschiedene Fenstergläser bei einem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta=45^\circ$  in Abhängigkeit von der Tageszeit

30 Abb. 31: Die im Mittel täglich in die Fensterfläche eingestrahlte bzw. von der Fensterfläche abgegebene Wärmemenge für drei verschiedene Fenstergläser bei einem Fensterausrichtungswinkel  $\Delta\beta=45^\circ$  in Abhängigkeit von dem Jahrestag

35 Abb. 32: Konstruktive Details der Ausführungsform a

40 Abb. 33: Konstruktive Details der Ausführungsform b

45 Abb. 34: Konstruktive Details der Ausführungsform c

50 Abb. 35: Konstruktive Details der Ausführungsform d

### 35 **Konstruktive Gestaltung und Ausführungsformen des neuen Fensterglases**

**[0056]** Die beiden in Abb. 12 dargestellten Prismenscheiben A und B haben identische Abmessungen des Querschnittes der charakteristischen prismatischen Rippen. Die Geometrie der Prismenscheibe B entsteht aus der Geometrie der Prismenscheibe A durch Drehung mit dem Winkel  $\pi$  um die Längsachse der prismatischen Rippe ( $y_P$ -Achse). Die Glaskörper der beiden Prismenscheiben sind somit baugleich und daher mit demselben Werkzeug zu fertigen.

#### **Anforderungen an die konstruktive Gestaltung**

**[0057]** Die Funktion des Systems erfordert es, daß die beiden Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  durch einen schmalen Spalt Z voneinander getrennt sind und daß die Prismenfläche  $s_A$  mit einer möglichst vollkommen spiegelnd reflektierenden Beschichtung und die Prismenfläche  $s_B$  mit einer möglichst vollkommen diffus reflektierenden Schicht versehen ist. Zwischen der reflektierenden Schicht und dem Glasmaterial der jeweiligen Prismenfläche darf kein Luftspalt vorhanden sein, um an diesen Flächen zusätzliche Reflexionsverluste der Strahlen durch den Austritt aus dem Glaskörper und den Wiedereintritt in den Glaskörper zu vermeiden. Die Reflexionseigenschaften der reflektierenden Schichten sollen durch Umwelteinflüsse, insbesondere durch die Sonnenstrahlung, auch langfristig möglichst wenig verändert werden.

**[0058]** Der Spalt Z soll in Relation zur Prismenfläche  $s_A$  bzw.  $s_B$  so schmal wie fertigungstechnisch möglich sein, soll aber bei allen Umgebungsbedingungen (Außentemperatur, Innentemperatur, Luftdruck, Windlasten, Eigengewicht bei geneigten Fenstern) zuverlässig vorhanden sein, d.h. auch ein zeitweiser Kontakt zwischen den Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  soll nicht auftreten. Zwischen  $s_A$  und  $s_B$  ist aus Funktionsgründen kein Spalt erforderlich, soll aber, sofern vorhanden, ebenfalls so schmal wie fertigungstechnisch möglich sein, damit der nicht-transparente Anteil der Prismenfläche an  $f_A$  bzw.  $f_B$  möglichst klein bleibt. Die Prismenflächen  $s_A$  bzw.  $s_B$  müssen somit einerseits ausreichend groß sein, damit die relative Spaltbreite von Z angenähert vernachlässigbar klein ist und die Funktion des Systems nicht beeinträchtigt wird. Die Höhe der prismatischen Rippen und damit die Abmessungen der Prismenflächen werden

andererseits möglichst klein gewählt, um die Dicke und damit das Gewicht und die Kosten des Systems möglichst gering zu halten. Eine Dicke der charakteristischen prismatischen Rippe  $d_A$  von etwa 4 mm bis 8 mm (Abb. 22) kann die gegensätzlichen Anforderungen mit einem guten Kompromiß erfüllen.

[0059] Im übrigen muß das System alle Anforderungen erfüllen, die an eine übliche Isolierglasscheibe gestellt werden. Das System muß eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen, d.h. es muß ausreichend bruchsicher sein in Bezug auf Stöße, Windlasten sowie durch Temperaturdifferenzen oder Luftdruckschwankungen induzierte Spannungen. Die beiden Prismenscheiben A und B müssen fest und dauerhaft miteinander verbunden sein. Zwischen den Prismenflächen  $f_A$  und  $s_A$  sowie  $f_B$  und  $s_B$  muß jeweils in den konkaven, rechtwinkligen Ecken ein abgerundeter Übergang vorhanden sein, um überhöhte Kerbspannungen an diesen Stellen zu vermeiden. Die Spalte zwischen den Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  sowie ggf. zwischen den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  müssen zur Umgebungsluft sorgfältig abgedichtet sein, um das Eindringen von Staub und Feuchtigkeit dauerhaft und sicher zu verhindern.

#### Herstellung geeigneter Reflexionsschichten für die Prismenfläche $s_A$

##### 15 A1: Aufdampfen von Aluminium oder Silber

[0060] Eine spiegelnd reflektierende Beschichtung aus Aluminium oder Silber, die mit einer geeigneten Schutzschicht versiegelt ist, wird auf die Prismenfläche  $s_A$  aufgedampft. Der Reflexionsgrad für interne Reflexionen an der Prismenfläche  $s_A$  ist etwa 0,90 (Aluminium) bzw. 0,94 (Silber). Die Reflexionseigenschaften des aufgedampften Aluminiums bzw. Silbers sind bei angemessener Versiegelung außerordentlich stabil, d.h. die Sonnenstrahlung - insbesondere deren energiereicher UV-Anteil - verändert den Reflexionsgrad auch langfristig nicht.

##### A2: Aufkleben einer Aluminiumfolie oder eines dünnen Aluminiumbleches mit polierter Oberfläche

25 [0061] Eine spiegelnd reflektierende Aluminiumfolie oder ein dünnes, spiegelnd reflektierendes Aluminiumblech mit polierter Oberfläche wird auf die Prismenfläche  $s_A$  geklebt. Der Kleber muß glasklar sein und ohne Luftblasen verarbeitet werden. Die chemische Verträglichkeit des Klebers mit dem Glas und der Folie bzw. dem Blech, die Haftfähigkeit des Klebers auf dem Glas und der Folie bzw. dem Blech und die Langzeitstabilität des Klebers bezüglich Sonneneinstrahlung ist zu untersuchen und sicherzustellen. Der Reflexionsgrad für interne Reflexionen an der Prismenfläche  $s_A$  ist etwa 0,90. Die Reflexionseigenschaften der Aluminiumfolie bzw. des Aluminiumbleches sind bei angemessener Versiegelung - wie für die Variante A1 - außerordentlich stabil.

#### Herstellung geeigneter Reflexionsschichten für die Prismenfläche $s_B$

##### 35 B1: Beschichten mit einer weißen Farbe

[0062] Die Prismenfläche  $s_B$  wird mit einer diffus reflektierenden weißen Farbe beschichtet. Es ist eine matte, rein weiße Farbe zu wählen. Als Pigment der weißen Farbe sind Zinkoxid oder Zirkonsulfat zu bevorzugen. Die chemische Verträglichkeit der Farbe mit dem Glas, die Haftfähigkeit der Farbe auf dem Glas und die Langzeitstabilität der Reflexionseigenschaften der Farbe bezüglich Sonneneinstrahlung ist zu untersuchen und sicherzustellen. Mit einer derartigen Farbe muß ein Reflexionsgrad von 0,80 bis 0,86 (diffus) für die Lebensdauer eines Fensters erreicht werden.

##### B2: Beschichten mit einem weißen Kleber

45 [0063] Diese Variante entspricht der Variante B1 mit der Ausnahme, daß die weiße Farbe durch einen mit weißem Pigment gefüllten Kleber ersetzt ist. Mit dem Kleber, der in einer deckenden, blasenfreien Schicht angewendet werden muß, können z.B. dünne Aluminiumbleche auf die Prismenfläche  $s_B$  geklebt werden.

##### B3: Aufkleben eines dünnen Aluminiumbleches mit anodierter Oberfläche

50 [0064] Das Anodieren des dünnen Aluminiumbleches erfolgt in einer elektrolytischen Flüssigkeit aus 15-prozentiger Schwefelsäure bei 21 °C und einer Gleichstromdichte von 0,027 A/cm<sup>2</sup> bis zu einer Schichtdicke von etwa 13 µ. Das diffus reflektierende Aluminiumblech wird mit der anodierten Oberfläche auf die Prismenfläche  $s_B$  geklebt. Der Kleber muß glasklar sein und ohne Luftblasen verarbeitet werden. Die chemische Verträglichkeit des Klebers mit dem Glas und dem Blech, die Haftfähigkeit des Klebers auf dem Glas und dem Blech und die Langzeitstabilität des Klebers bezüglich Sonneneinstrahlung ist zu untersuchen und sicherzustellen. Der Reflexionsgrad für interne Reflexionen an der Prismenfläche  $s_B$  ist etwa 0,85. Die Reflexionseigenschaften des anodierten Aluminiumbleches sind außerordentlich stabil.

**Ausführungsform a**

[0065] Abb. 32 zeigt einen Ausschnitt der Rippenquerschnittsebene des Systems in der Ausführungsform a. Die Reflexionsschichten  $R_A$  bzw.  $R_B$  der Prismenflächen  $s_A$  bzw.  $s_B$  können alternativ durch alle aufgeführten Verfahren 5 A1 oder A2 bzw. B1, B2 oder B3 realisiert werden. Zwischen den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  ist ein Luftspalt. Die mechanische Verbindung zwischen den beiden Prismenscheiben A und B erfolgt nur durch einen Randverbund, wie er auch für übliche Isolierglasscheiben angewendet wird. Die Abstände zwischen den Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  und 10 zwischen den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  werden durch Abstandshalter an den Scheibenrändern fixiert. Die gewünschten geringen, bei allen auftretenden Umgebungsbedingungen vorhandenen Spaltbreiten und die notwendige mechanische Festigkeit des Systems werden durch entsprechende konstruktive Gestaltung gewährleistet. Diese Anforderungen führen zu relativ dickwandigen Scheiben für dieses System. Die Scheiben müssen um so dickwandiger sein, 15 je größer die Abmessungen der Fensterfläche sind.

**Ausführungsform b**

[0066] Abb. 33 zeigt einen Ausschnitt der Rippenquerschnittsebene des Systems in der Ausführungsform b. Die Reflexionsschicht  $R_A$  der Prismenfläche  $s_A$  wird durch das Verfahren A1 realisiert, während die Reflexionsschicht  $R_B$  der Prismenfläche  $s_B$  durch das Verfahren B2 hergestellt wird. Der weiße Kleber wirkt als Reflexionsschicht  $R_B$  und 15 stellt gleichzeitig eine feste Klebverbindung zwischen den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  her. Es ist zu überprüfen, ob die Haftkräfte der aufgedampften Aluminiumschicht  $R_A$  zur Prismenfläche  $s_A$  ausreichen, um geringe Zugspannungen 20 aufzunehmen. Die mechanische Verbindung zwischen den beiden Prismenscheiben A und B erfolgt zusätzlich durch einen Randverbund. Der Abstand Z zwischen den Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  und die Dicke der Kleberschicht zwischen 25 den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  werden entweder durch Abstandshalter an den Scheibenrändern oder durch eine Fertigungsvorrichtung, welche die beiden Prismenscheiben A und B bis zum Aushärten des Klebers genau in Position hält, fixiert. Die gewünschten geringen Spaltbreiten und die notwendige mechanische Festigkeit des Systems werden 30 auf diese Weise trotz relativ dünnwandiger Scheiben für alle auftretenden Umgebungsbedingungen und unabhängig von der Größe der Fensterfläche gewährleistet.

**Ausführungsform c**

[0067] Abb. 34 zeigt einen Ausschnitt der Rippenquerschnittsebene des Systems in der Ausführungsform c. Ein 30 dünnes Aluminiumblech D, dessen eine polierte Oberfläche (Reflexionsschicht  $R_A$ ) spiegelnd reflektiert und dessen andere anodierte Oberfläche (Reflexionsschicht  $R_B$ ) diffus reflektiert, ist mit zwei Kleberschichten ( $K_A$  und  $K_B$ ) aus glasklarem, alterungsbeständigem Kleber zwischen den Prismenflächen  $s_A$  und  $s_B$  verklebt. Somit sind die Verfahren 35 A2 und B3 für die Herstellung der Reflexionsschichten realisiert. Das Aluminiumblech D mit einer Dicke von z.B.  $d_D=0,4$  mm ist um die Breite  $d_Z$  des Spaltes Z breiter ist als  $s_A$  bzw.  $s_B$  - z.B.  $d_Z=0,4$  mm -, so daß D als Abstandshalter zwischen den Prismenflächen  $f_A$  und  $f_B$  wirkt. Auf diese Weise lassen sich besonders schmale und entlang der Länge 40 der prismatischen Rippen konstante Spalte Z mit relativ einfachen Fertigungsvorrichtungen realisieren und Abstandshalter an den Scheibenrändern sind nicht erforderlich. An der schmalen Seite des Aluminiumbleches D, wo es gegen die Prismenfläche  $f_A$  bzw.  $f_B$  stößt, verhindern 45°-Phasen die Entstehung von Kerbspannungen in den abgerundeten Ecken zwischen der Prismenfläche  $f_A$  und der Prismenfläche  $s_A$  bzw. der Prismenfläche  $f_B$  und der Prismenfläche  $s_B$ . Die 45 mechanische Festigkeit dieses Systems entspricht bei gleichen Scheibenabmessungen der mechanischen Festigkeit des Systems nach Ausführungsform b.

**Ausführungsform d**

[0068] Abb. 35 zeigt einen Ausschnitt der Rippenquerschnittsebene des Systems in der Ausführungsform d. Dieses 50 System entspricht einer Kombination aus Ausführungsform b und Ausführungsform c, d.h. die Reflexionsschichten  $R_A$  und  $R_B$  werden wie für Ausführungsform b hergestellt und das Aluminiumblech D wirkt als Abstandshalter. Für die Einfachheit und Präzision der Herstellung und für die mechanische Festigkeit des Systems gilt das gleiche wie für das System nach Ausführungsform c.

**Patentansprüche**

1. Ein Fensterscheibensystem, das einen Innenraum von der äußeren Umgebung abtrennt und aus einer äußeren Scheibe (A) und einer inneren Scheibe (B) aus durchsichtigem Material besteht, welche jeweils durch eine ebene Fläche ( $a_A$ ) bzw. ( $a_B$ ) und durch eine aus einer Vielzahl von übereinander angeordneten, parallelen, prismatischen

Rippen bestehenden Fläche begrenzt sind,

5 wobei das Fenster vertikal oder mit einem Fensterneigungswinkel ( $\nu$ ) zur Horizontebene geneigt ist und in seiner Ausrichtung mit einem Winkel ( $\Delta\beta$ ) von der Südrichtung (Nordhemisphäre) bzw. von der Nordrichtung (Südhemisphäre) abweicht,

10 wobei alle Rippen identische Querschnitte in der Form eines rechtwinkligen Dreiecks haben und die Rippen der Scheibe (A) und der Scheibe (B) einander zugewendet und so ineinander verzahnt sind, daß nur ein kleiner Luftspalt zwischen den beiden Scheiben vorhanden ist,

15 wobei die ebenen Flächen ( $a_A$ ) und ( $a_B$ ) parallel zueinander sind und die ebene Fläche ( $a_A$ ) zur äußeren Umgebung und die ebene Fläche ( $a_B$ ) zum Innenraum gerichtet ist,

20 wobei die Rippen der Scheibe (A) bzw. der Scheibe (B) durch die Prismenflächen ( $s_A$ ) und ( $f_A$ ) bzw. ( $s_B$ ) und ( $f_B$ ) begrenzt sind und die Prismenflächen ( $s_A$ ) zur Fläche ( $a_A$ ) bzw. ( $s_B$ ) zur Fläche ( $a_B$ ) den Winkel ( $\theta$ ) und die Prismenflächen ( $f_A$ ) zur Fläche ( $a_A$ ) bzw. ( $f_B$ ) zur Fläche ( $a_B$ ) den Winkel ( $\Omega$ ) aufweisen,

dadurch gekennzeichnet, daß die Prismenflächen ( $s_A$ ) mit einer zum Inneren der Scheibe (A) spiegelnd reflektierenden Beschichtung ( $R_A$ ) und die Prismenflächen ( $s_B$ ) mit einer zum Inneren der Scheibe (B) diffus reflektierenden Beschichtung ( $R_B$ ) versehen sind,

25 daß der Neigungswinkel ( $\alpha$ ) der Längsachsen der prismatischen Rippen zur Horizontalen in der Fensterebene durch

$$\tan\alpha = -\sin\Delta\beta / (\cos\Delta\beta \cdot \cos\nu + \tan\lambda \cdot \sin\nu)$$

mit

30 dem Fensterausrichtungswinkel ( $\Delta\beta$ ) in dem Bereich  $-75^\circ \leq \Delta\beta \leq 75^\circ$ ,

dem Fensterneigungswinkel ( $\nu$ ) in dem Bereich  $45^\circ \leq \nu \leq 90^\circ$  und

35 der geographischen Breite ( $\lambda$ ) des Anwendungsortes der Fensterscheibe in dem gemäßigten Klima des Bereiches  $30^\circ \leq \lambda \leq 60^\circ$  nördlicher und südlicher Breite

bestimmt ist und

40 daß die Sonnensperrzeit ( $d_G$ ) in dem Bereich  $30 \text{ Tage} \leq d_G \leq 120 \text{ Tage}$  jeweils vor und nach der Sommersonnenwende, in der keine direkte Sonnenstrahlung die Prismenscheibe durchdringen soll, durch

$$d_G = d_J / 2\pi \cdot \arccos(\{\arcsin[n \cdot \sin(\theta + \kappa - \pi/2)] - \zeta_0\} / \delta_0)$$

45 mit

$d_J = 365,25$  Tage, der Zeit eines Jahres,

50  $\kappa = \arcsin(1/n)$ , dem kritischen Winkel der Totalreflexion, mit

$n$  : dem Brechungsindex des Scheibenmaterials, welcher bei üblichem Fensterglas und Acrylglas etwa gleich 1,5 ist,

55  $\zeta_0 = \arctan(z_{0v} / x_{0v})$ , dem Rippenhöhenwinkel des Sonnenstrahlungsvektors in der Äquatorebene und in der Rippenquerschnittsebene, d.h. dem Winkel zwischen der Normalen der Fläche ( $a_A$ ) und dem Sonnenstrahlungsvektor zur Jahreszeit der Tagundnachtgleiche mit der Sonnendeklination  $\delta=0^\circ$  und zur mittleren Tageszeit  $t_v$  des Anwendungsortes bzw. für den Tageszeitwinkel  $\beta_v = \pi/12h \cdot t_v$  mit

$$x_{0v} = -C \cdot \sin v - \cos \beta_v \cdot \cos \lambda \cdot \cos v$$

$$5 \quad Z_{0v} = -D \cdot \sin \alpha + (C \cdot \cos v - \cos \beta_v \cdot \cos \lambda \cdot \sin v) \cdot \cos \alpha$$

mit

$$10 \quad \beta_v = \arctan \{ [E \cdot (\sin \lambda \cdot \cos \Delta \beta - \cos \lambda \cdot \tan v) - \sin \lambda \cdot \tan \Delta \beta] / (1 + E \cdot \sin \Delta \beta) \}$$

$$C = (\cos \beta_v \cdot \sin \lambda \cdot \cos \Delta \beta - \sin \beta_v \cdot \sin \Delta \beta)$$

$$D = (\cos \beta_v \cdot \sin \lambda \cdot \sin \Delta \beta + \sin \beta_v \cdot \cos \Delta \beta)$$

$$15 \quad E = \tan \Delta \beta / (\cos \Delta \beta + \tan \lambda \cdot \tan v) \text{ und}$$

$\delta_0 = 23,45^\circ$ , der maximalen Sonnendeklination des Sonnenstrahlungsvektors zur Äquatorebene zum Jahreszeitpunkt der Sommersonnenwende,

20 bestimmt ist.

2. Fensterscheibe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Prismenbasiswinkel ( $\theta$ ) in den Bereichen

$$25 \quad 45^\circ \leq \theta \leq (2\kappa + \pi/2)/3,$$

$$(\kappa + \zeta_{M1} + 3/2\pi)/5 \leq \theta \leq (2\kappa + 3/2\pi)/5$$

30 und

$$(\kappa + \zeta_{M1} + 5/2\pi)/7 \leq \theta \leq (2\kappa + 5/2\pi)/7$$

35 jeweils mit

$$\zeta_{M1} = \arcsin [1/n \cdot \sin(\delta_0 + \zeta_0)]$$

40 bzw. mit dem Brechungsindex von etwa  $n=1,5$  bei üblichem Fensterglas und Acrylglas in den Bereichen

$$45^\circ \leq \theta \leq 58^\circ,$$

$$45 \quad 68^\circ \leq \theta \leq 71^\circ$$

und

$$50 \quad 74^\circ \leq \theta \leq 77^\circ$$

gewählt wird, da das Fensterscheibensystem mit Prismenbasiswinkeln in diesen Bereichen während der Sonnensperrzeit auch indirekte, über die Prismenflächen ( $s_B$ ) diffus reflektierte Sonnenstrahlung nur in sehr geringem Maße oder gar nicht durchläßt.

55 3. Fensterscheibe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die spiegelnd reflektierenden Beschichtungen ( $R_A$ ) der Prismenflächen ( $s_A$ ) durch

- Aufdampfen von Aluminium oder Silber und Versiegelung dieser Metallschichten durch schützende Deckschichten oder

- 5
- Aufkleben von spiegelnd reflektierenden Aluminiumfolien oder von dünnen, spiegelnd reflektierenden Aluminiumblechen mit glasklarem Kleber

erzeugt werden,  
daß die diffus reflektierenden Beschichtungen ( $R_B$ ) der Prismenflächen ( $s_B$ ) durch

- 10
- Aufbringen von matter, weißer Farbe oder

- Aufkleben von dünnen Aluminiumblechen mit anodierten, diffus reflektierenden Oberflächen mit glasklarem Kleber

15     

realisiert werden und

daß zwischen den Prismenflächen ( $f_A$ ) und ( $f_B$ ) und den reflektierenden Schichten ( $R_A$ ) und ( $R_B$ ) Spalte ( $Z$ ) vorhanden sind, welche durch Abstandshalter an den Scheibenrändern so fixiert werden, daß die Spalte möglichst schmal, aber sicher und dauerhaft vorhanden sind.

- 20
- 4.** Fensterscheibe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die spiegelnd reflektierenden Beschichtungen ( $R_A$ ) der Prismenflächen ( $s_A$ ) durch Aufdampfen von Aluminium oder Silber und Versiegelung dieser Metallschichten durch schützende Deckschichten erzeugt werden,

25     

daß die diffus reflektierenden Beschichtungen ( $R_B$ ) der Prismenflächen ( $s_B$ ) durch mit weißem Pigment gefüllten Kleber ( $K_B$ ), welcher die Beschichtungen ( $R_A$ ) der Prismenflächen ( $s_A$ ) mit den Prismenflächen ( $s_B$ ) in deckenden, blasenfreien Schichten fest verklebt, realisiert werden und

30     

daß die Klebung so erfolgt, daß die Spalte ( $Z$ ) zwischen den Prismenflächen ( $f_A$ ) und ( $f_B$ ) möglichst schmal, aber sicher vorhanden sind.

- 35
- 5.** Fensterscheibe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die spiegelnd reflektierenden Beschichtungen ( $R_A$ ) der Prismenflächen ( $s_A$ ) durch Aufkleben der polierten, spiegelnd reflektierenden Oberflächen von dünnen Aluminiumblechen (D) mit glasklarem Kleber ( $K_A$ ) erzeugt werden,

40     

daß die diffus reflektierenden Beschichtungen ( $R_B$ ) der Prismenflächen ( $s_B$ ) durch Aufkleben der rückseitigen, anodierten, diffus reflektierenden Oberflächen der dünnen Aluminiumbleche (D) mit glasklarem Kleber ( $K_B$ ) realisiert werden und

45     

daß die dünnen Aluminiumbleche (D) um die Breite ( $d_Z$ ) der Spalte ( $Z$ ) zwischen den Prismenflächen ( $f_A$ ) und ( $f_B$ ) breiter als die Prismenflächen ( $s_A$ ) und ( $s_B$ ) sind und somit als Abstandshalter zwischen den Prismenflächen ( $f_A$ ) und ( $f_B$ ) gleichmäßig schmale Spalte ( $Z$ ) bewirken.

- 50
- 6.** Fensterscheibe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß dünne Aluminiumbleche (D), welche um die Breite ( $d_Z$ ) der Spalte ( $Z$ ) zwischen den Prismenflächen ( $f_A$ ) und ( $f_B$ ) breiter als die Prismenflächen ( $s_A$ ) und ( $s_B$ ) sind, zwischen den Prismenflächen ( $s_A$ ) und ( $s_B$ ) angeordnet sind und für gleichmäßig schmale Spalte ( $Z$ ) zwischen den Prismenflächen ( $f_A$ ) und ( $f_B$ ) sorgen,

55     

daß die spiegelnd reflektierenden Beschichtungen ( $R_A$ ) der Prismenflächen ( $s_A$ ) durch Aufdampfen von Aluminium oder Silber und Versiegelung dieser Metallschichten durch schützende Deckschichten erzeugt und mit glasklarem Kleber ( $K_A$ ) mit den dünnen Aluminiumblechen (D) fest verklebt werden und

daß die diffus reflektierenden Beschichtungen ( $R_B$ ) der Prismenflächen ( $s_B$ ) durch mit weißem Pigment gefüllten Kleber ( $K_B$ ), welcher die dünnen Aluminiumbleche (D) mit den Prismenflächen ( $s_B$ ) in deckenden, blasenfreien Schichten fest verklebt, realisiert werden.

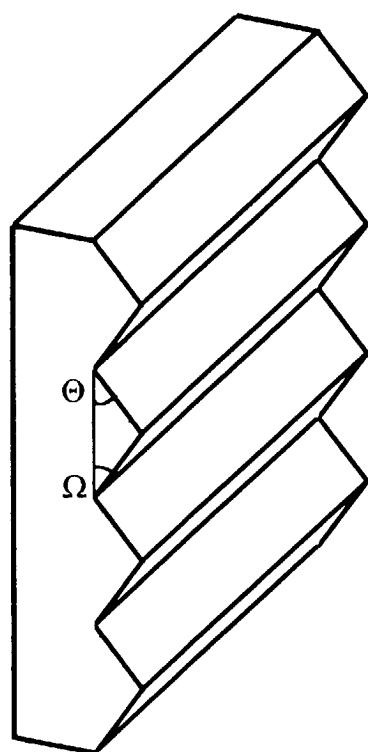


Abb. 1

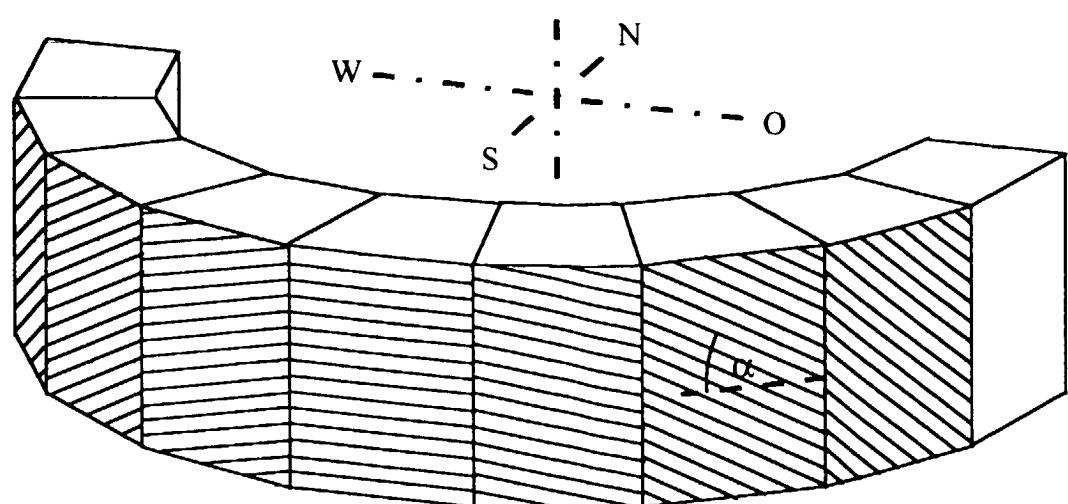


Abb. 2

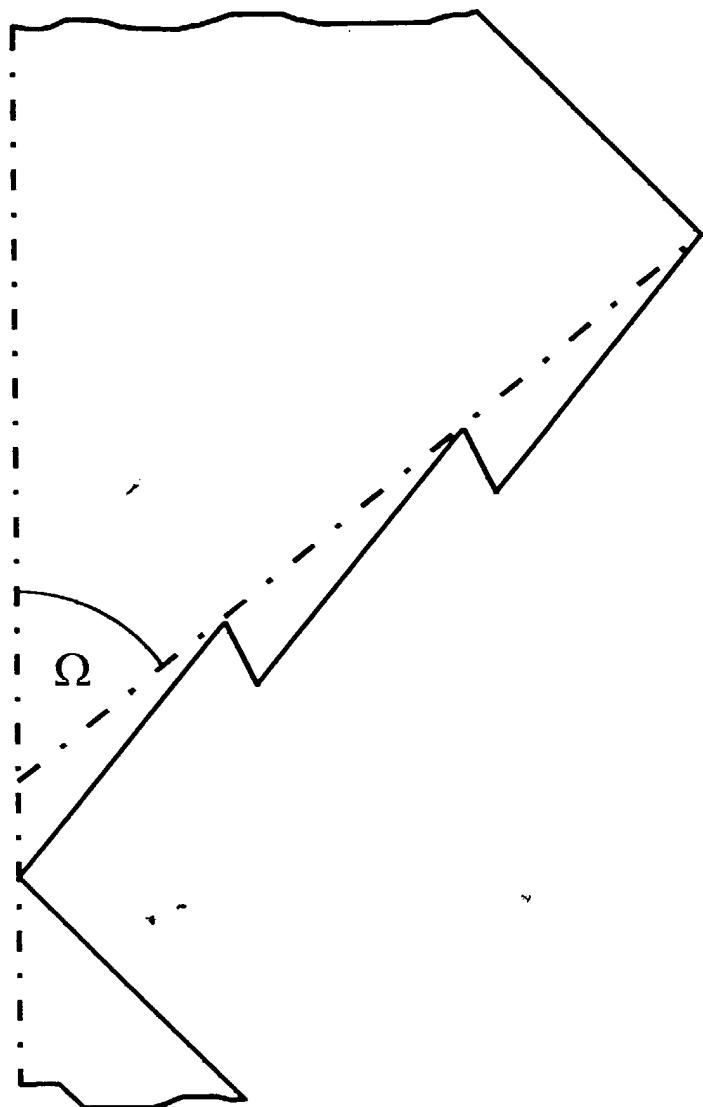


Abb. 3

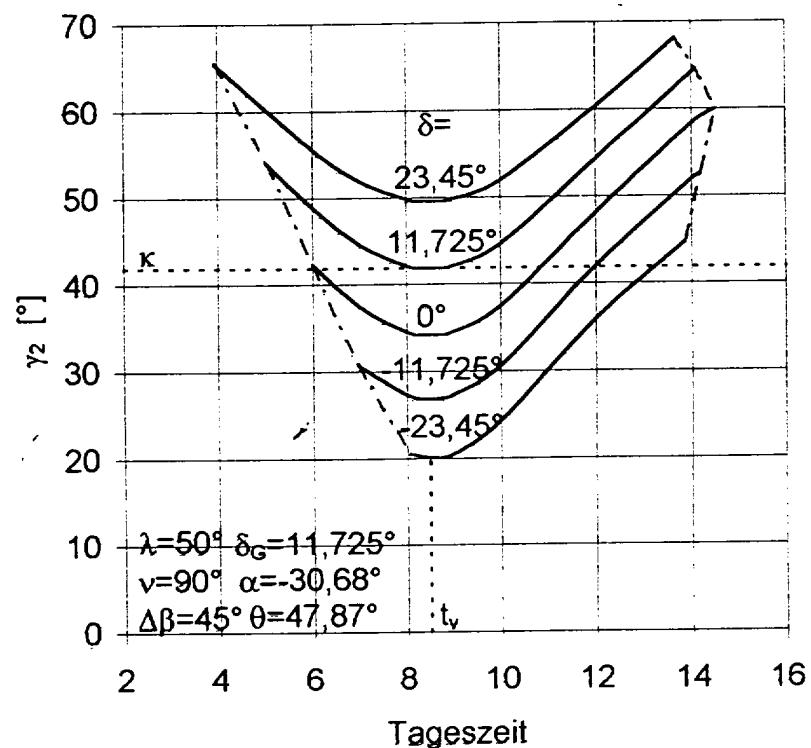


Abb. 4

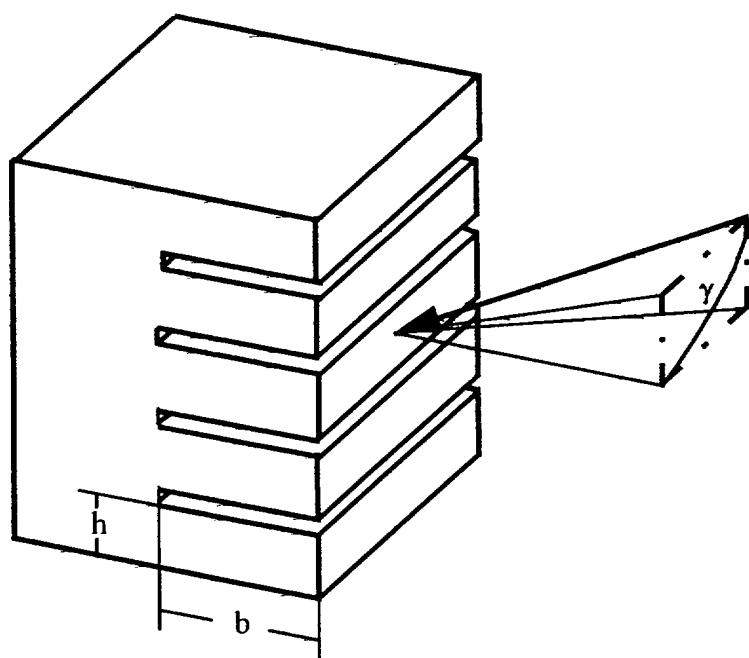


Abb. 5

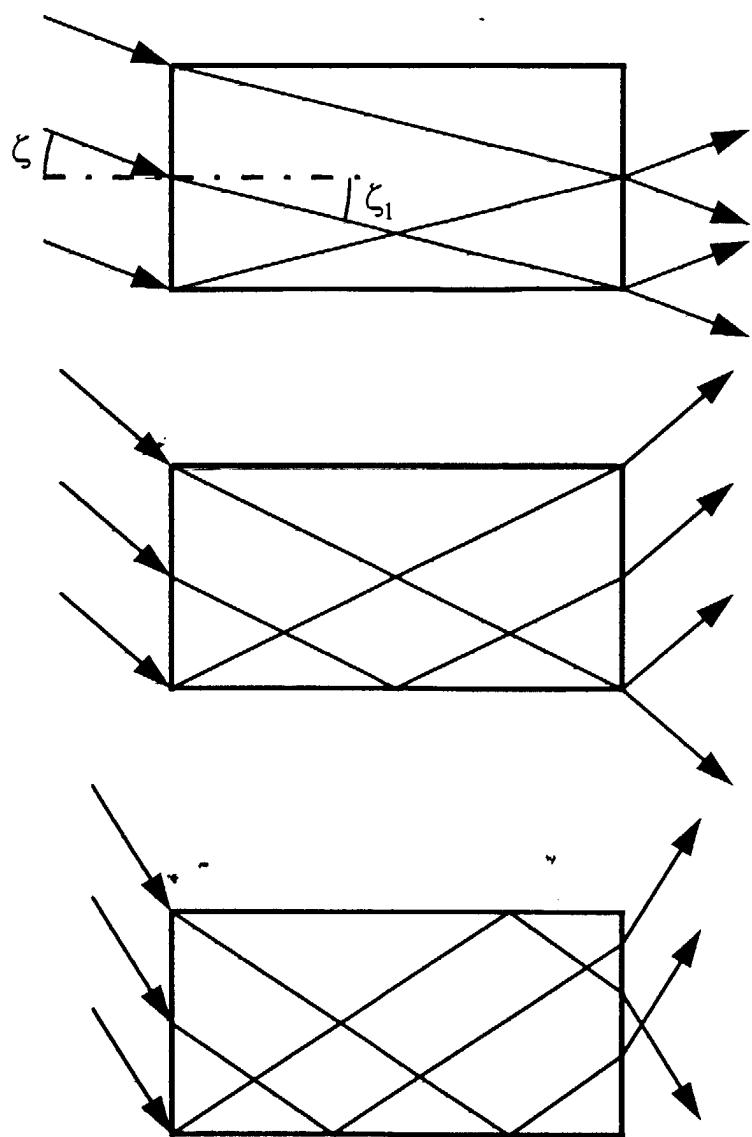


Abb. 6

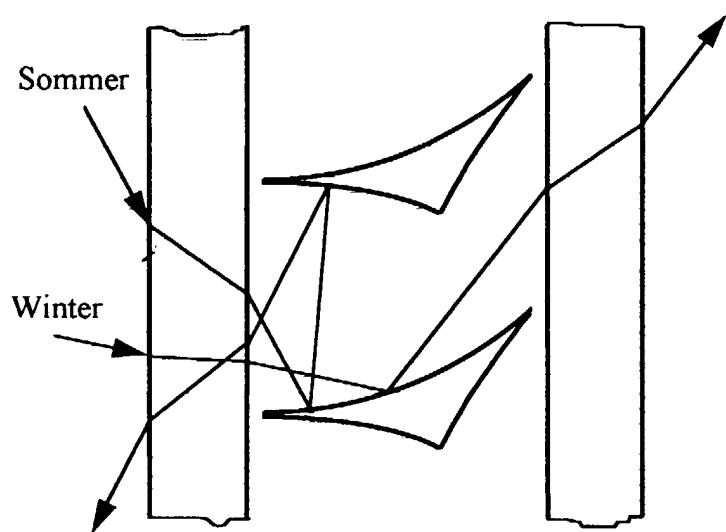


Abb. 7

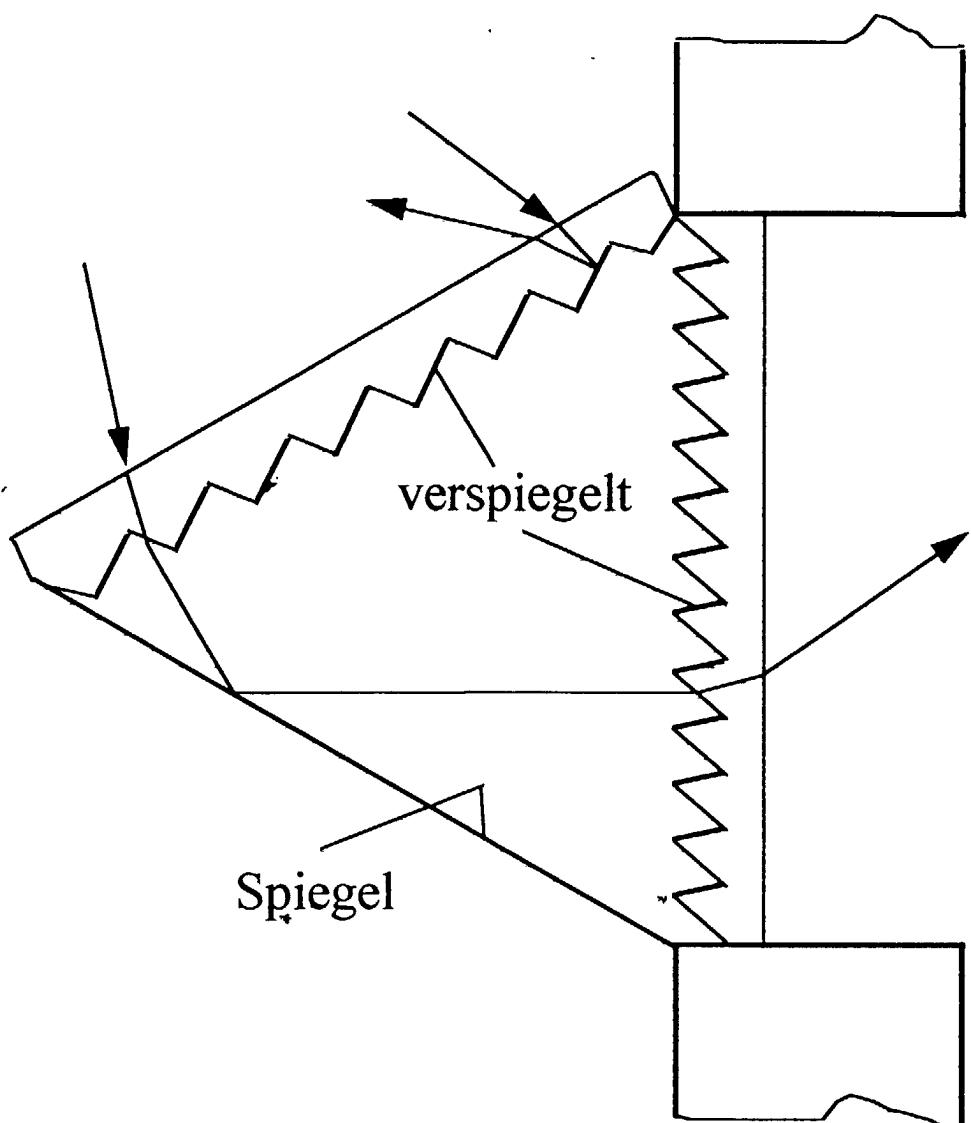


Abb. 8

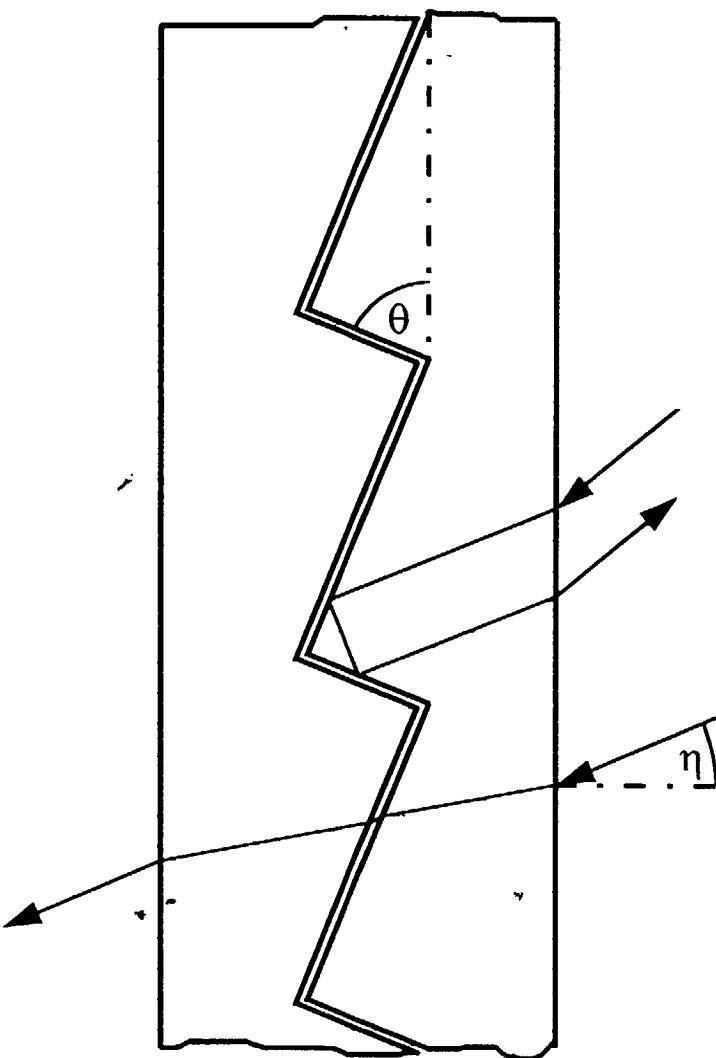


Abb. 9

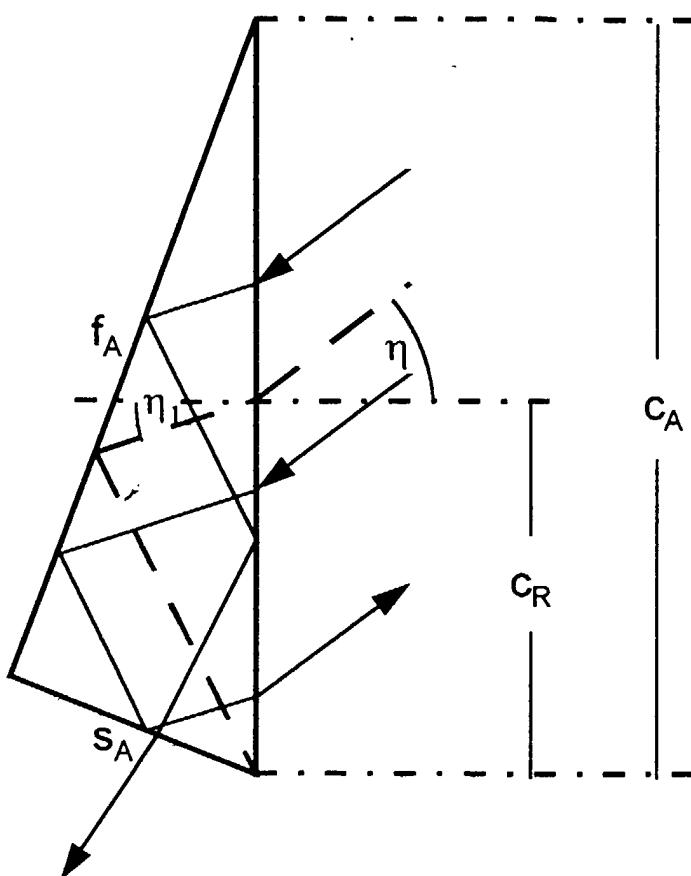


Abb. 10

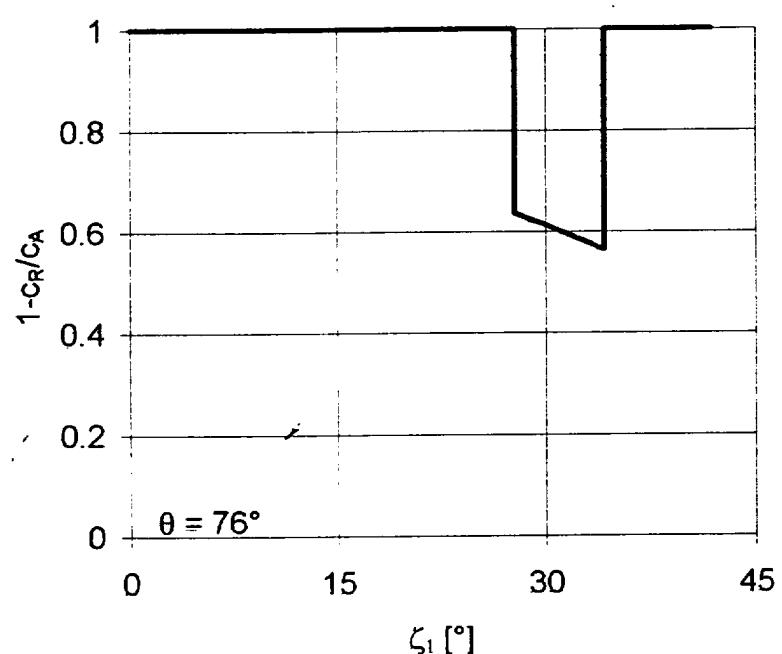


Abb. 11

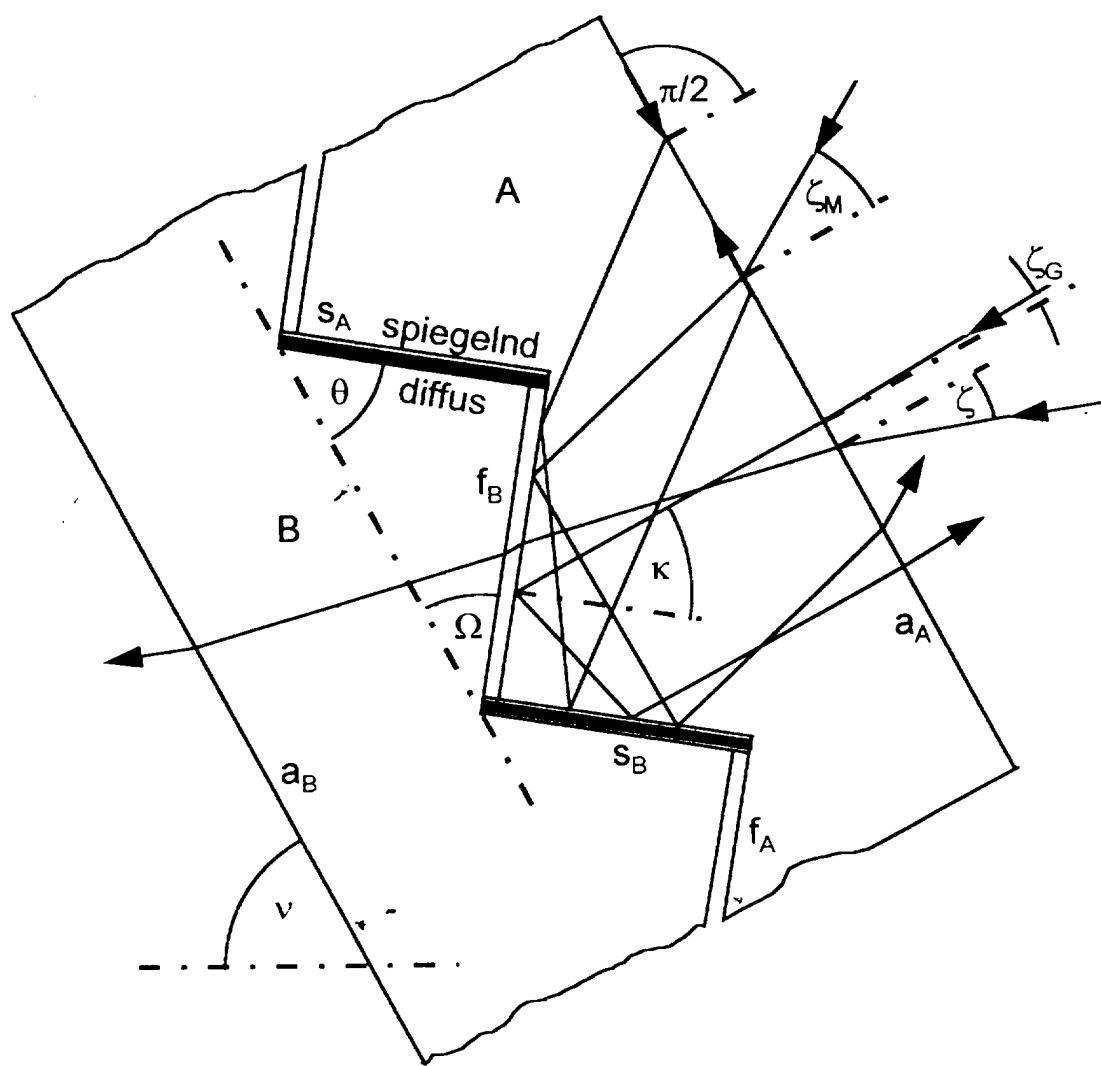


Abb. 12

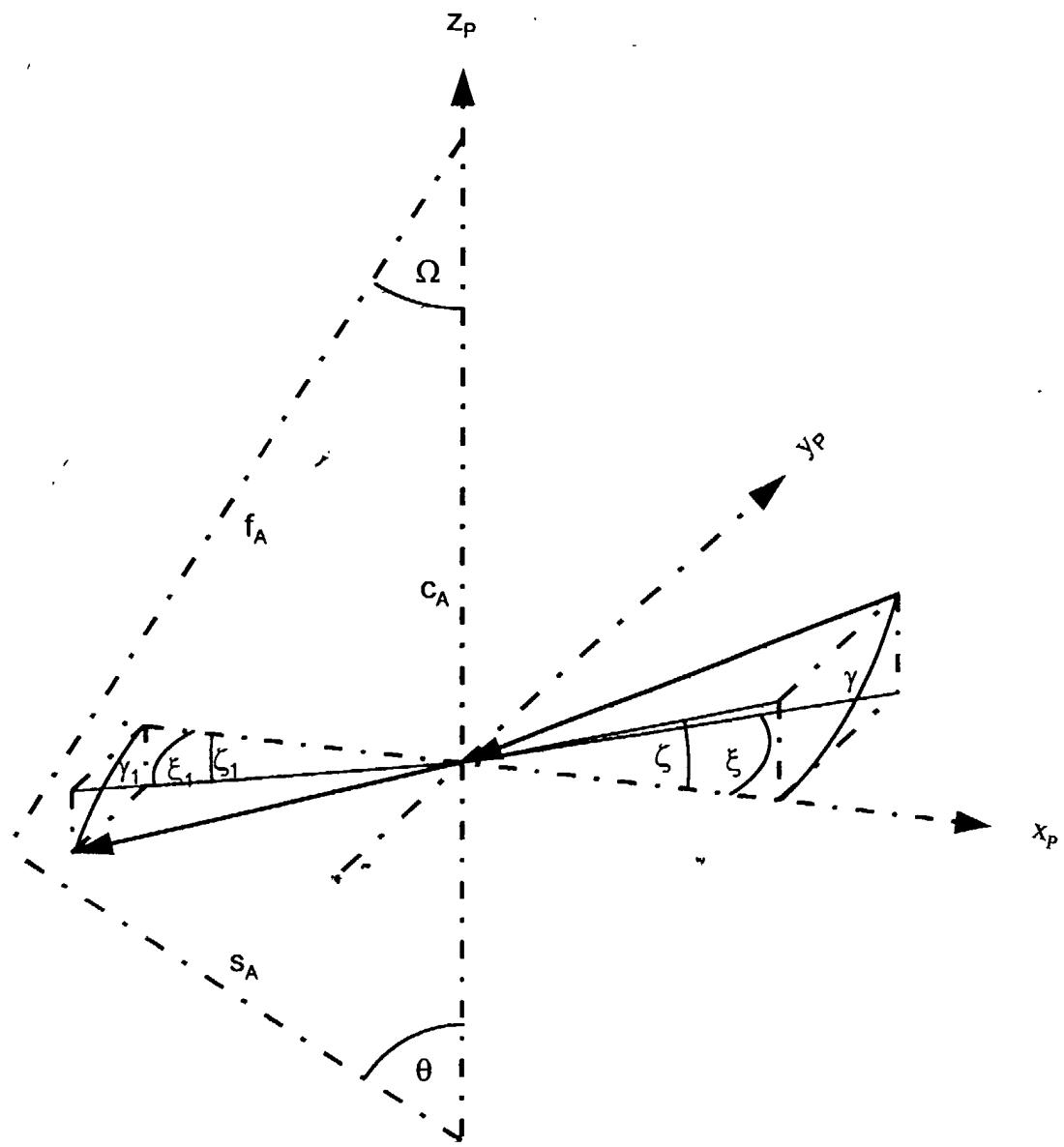


Abb. 13

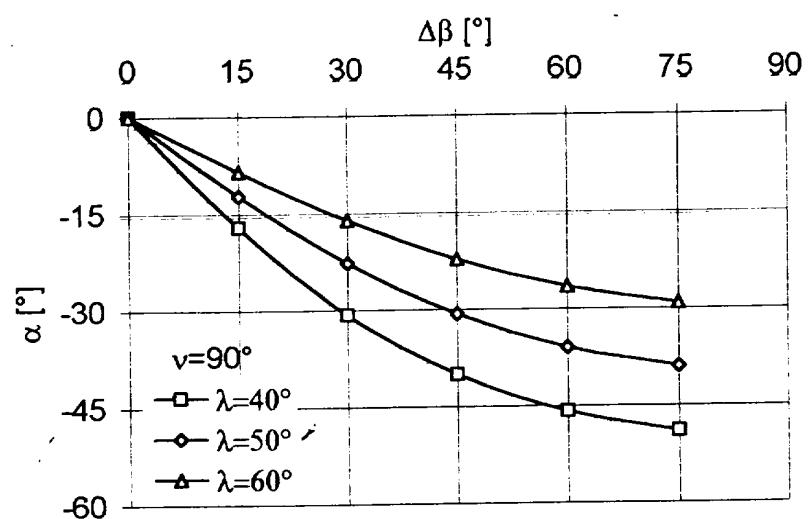


Abb. 14

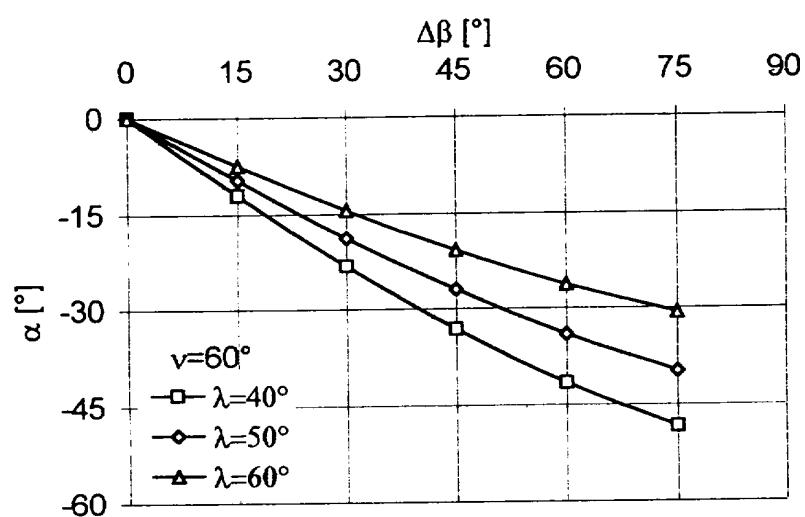


Abb. 15

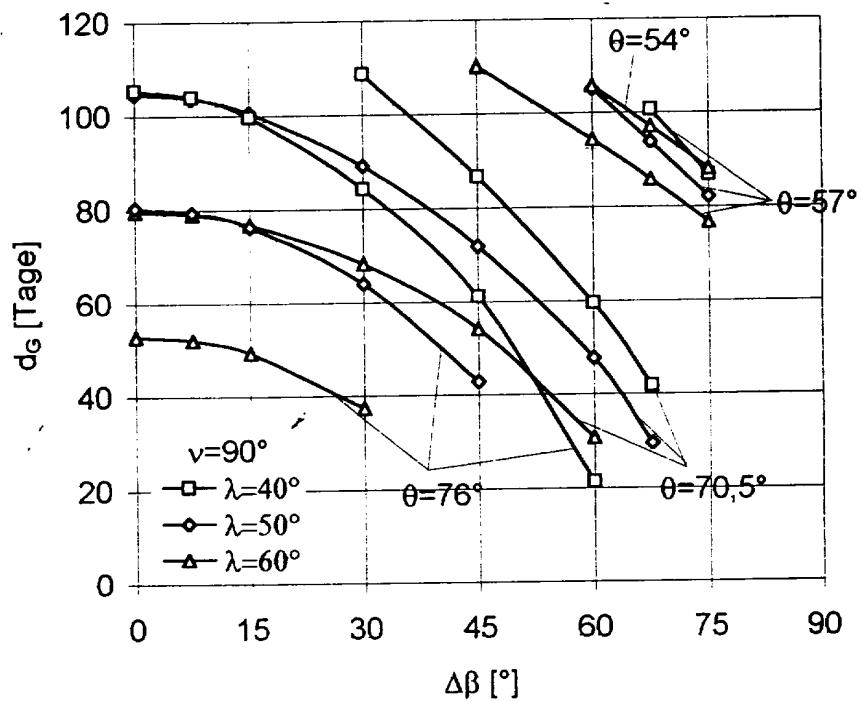


Abb. 16

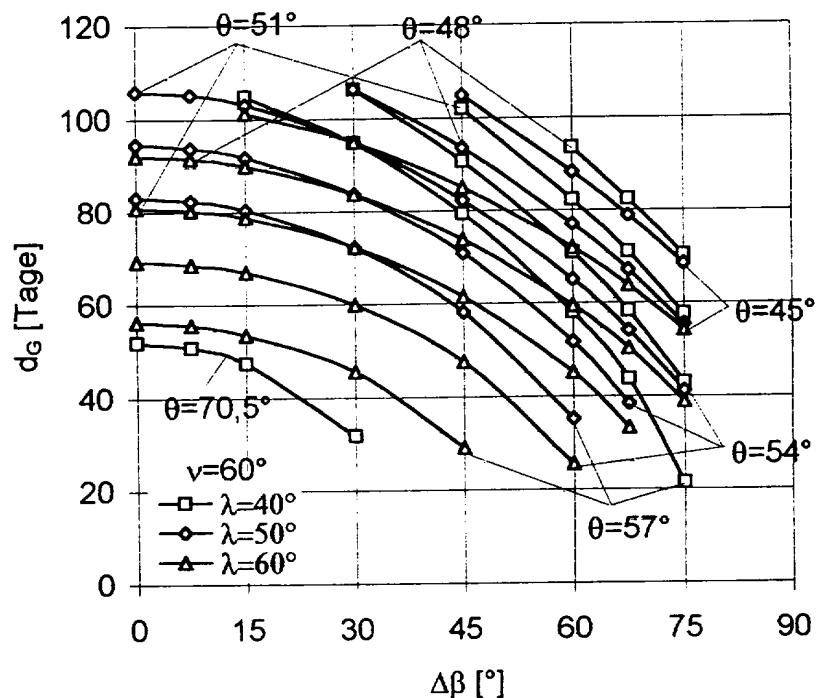


Abb. 17

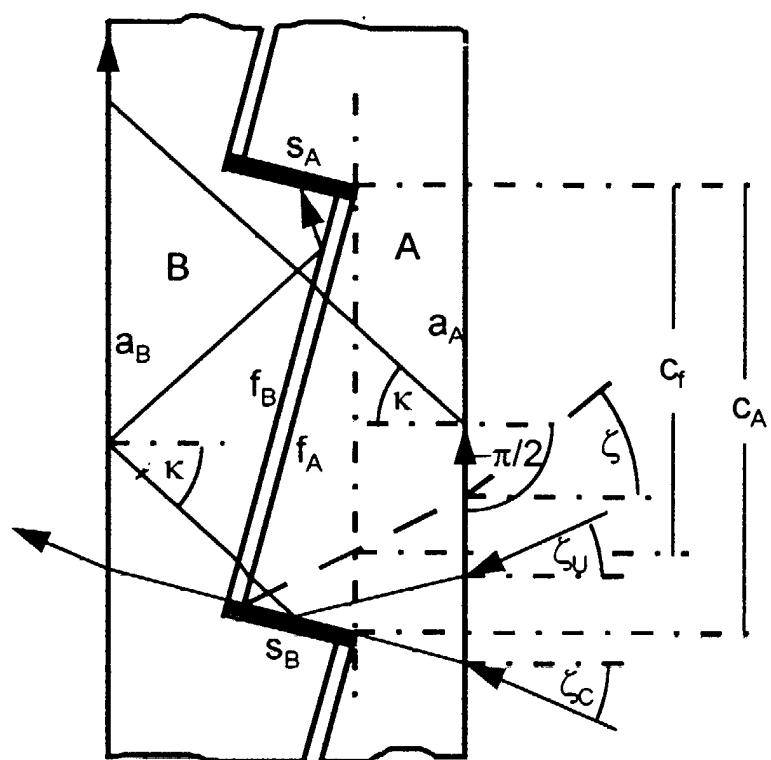


Abb. 18

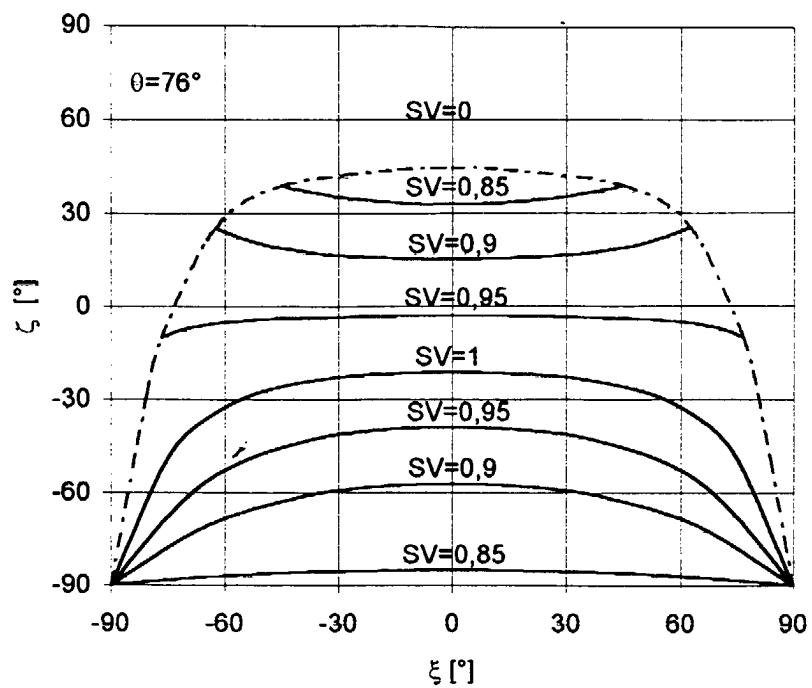


Abb. 19

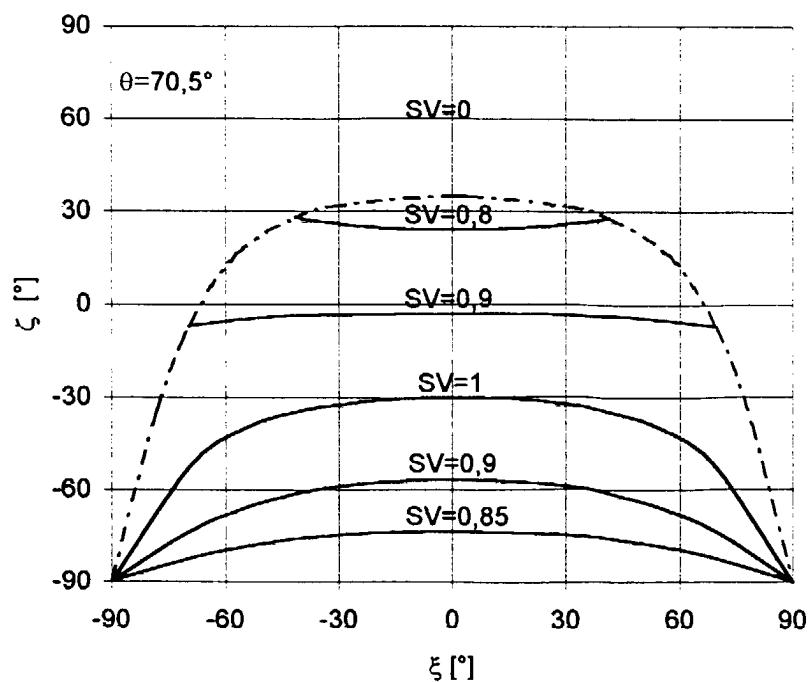


Abb. 20

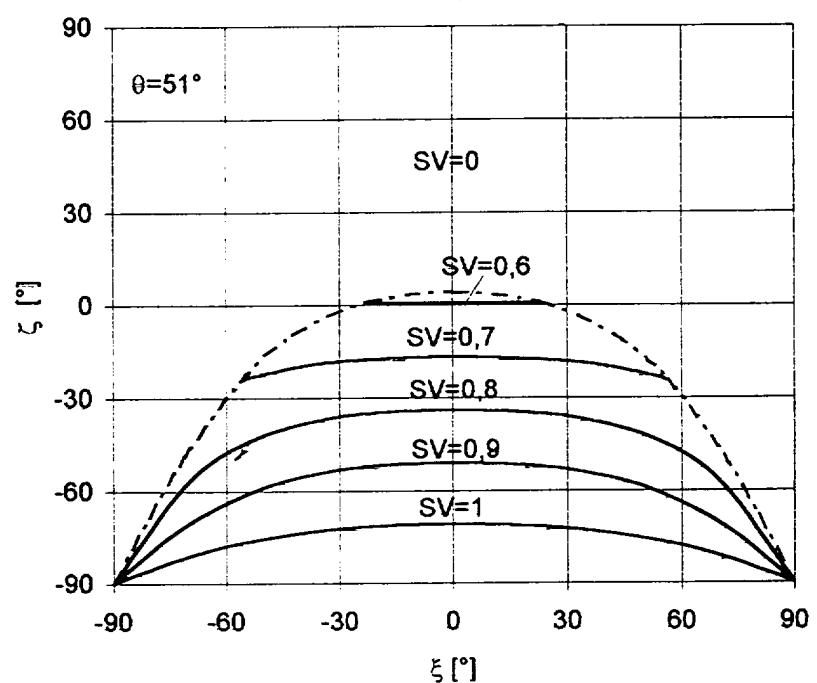


Abb. 21

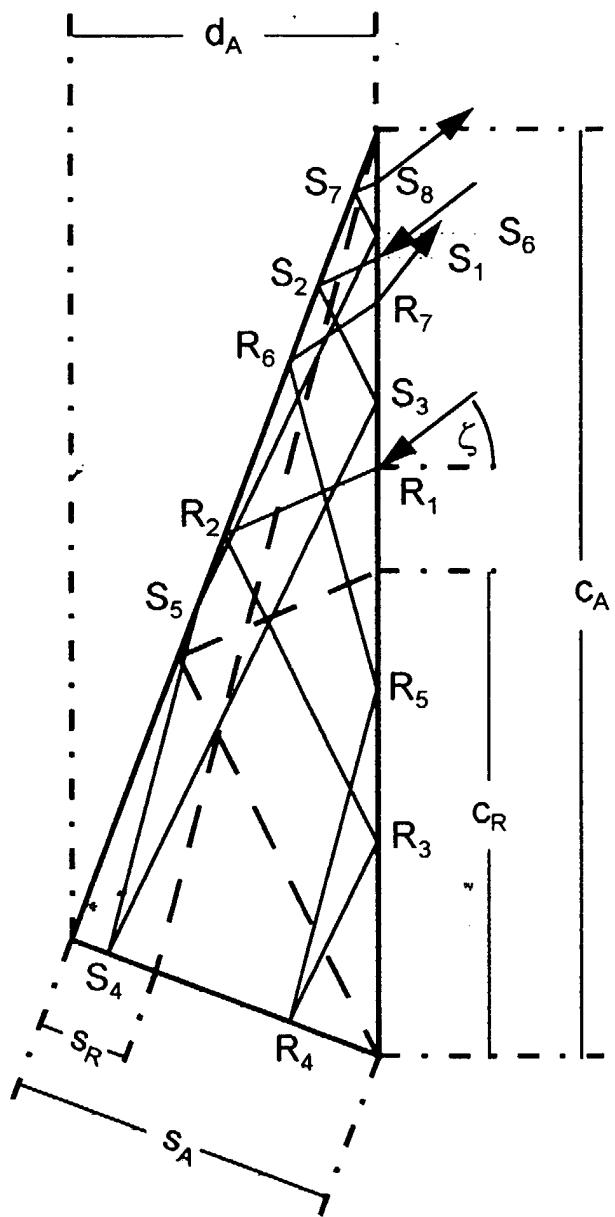


Abb. 22

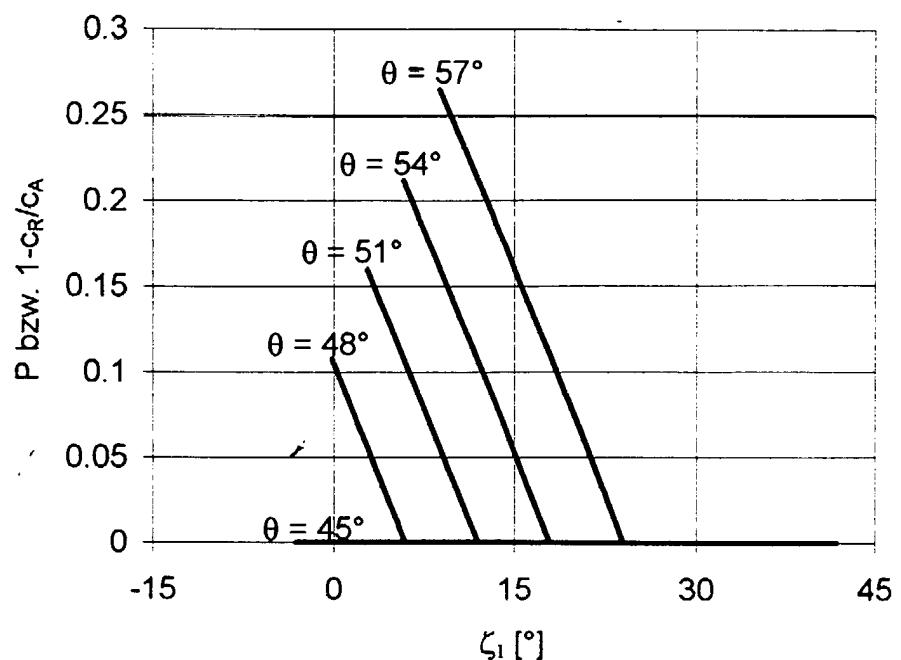


Abb. 23

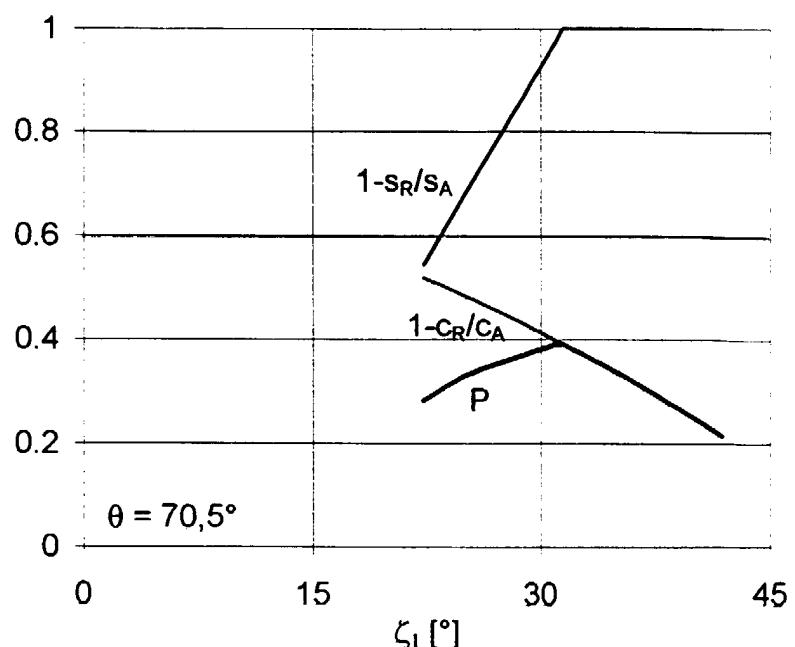


Abb. 24

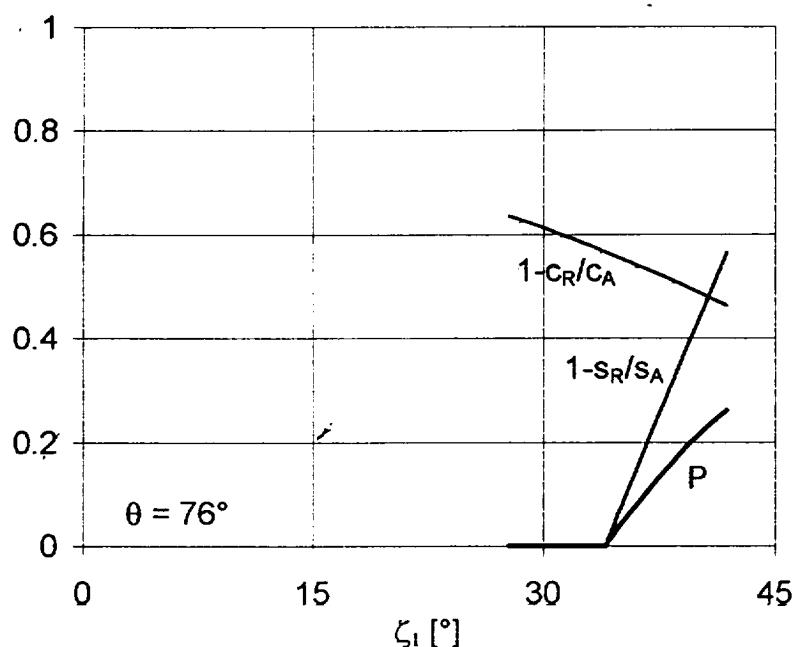


Abb. 25

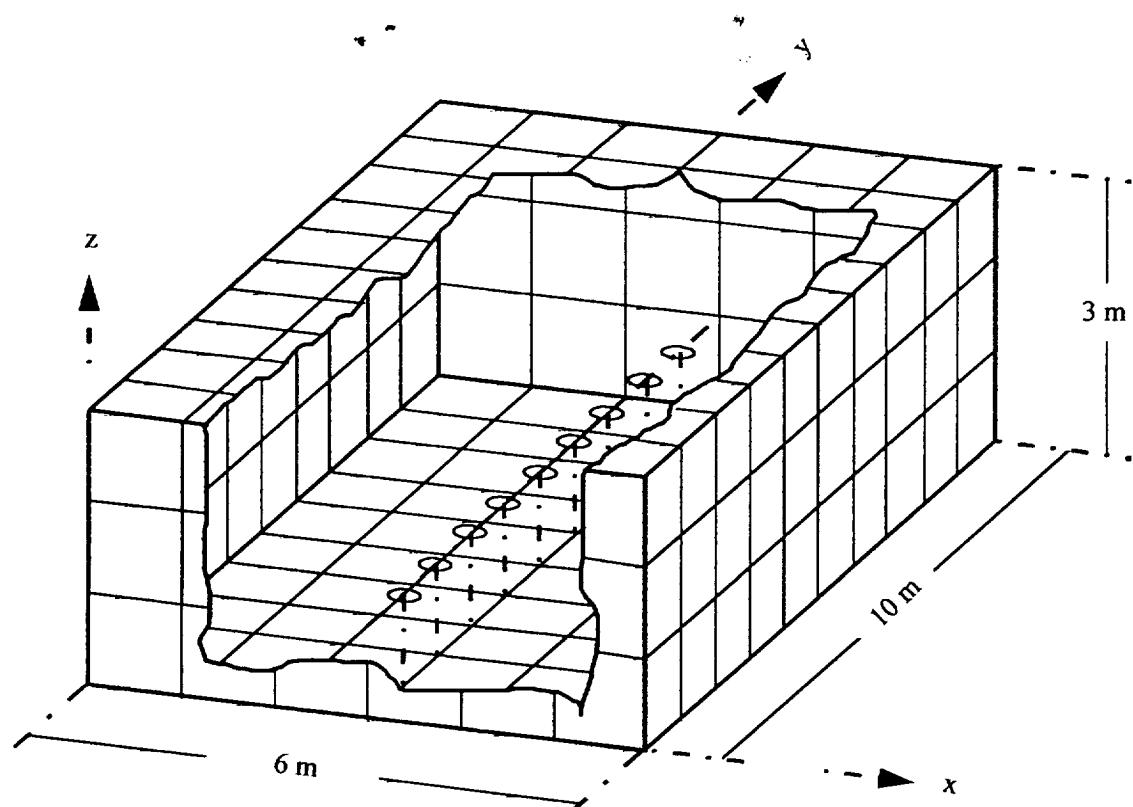


Abb. 26

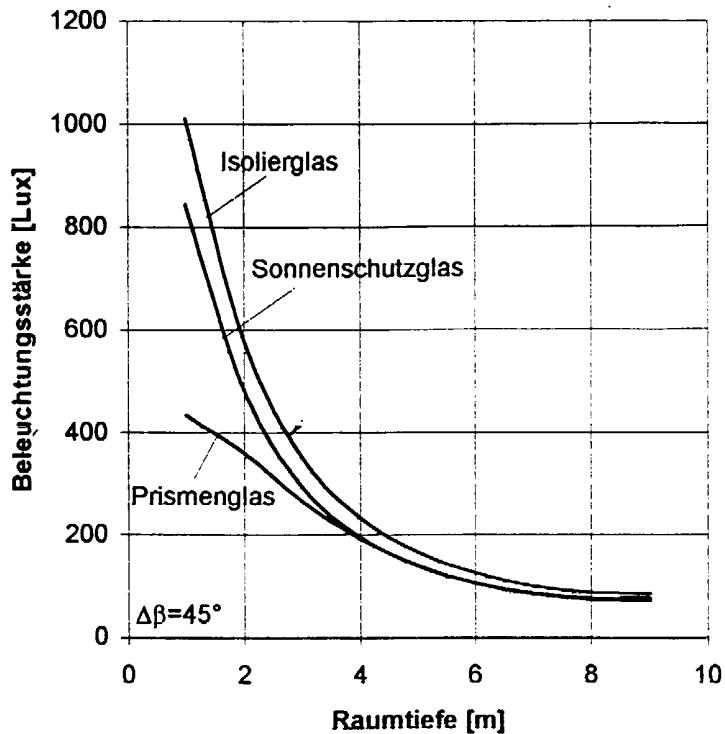


Abb. 27

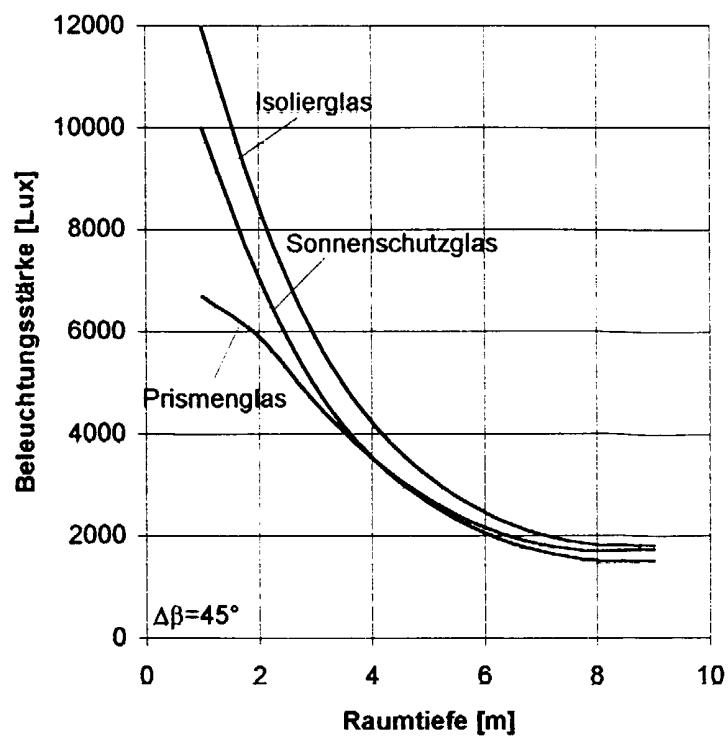


Abb. 28

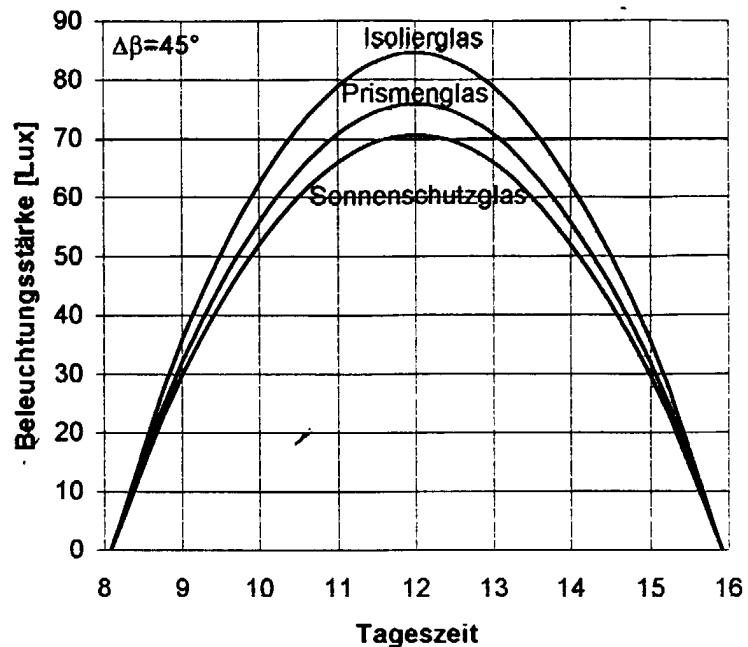


Abb. 29

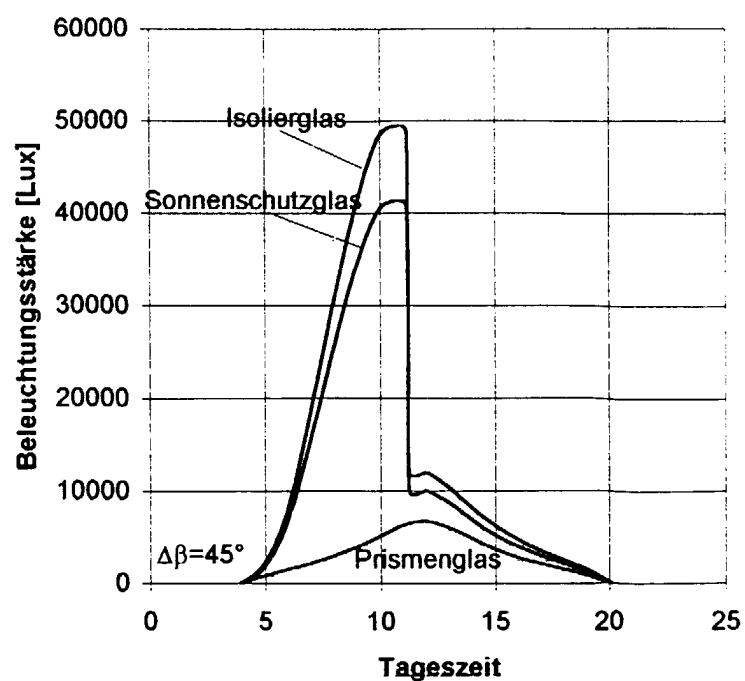


Abb. 30

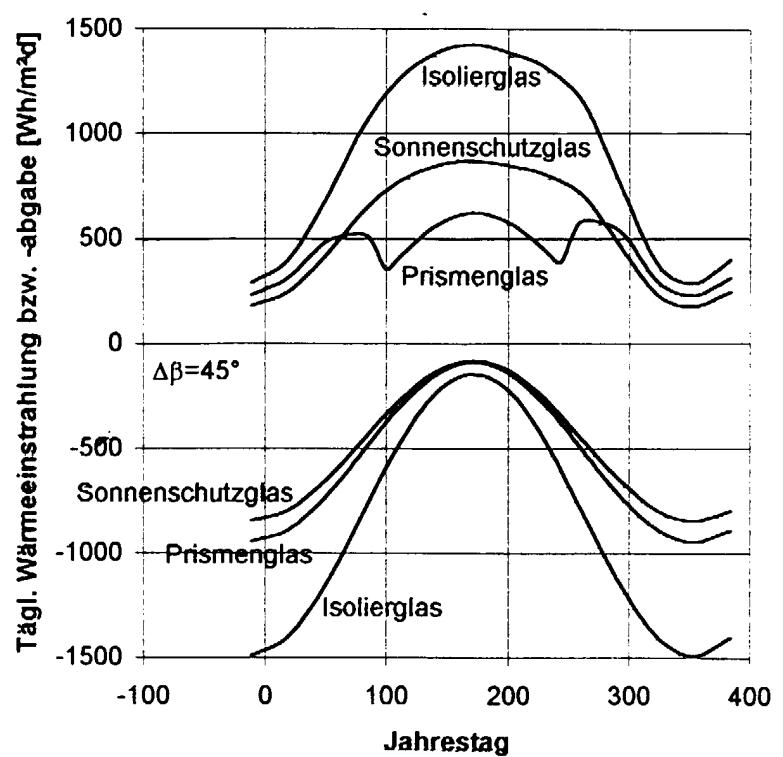


Abb. 31

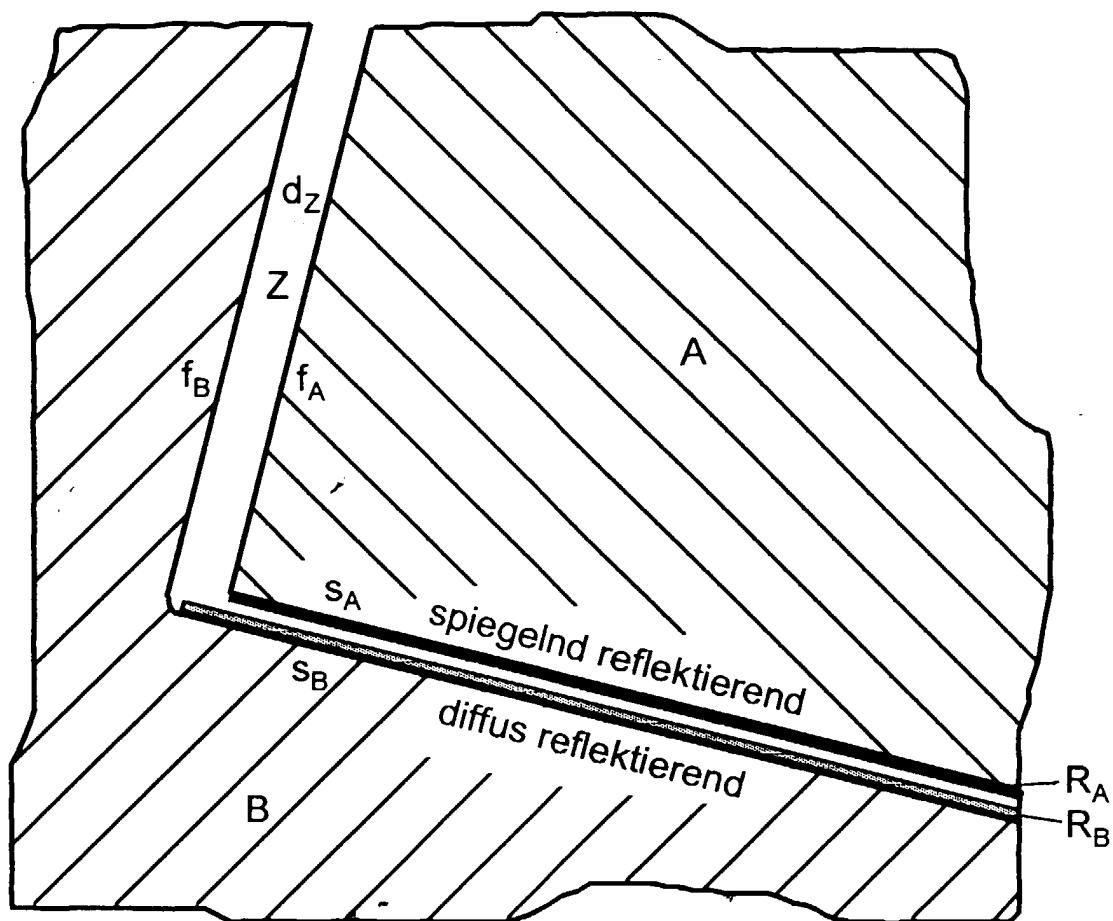


Abb. 32

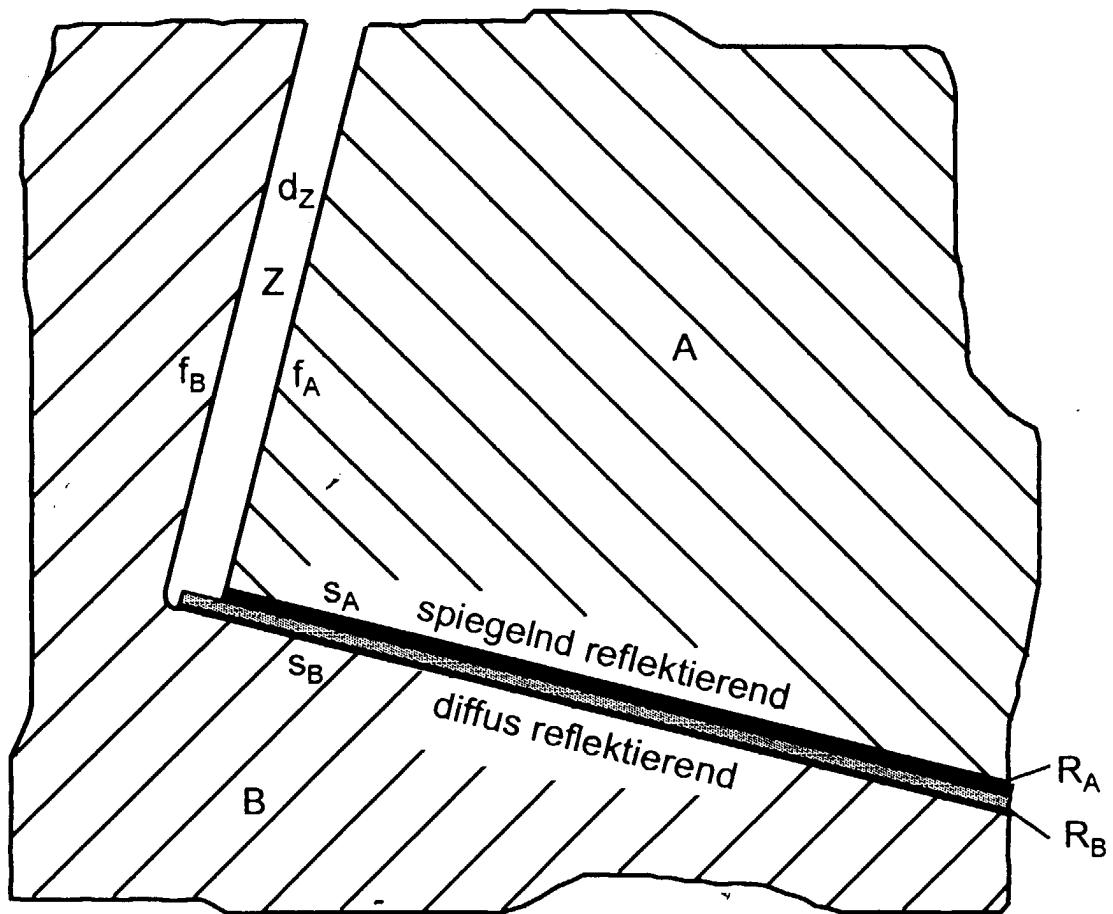


Abb. 33

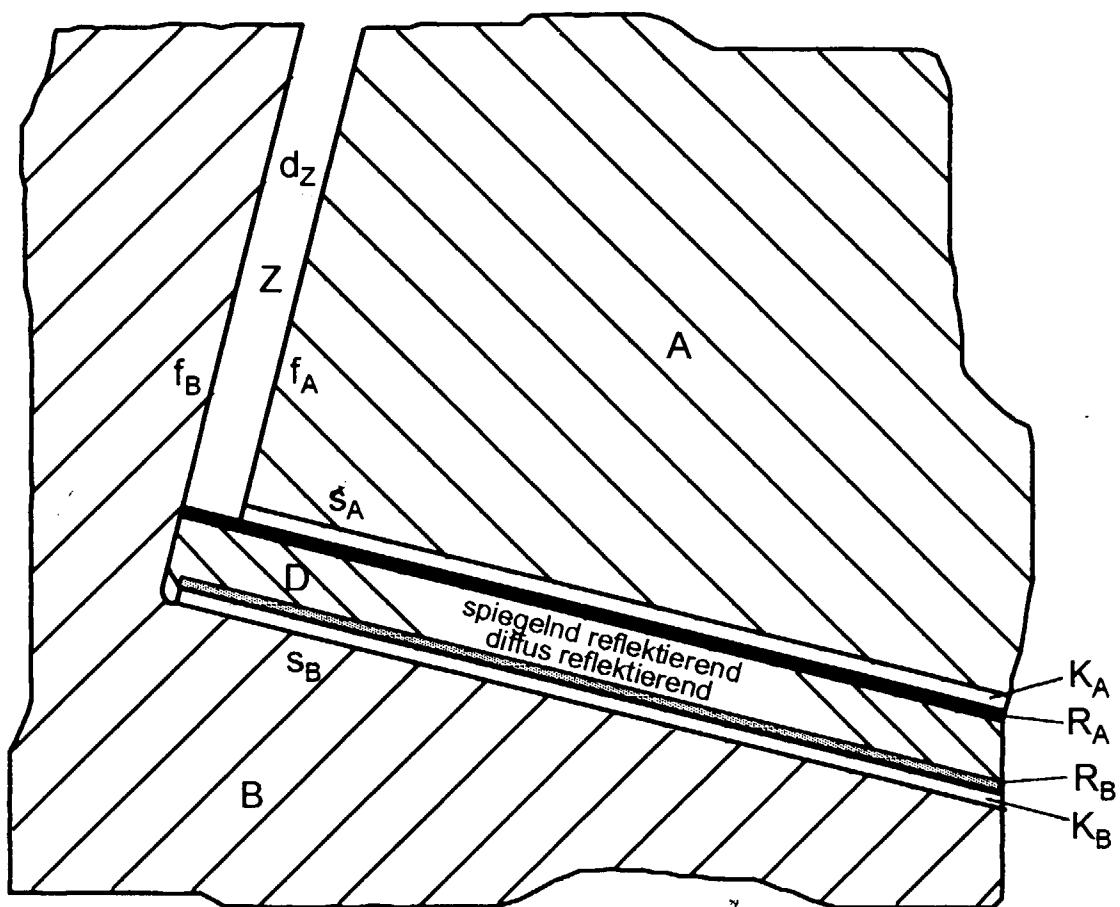


Abb. 34

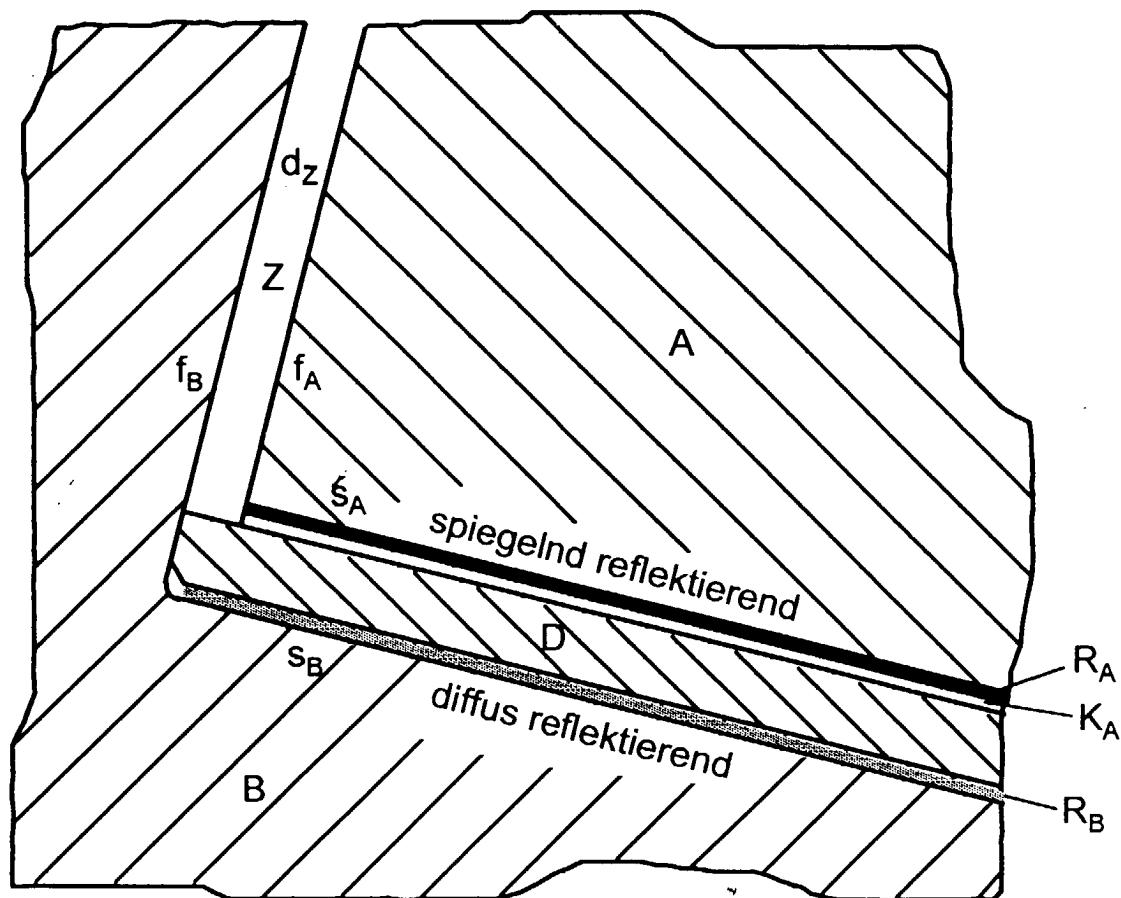


Abb. 35



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 99 11 8004

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	US 3 603 670 A (KIM SANGBONG) 7. September 1971 (1971-09-07) * das ganze Dokument *	1	E06B9/24 F21S11/00
A	US 3 438 699 A (SEEGER BERNARD I) 15. April 1969 (1969-04-15) * das ganze Dokument *	1	
A	DE 195 42 832 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 22. Mai 1997 (1997-05-22) * das ganze Dokument *		
A	US 2 812 692 A (BOYD) 12. November 1957 (1957-11-12) * das ganze Dokument *		
A	US 4 519 675 A (BAR-YONAH YITZCHAK) 28. Mai 1985 (1985-05-28) * das ganze Dokument *		
A	DE 32 26 709 A (SIEMENS AG) 19. Januar 1984 (1984-01-19) * das ganze Dokument *		RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.7)
A	EP 0 823 645 A (LORENZ) 11. Februar 1998 (1998-02-11) * das ganze Dokument *	1	E06B F21S G02B
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p>			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
MÜNCHEN	22. Februar 2000	Knerr, G	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		<p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze            E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmelde datum veröffentlicht worden ist            D : in der Anmeldung angeführtes Dokument            L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument            &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 99 11 8004

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

22-02-2000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 3603670	A	07-09-1971	KEINE		
US 3438699	A	15-04-1969	KEINE		
DE 19542832	A	22-05-1997	WO	9719246 A	29-05-1997
US 2812692	A	12-11-1957	KEINE		
US 4519675	A	28-05-1985	IL AT AU AU CA EP JP JP NZ ZA	65514 A 48183 T 554647 B 1316183 A 1209834 A 0092322 A 2566129 B 58189441 A 203751 A 8302244 A	31-10-1986 15-12-1989 28-08-1986 27-10-1983 19-08-1986 26-10-1983 25-12-1996 05-11-1983 08-08-1986 28-12-1983
DE 3226709	A	19-01-1984	AT AU AU BR WO EP IT JP OA US	13359 T 557402 B 8990782 A 8207886 A 8301122 A 0090830 A 1153738 B 58501518 T 7433 A 4517960 A	15-06-1985 18-12-1986 08-04-1983 18-10-1983 31-03-1983 12-10-1983 14-01-1987 08-09-1983 30-11-1984 21-05-1985
EP 0823645	A	11-02-1998	DE	19631933 A	19-02-1998

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82