



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**19.07.2000 Patentblatt 2000/29**

(51) Int Cl.7: **F21S 2/00**  
// F21W131:406

(21) Anmeldenummer: **99124750.3**

(22) Anmeldetag: **13.12.1999**

(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**

• **Chin, Depu**  
**80805 München (DE)**

(74) Vertreter: **Ebbinghaus, Dieter, Dipl.-Ing. et al**  
**v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano**  
**Mariahilfplatz 2 & 3**  
**81541 München (DE)**

(30) Priorität: **15.01.1999 DE 19901391**

(71) Anmelder: **Dedo Weigert Film GmbH**  
**80807 München (DE)**

Bemerkungen:

Ein Antrag gemäss Regel 88 EPÜ auf Berichtigung liegt vor. Über diesen Antrag wird im Laufe des Verfahrens vor der Prüfungsabteilung eine Entscheidung getroffen werden (Richtlinien für die Prüfung im EPA, A-V, 3.).

(72) Erfinder:  
• **Weigert, Dedo**  
**80333 München (DE)**

(54) **Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel und mit asphärischer Frontlinse**

(57) Ein Scheinwerfer hat einen veränderlichen Abstrahlwinkel, dessen Veränderung anders als durch Abschattung des Strahlenganges mittels Blende oder

Maske hervorgerufen wird. Der Scheinwerfer weist eine im Scheinwerferinneren angeordnete Lichtquelle (4) und eine erste Linse (2), die als Frontlinse ausgebildet ist, auf. Die erste Linse (2) ist eine asphärische Linse.

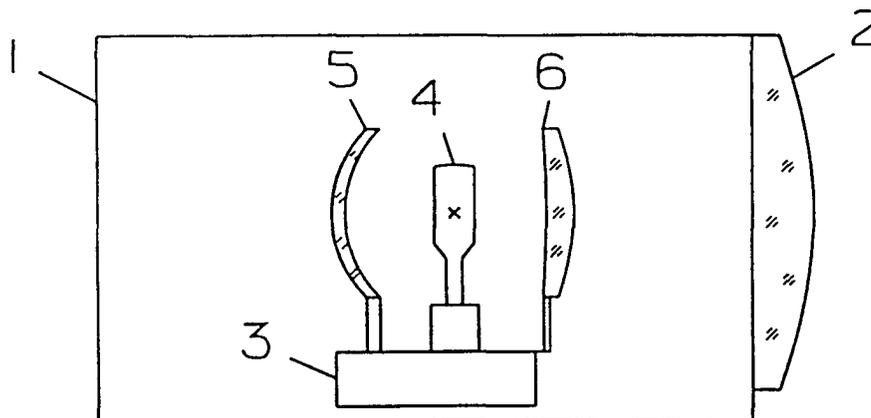


Fig. 1 c

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel, bei dem die Veränderung des Abstrahlwinkels anders als durch Abschattung des Strahlenganges mittels Blende oder Maske hervorgerufen wird, mit einer im Scheinwerferinneren angeordneten Lichtquelle und einer ersten Linse, welche die Frontlinse des Scheinwerfers ist. Zu dieser Klasse von Scheinwerfern gehören nicht Profilprojektoren, bei denen eine geringfügige Veränderung des Abstrahlwinkels als Nebeneffekt bei der Schärfereinstellung der Abbildung auftritt.

**[0002]** Die aus dem Stand der Technik bekannten Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel lassen sich in drei Klassen unterteilen, nämlich Stufenlinsenscheinwerfer, Scheinwerfer mit sehr tiefem Reflektor und Scheinwerfer mit relativ zur Frontlinse beweglicher optischer Einheit aus einer zweiten Linse, einer Lichtquelle und einem Reflektor.

**[0003]** Herkömmliche Stufenlinsenscheinwerfer weisen eine einzige Stufenlinse (Fresnellinse) auf. Als Lichtquelle werden in diesen Stufenlinsenscheinwerfern Glühlampen, Halogenlampen oder Entladungslampen eingesetzt. Die Lichtquelle und ein Reflektor sind in festem Abstand zueinander auf einem Schlitten montiert. Der Schlitten ist relativ zur Fresnellinse beweglich. Die Fokussierung erfolgt mittels der Bewegung des Schlittens. Bei derartigen Stufenlinsenscheinwerfern ergibt sich jedoch für Fokussiereinstellungen kleinen Abstrahlwinkels ein erheblicher effektiver Lichtverlust. Da keine zweite Linse vorhanden ist, die das Licht zur Fresnellinse hin bündelt, wird bei den genannten Fokussiereinstellungen ein großer Teil des von der Lichtquelle ausgesandten Lichts einfach von der Gehäuseinnenwand absorbiert, was zum Lichtverlust und zu nutzloser Gehäuseaufheizung führt.

**[0004]** Scheinwerfer mit sehr tiefem Reflektor sind im allgemeinen so konstruiert, daß Lampe und Reflektor relativ zueinander verschoben werden können, wobei die Lampe jedoch stets innerhalb des Reflektors auf dessen optischer Achse verbleibt. Durch Verändern der Position der Lampe innerhalb des Reflektors wird der Abstrahlwinkel eines solchen Scheinwerfers verändert. Der erreichbare Fokussierweg ist hierbei jedoch gering, so daß der Abstrahlwinkel nur in relativ engen Grenzen variiert werden kann. Derartige Scheinwerfer liefern zwar eine hohe Lichtausbeute, aber eine in fast allen Lampenpositionen ungünstige Lichtverteilung. Ursache für diese im allgemeinen schlechte Lichtverteilung ist, daß die für jeden einzelnen derartigen Scheinwerfer jeweils fest vorgegebene Reflektorform bezüglich der resultierenden Lichtverteilung nur auf jeweils eine einzige Lampenposition optimal abgestimmt sein kann. Durch Fokussierbewegungen der Lampe bzw. des Reflektors ergeben sich ungleichmäßige Lichtverteilungen. Um die Lichtverteilung zu verbessern wird deshalb bei einem derartigen Scheinwerfer häufig eine austauschbare

Frontlinse verwendet. Diese kann eine Mattierung, eine Wabenstruktur oder andere Gestaltungsbesonderheiten, die einer zusätzlichen Fokussierung oder Streuung dienen, aufweisen, wobei bisher in Scheinwerfern mit veränderlichem Abstrahlwinkel allerdings noch niemals asphärische Frontlinsen benutzt wurden. Es ergibt sich bei diesen Scheinwerfern die Notwendigkeit, für unterschiedliche Abstrahlwinkel unterschiedlich modifizierte Frontlinsen zu verwenden. Bei manchen Scheinwerfern mit sehr tiefem Reflektor sind sogar sowohl die Lampe als auch der Reflektor starr in einem Gehäuse montiert, d.h. die Veränderung des Lichtabstrahlwinkels erfolgt in diesem Fall ausschließlich durch das Auswechseln verschiedenartig gestalteter Frontlinsen. Dies bedingt einen relativ hohen Arbeits- und Zeitaufwand zum Wechseln der Frontlinse, wenn ein derartiger Scheinwerfer in einer Situation angewendet wird, in welcher der Abstrahlwinkel oft geändert werden muß.

**[0005]** Gegenüber den eben beschriebenen Scheinwerfern wesentlich verbesserte Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel sind die Scheinwerfer der dritten Gruppe entsprechend der oben vorgenommenen Klassifizierung. Hierzu gehörende Scheinwerfer sind aus der US-A-4 823 243 und der EP-A-0 846 913 bekannt. Sie weisen eine Lichtquelle, einen der Lichtquelle zugeordneten Reflektor, eine in Abstrahlrichtung der Lichtquelle-Reflektor-Kombination im Strahlengang angeordnete erste Sammellinse (Frontlinse) und eine im Strahlengang zwischen der Lichtquelle und der ersten Sammellinse angeordnete zweite Sammellinse auf. Der Reflektor, die Lichtquelle und die zweite Sammellinse sind als eine relativ zur ersten Sammellinse längs der optischen Achse des Scheinwerfers bewegliche optische Einheit montiert. Innerhalb der optischen Einheit ist gemäß der US-A-4 823 243 der Abstand zwischen der Lichtquelle und der zweiten Sammellinse veränderbar. Handelsüblich sind auch ganz ähnliche Scheinwerfer, bei denen allerdings die gegenseitigen Abstände zwischen dem Reflektor, der Lichtquelle und der zweiten Sammellinse nicht verändert werden können. Bei den letztgenannten Scheinwerfern kann die optische Einheit nur als starres Ganzes verschoben werden. Im Gegensatz dazu läßt sich bei dem aus der EP-A-0 846 913 bekannten Scheinwerfer innerhalb der relativ zur ersten Sammellinse verschiebbaren optischen Einheit sowohl der Abstand zwischen der Lichtquelle und der zweiten Sammellinse, als auch der Abstand zwischen der Lichtquelle und dem Reflektor verändern. Alle in diesem Absatz beschriebenen Scheinwerfer haben jedoch gemeinsam, daß die Frontlinse eine sphärische Linse ist.

**[0006]** Die im vorangegangenen Absatz genannten Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel, von denen einer schematisch in Fig. 5 dargestellt ist, liefern einen großen Veränderungsbereich des Abstrahlwinkels (siehe Fig. 6a, 6b) und haben eine hohe Effizienz der erzielten Beleuchtungsstärke in bezug auf die zum Betrieb des Scheinwerfers benötigte Energie. Ferner

bieten sie eine außerordentlich gleichmäßige Lichtverteilung. Außerdem ist bei diesen Scheinwerfern ein nach traditionellem Konzept definiertes Streulicht (Lichtintensität  $\leq 50\%$  der maximalen Lichtintensität) aufgrund der steilen Flanken der Lichtintensität am Rande des ausgeleuchteten Bereichs nicht mehr vorhanden. Wie man aus Fig. 6a, 6b ersehen kann, weist die Beleuchtungsstärkekennlinie eines ausgeleuchteten Feldes zwar am Rande kleine Intensitätserhöhungen auf, deren Größe von der Stellung der optischen Einheit abhängt, jedoch ist die Lichtintensität über den gesamten ausgeleuchteten Bereich im wesentlichen konstant. Die Intensitätserhöhungen am Rand treten in der Spotstellung nicht auf. Sie erscheinen erst bei der Bewegung des Scheinwerfers aus der Spotstellung heraus und nehmen dann in ihrer Größe kontinuierlich zu, bis eine kritische Abstrahlwinkelseinstellung zwischen Spotstellung und Flutstellung erreicht wird, in der die Größe der Intensitätserhöhungen am Rand maximal ist. Bei weiterer Bewegung des Scheinwerfers in Richtung auf die Flutstellung zu nimmt die Größe der Intensitätserhöhungen am Rand wieder kontinuierlich ab.

**[0007]** Versieht man eine Fläche der zweiten Linse mit einer Narbung derart, daß eine Mikrolinsenstruktur auf der genarbten Fläche entsteht, so werden die in der Beleuchtungsstärkekennlinie am Rand auftretenden Intensitätserhöhungen zwar gedämpft, sie verschwinden jedoch nicht völlig. Außerdem wird hierbei die Verringerung der Intensitätserhöhungen am Rand durch erhöhte Streueffekte und Lichtverlust erkauf.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen Scheinwerfer bereitzustellen, der im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik bekannten derartigen Scheinwerfern eine gleichmäßigere Lichtverteilung, vor allem in den Abstrahlwinkelseinstellungen außerhalb der Spotstellung, liefert.

**[0009]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch einen Scheinwerfer nach Anspruch 1.

**[0010]** Die Verwendung einer asphärischen Linse als erste Linse, also als Frontlinse des gattungsgemäßen Scheinwerfers, gewährleistet eine im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik bekannten derartigen Scheinwerfern gleichmäßigere Lichtverteilung außerhalb der Spotstellung.

**[0011]** Unter dem Begriff "asphärische Linsen" versteht man Linsen, bei denen mindestens eine Teiloberfläche nicht sphärisch ausgeführt ist, wobei Planflächen hier stets zu den sphärischen Flächen gerechnet werden. Beispiele für asphärische Linsen sind Linsen mit einer ellipsoiden und einer sphärischen Fläche und Linsen mit einer sphärischen Fläche und einer hyperbolischen Fläche. Auch Fresnellinsen mit asphärisch gestalteten Teilflächen sind asphärische Linsen im Sinne der obigen Definition.

**[0012]** Vorteilhafte und bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Scheinwerfers sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 28.

**[0013]** Bei der Ausführungsform des erfindungsge-

mäßen Scheinwerfers nach Anspruch 14 werden die nach dem Stand der Technik vorhandenen Rand-Intensitätserhöhungen der Lichtverteilung vollständig geglättet, und es ergibt sich bei hoher Variabilität des Abstrahlwinkels eine besonders gleichmäßige Ausleuchtung des angestrahlten Bereichs unabhängig von der gewählten Abstrahlwinkelseinstellung.

**[0014]** Die Narbung gemäß Anspruch 15 braucht bei dem erfindungsgemäßen Scheinwerfer nicht so tief ausgeführt zu werden, wie die aus dem Stand der Technik üblicherweise bekannte Narbung der zweiten Linse. Auf diese Weise ergibt sich ein geringerer Lichtverlust und, wichtig vor allem in der Spotstellung, eine höhere Lichtintensität bei gleicher eingespeister Leistung.

**[0015]** Bei der besonders bevorzugten Ausführungsform nach Anspruch 17 wird, verglichen mit einer als sphärische Linse ausgebildeten zweiten Linse, in der Spotstellung die Lichtausbeute bei gleicher eingespeister Leistung vergrößert.

**[0016]** Eine besonders gleichmäßige Lichtverteilung erhält man bei den Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Scheinwerfers gemäß den Ansprüchen 8, 11, 22 und 25.

**[0017]** Bei der Ausführungsform des erfindungsgemäßen Scheinwerfers nach Anspruch 27 ist gewährleistet, daß der Scheinwerfer auch alle Vorteile des aus der US-A-4 823 243 bekannten Scheinwerfers aufweist.

**[0018]** Bei der Ausführungsform des erfindungsgemäßen Scheinwerfers nach Anspruch 28 in Rückbeziehung auf Anspruch 27 ist gewährleistet, daß der Scheinwerfer auch alle Vorteile des aus der EP-A-0 846 913 bekannten Scheinwerfers, insbesondere die sehr große Variabilität des Abstrahlwinkels und der Lichtintensität, aufweist.

**[0019]** Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Scheinwerfers werden nachfolgend anhand von Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a-1e schematisch einen Querschnitt einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Scheinwerfers bei Bewegung einer aus Lichtquelle, Reflektor und zweiter Linse bestehenden optischen Einheit aus einer dichtmöglichst an einer ersten Linse befindlichen Position in eine weitmöglichst von der ersten Linse entfernte Position,

Fig. 2a-2e schematisch einen Querschnitt einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Scheinwerfers bei Bewegung der aus Lichtquelle, Reflektor und zweiter Linse bestehenden optischen Einheit aus der dichtmöglichst an der ersten Linse befindlichen Position in die weitmöglichst von der ersten Linse entfernte Position,

Fig. 3a-3f schematisch einen Querschnitt einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Scheinwerfers bei Bewegung der aus Lichtquelle, Reflektor und zweiter Linse bestehenden optischen Einheit aus der dichtmöglichst an der ersten Linse befindlichen Position in die weitmöglichst von der ersten Linse entfernte Position,

Fig. 4a-4c schematisch einen Querschnitt einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Scheinwerfers bei Bewegung der aus Lichtquelle, Reflektor und zweiter Linse bestehenden optischen Einheit aus der dichtmöglichst an der ersten Linse befindlichen Position in die weitmöglichst von der ersten Linse entfernte Position,

Fig. 5 schematisch einen Querschnitt eines aus dem Stand der Technik bekannten Scheinwerfers mit veränderlichem Abstrahlwinkel und sphärischer Frontlinse,

Fig. 6a Lichtverteilungskennlinien des Scheinwerfers von Fig. 5 für verschiedene Abstrahlwinkleinstellungen,

Fig. 6b schematisch einen von dem Scheinwerfer von Fig. 5 beleuchteten Bereich in kritischer Abstrahlwinkleinstellung zwischen Spotstellung und Flutstellung des Scheinwerfers,

Fig. 7a Lichtverteilungskennlinien des erfindungsgemäßen Scheinwerfers aus Fig. 3a bis 3f für verschiedene Abstrahlwinkleinstellungen,

Fig. 7b schematisch einen von dem erfindungsgemäßen Scheinwerfer aus Fig. 3a bis 3f beleuchteten Bereich bei kritischer Abstrahlwinkleinstellung zwischen Spotstellung und Flutstellung des Scheinwerfers und

Fig. 8 schematisch ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers mit eingezeichnetem Koordinatensystem.

**[0020]** In Fig. 1a ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers im Querschnitt dargestellt. Der Scheinwerfer weist ein becherartiges, undurchsichtiges Gehäuse 1 auf, in das an der Lichtaustrittsseite als Frontlinse des Scheinwerfers eine erste Sammellinse 2 eingesetzt ist. Die in Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gewandte Oberfläche der ersten

Sammellinse 2 ist rotationssymmetrisch und hat im Meridionalschnitt die Form eines Hyperbelabschnitts, wobei der Scheitel der Hyperbel auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Hyperbel genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -1,5$  und  $r = 52$  mm

( $k$  - Kegelschnittkonstante;  $r$  - Scheitelkrümmungsradius)

Das zugrundeliegende Koordinatensystem ist aus Fig. 8 ersichtlich.

**[0021]** Die ins Scheinwerferinnere gewandte Oberfläche der ersten Sammellinse 2 ist eine Planfläche. Sie kann jedoch auch konkav gekrümmt ausgeführt werden. Dies gilt prinzipiell für alle im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Scheinwerfers.

**[0022]** Innerhalb des Gehäuses 1 sind auf einem Schlitten 3 eine Lichtquelle 4, die durch eine Glühfadlampe mit kleiner Wendel gebildet wird, und ein der Lichtquelle 4 zugeordneter Reflektor 5 angeordnet. Die Lichtquelle 4 und der Reflektor 5 sind so montiert, daß der resultierende Lichtstrahlengang in Richtung der ersten Sammellinse 2 gerichtet ist. Außerdem ist auf dem Schlitten 3 im Strahlengang zwischen der Lichtquelle 4 und der ersten Sammellinse 2 eine zweite Sammellinse 6 angeordnet. In der dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Scheinwerfers ist die zweite Sammellinse 6 eine Meniskuslinse, deren zur ersten Sammellinse 2 hin gewandte Oberfläche genarbt ist.

**[0023]** Die zweite Sammellinse 6 ist bezüglich ihrer optischen Achse rotationssymmetrisch. Die von der Lichtquelle 4 abgewandte, genarbte Oberfläche der zweiten Sammellinse 6 hat im Meridionalschnitt die Form eines Hyperbelabschnitts, wobei der Scheitelpunkt der Hyperbel auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Hyperbel genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -1,1$  und  $r = 24$  mm.

**[0024]** Die Lichtquelle 4, der Reflektor 5 und die zweite Sammellinse 6 sind so montiert, daß sowohl der Abstand zwischen der Lichtquelle 4 und der zweiten Sammellinse 6 als auch der Abstand zwischen der Lichtquelle 4 und dem Reflektor 5 verändert werden kann.

**[0025]** Es ist ferner möglich, auch bei der ersten Sammellinse 2 eine Linsenfläche mit einer Narbung zu versehen, so daß eine Mikrolinsenstruktur entsteht. Durch diese Maßnahme wird eine besonders gute Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung erreicht.

**[0026]** Fig. 1a zeigt die Lichtquelle 4, den Reflektor 5

und die zweite Sammellinse 6 in einer Stellung maximalen Abstrahlwinkels des erfindungsgemäßen Scheinwerfers. Der Abstand zwischen der ersten Sammellinse 2 und der zweiten Sammellinse 6 sowie der Abstand zwischen der zweiten Sammellinse 6 und der Lichtquelle 4 sind entsprechend den Scheinwerferdimensionen minimal, und der Abstand zwischen der Lichtquelle 4 und dem Reflektor 5 ist der entsprechend den Montagegegebenheiten maximale Abstand.

**[0027]** Um den Abstrahlwinkel zu verkleinern, wird der Schlitten 3 in Richtung von der ersten Sammellinse 2 weg bewegt. Dabei ist die Mechanik des Schlittens und mit ihm zusammenwirkender Führungsteile so ausgelegt, daß die zweite Sammellinse 6 zunächst in ihrer ursprünglichen Position verbleibt und sich nur die Lichtquelle 4 und der Reflektor 5 unter Beibehaltung ihres ursprünglichen gegenseitigen Abstandes in Richtung von der ersten Sammellinse 2 weg bewegen. Diese Art der Bewegung dauert so lange an, bis der Abstand zwischen der Lichtquelle 4 und der zweiten Sammellinse 6 einen vorbestimmten Wert erreicht hat. Fig. 1b zeigt das optische System des erfindungsgemäßen Scheinwerfers in eben dieser Position.

**[0028]** Bei weiterer Bewegung des Schlittens 3 in Richtung von der ersten Sammellinse 2 weg verändert sich, wie in Fig. 1c dargestellt, zunächst weder der Abstand zwischen der Lichtquelle 4 und dem Reflektor 5 noch der erreichte Abstand zwischen der Lichtquelle 4 und der zweiten Sammellinse 6. Je weiter sich die Lichtquelle 4 und der Reflektor 5 und die zweite Sammellinse 6 von der ersten Sammellinse 2 weg bewegen, um so kleiner wird der Abstrahlwinkel und um so größer wird die Beleuchtungsstärke auf dem ausgeleuchteten Feld.

**[0029]** Schließlich erreicht der Reflektor 5 einen entsprechend den Scheinwerferdimensionen äußersten Abstand zur ersten Sammellinse 2 und hält in seiner Bewegung inne (siehe Fig. 1d). Dies ist die Stellung, bei welcher der aus der US-A-4 823 243 bekannte Scheinwerfer seinen minimalen Abstrahlwinkel und seine maximale Beleuchtungsstärke erreicht.

**[0030]** Auf dem Weg von der in Fig. 1a dargestellten Anfangsposition bis zu der in Fig. 1d dargestellten Position durchläuft der Scheinwerfer eine kritische Abstrahlwinkleinstellung, bei welcher der aus der US-A-4 823 243 bekannte Scheinwerfer in seiner Lichtverteilungskennlinie heller ausgeleuchtete Ränder zeigt (siehe Fig. 6a, 6b). Der erfindungsgemäße Scheinwerfer mit der asphärischen Frontlinse 2 dagegen zeigt jedoch in allen Abstrahlwinkleinstellungen, insbesondere auch in der nach dem Stand der Technik kritischen Abstrahlwinkleinstellung, eine sehr gleichmäßige Lichtverteilungskennlinie. Eine solche wird mit Bezug auf Fig. 7a und 7b anhand eines anderen Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Scheinwerfers weiter unten genauer erläutert.

**[0031]** Von der mechanischen Beweglichkeit seiner einzelnen Teile her entspricht der in den Fig. 1a bis le dargestellte erfindungsgemäße Scheinwerfer dem in

der EP-A-0 846 913 dargestellten Scheinwerfer. D. h., es ist möglich, ausgehend von der in Fig. 1d dargestellten Scheinwerferposition, die Lichtquelle und die zweite Sammellinse 6 unter Beibehaltung ihres erreichten gegenseitigen Abstandes bei stillstehendem Reflektor 5 noch weiter von der ersten Sammellinse 2 weg und somit dichter an den Reflektor 5 heranzuführen (siehe Fig. 1e).

**[0032]** In den Fig. 2a bis 2e ist ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers dargestellt. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel ist die in Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gerichtete Oberfläche der ersten Sammellinse 2 bezüglich ihrer optischen Achse rotationssymmetrisch, und die ins Scheinwerferinnere gerichtete Oberfläche der ersten Sammellinse 2 ist ein Planfläche. Der Unterschied zu dem in den Fig. 1a bis le dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers hinsichtlich der ersten Sammellinse 2 besteht darin, daß die in die Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gewandte Oberfläche der ersten Sammellinse 2 die Form eines Ellipsenabschnitts hat, wobei die kleine Achse der Ellipse auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Ellipse genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -0,6$  und  $r = 52$  mm.

**[0033]** Auch bei dem in den Figuren 2a bis 2e dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers ist die zweite Sammellinse 6 eine Meniskuslinse. Die von der Lichtquelle 4 abgewandte Oberfläche der zweiten Sammellinse 6 ist bezüglich ihrer optischen Achse rotationssymmetrisch und hat im Meridionalschnitt die Form eines Ellipsenabschnitts, wobei die kleine Achse der Ellipse auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Ellipse genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -0,6$  und  $r = 24$  mm.

**[0034]** Hinsichtlich der mechanischen Beweglichkeit der einzelnen Teile entspricht das in den Fig. 2a bis 2e dargestellte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers im wesentlichen dem in den Fig. 1a bis le gezeigten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers. Der einzige Unterschied besteht darin, daß, wenn der Reflektor 5 seinen entsprechend den Scheinwerferdimensionen äußersten Abstand zur ersten Sammellinse 2 erreicht hat, bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figuren 2a bis 2e auch die zweite Sammellinse 6 nicht weiter von der ersten Sammellinse 2 wegbewegt werden kann. In diesem Falle wird nur die

Lichtquelle 4 unter Beibehaltung des gegenseitigen maximalen Abstandes zwischen zweiter Sammellinse 6 und Reflektor 5 weiter an den Reflektor 5 herangeführt, sobald der Reflektor 5 und die zweite Sammellinse 6 ihre in dieser Ausführungsform größtmögliche Entfernung von der ersten Sammellinse 2 erreicht haben (siehe Fig. 2e). Die Vorteile einer solchen mechanischen Ausführung sind in der EP-A-0 846 913 ausführlich beschrieben. Gleiches gilt für die zu dem oben beschriebenen Bewegungsablauf entgegengesetzte Bewegung der Lichtquelle 4, des Reflektors 5 und der zweiten Sammellinse 6 in Richtung auf die erste Sammellinse 2. Es erfolgt praktisch nur eine einfache Umkehrung des Bewegungsablaufs. Bezüglich einer genauen Beschreibung sei auf die EP-A-0 846 913 verwiesen.

**[0035]** Neben mechanischen Schlittensystemen, die die oben beschriebenen Bewegungsabläufe ermöglichen, gibt es in anderen Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Scheinwerfers Schlittensysteme, die leicht modifizierte Bewegungen hervorrufen. So bleibt z.B. bei einer Ausführungsform die zweite Sammellinse 6 im hinteren Abschnitt der Fortbewegung des Schlittens 3 von der ersten Sammellinse 2 nicht schlagartig stehen, sondern es wird bei konstanter Relativgeschwindigkeit zwischen der Lichtquelle 4 und der ersten Sammellinse 2 die Relativgeschwindigkeit zwischen der zweiten Sammellinse 6 und der ersten Sammellinse 2 kontinuierlich verlangsamt, bis die zweite Sammellinse 6 dann schließlich stehenbleibt, während sich der Reflektor 5 und die Lichtquelle 4 unter Beibehaltung ihres gegenseitigen Abstandes noch von der ersten Sammellinse 2 fortbewegen (Fig. 3a bis 3e). Schließlich erreicht der Reflektor 5 die in Fig. 3e gezeigte äußerste Position, und nur noch die Lichtquelle 4 bewegt sich von der ersten Sammellinse 2 weg, bis auch die Lichtquelle 4 schließlich ihre äußerste Position erreicht hat (Fig. 3f). Die Umkehrung dieses Bewegungsablaufes erfolgt entsprechend.

**[0036]** Die erste Sammellinse 2 des in den Fig. 3a bis 3f dargestellten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Scheinwerfers entspricht der ersten Sammellinse 2 aus dem in den Fig. 2a bis 2e gezeigten Ausführungsbeispiel mit dem Unterschied, daß die Ellipsenkonstanten  $k$  und  $r$  in dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3a bis 3f folgende Werte haben:

$$k = -0,5$$

$$r = 52 \text{ mm}$$

**[0037]** Die zweite Sammellinse 6 ist in dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3a bis 3f als Meniskuslinse ausgebildet, deren von der Lichtquelle 4 abgewandte Oberfläche im Meridionalschnitt die Form eines Hyperbelabschnitts hat, wobei der Scheitelpunkt der Hyperbel auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Hy-

perbel genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -1,3$  und  $r = 24 \text{ mm}$ .

**[0038]** In Fig. 7a sind Beleuchtungsstärkekennlinien für das in den Fig. 3a bis 3f dargestellte Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers gezeigt. Im Vergleich mit den in Fig. 6a dargestellten Beleuchtungsstärkekennlinien nach dem Stand der Technik wird die verbesserte Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung mittels des erfindungsgemäßen Scheinwerfers deutlich. Die nach dem Stand der Technik außerhalb der Spotstellung auftretenden Intensitätserhöhungen am Rand sind auch in der bisher kritischen Abstrahlwinklereinstellung zwischen Spotstellung und Flutstellung verschwunden. Einen direkten Vergleich für die kritische Abstrahlwinklereinstellung liefern die Fig. 6b und 7b.

**[0039]** Neben den in den Fig. 1a bis 3f dargestellten Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Scheinwerfers gibt es vielfältige weitere Variationsmöglichkeiten für Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Scheinwerfers. Eine erste Sammellinse 2 mit im Meridionalschnitt hyperbolischer von der Lichtquelle 4 abgewandter Oberfläche kann z. B. auch mit einer zweiten Sammellinse 6 kombiniert werden, deren von der Lichtquelle 4 abgewandte Oberfläche im Meridionalschnitt die Form eines Ellipsenabschnitts hat. Ein solches Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers ist in den Fig. 4a bis 4c dargestellt. Die in Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gewandte Oberfläche der ersten Sammellinse 2 ist bei diesem Ausführungsbeispiel rotationssymmetrisch und hat im Meridionalschnitt die Form eines Hyperbelabschnitts, wobei der Scheitelpunkt der Hyperbel auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Hyperbel genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -2$  und  $r = 52 \text{ mm}$

**[0040]** Die ins Scheinwerferinnere gewandte Oberfläche der ersten Sammellinse 2 ist eine Planfläche.

**[0041]** Die zweite Sammellinse 6 ist bezüglich ihrer optischen Achse rotationssymmetrisch. Die von der Lichtquelle 4 abgewandte, genarbte Oberfläche der zweiten Sammellinse 6 hat im Meridionalschnitt die Form eines Ellipsenabschnitts, wobei der Scheitelpunkt der Ellipse auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt. Die Ellipse genügt folgender Gleichung:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

mit  $k = -0,4$  und  $r = 24$  mm

**[0042]** Der Bewegungsmechanismus bei dem in den Fig. 4a bis 4c dargestellten vierten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers funktioniert folgendermaßen: Fig. 4a zeigt die Lichtquelle 4, den Reflektor 5 und die zweite Sammellinse 6 in einer Stellung maximalen Abstrahlwinkels des Scheinwerfers. Um den Abstrahlwinkel zu verkleinern, wird der Schlitten 3 in Richtung von der ersten Sammellinse 2 weg bewegt. Dabei ist in diesem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Scheinwerfers die Mechanik des Schlittens und mit ihm zusammenwirkender Führungsteile so ausgelegt, daß sich die Abstände der zweiten Sammellinse 6, der Lichtquelle 4 und des Reflektors 5 untereinander zunächst nicht verändern. Sobald der Schlitten 3 jedoch einen bestimmten Abstand von der zweiten Sammellinse 2 erreicht hat, hält die zweite Sammellinse 6 in ihrer Bewegung inne, während sich die Lichtquelle 4 und der Reflektor 5 unter Beibehaltung ihres gegenseitigen Abstandes gemeinsam noch weiter von der ersten Sammellinse 2 und jetzt auch von der zweiten Sammellinse 6 weg bewegen, bis sie ihren konstruktiv bedingten größtmöglichen Abstand von der ersten Sammellinse 2 erreichen (siehe Fig. 4c).

**[0043]** Bei der Bewegung des Schlittens 3 aus der Spotstellung (Fig. 4c) in die Flutstellung (Fig. 4a) läuft der soeben beschriebene Bewegungsvorgang in genau umgekehrter Reihenfolge ab. Zunächst bewegen sich die Lichtquelle 4 und der Reflektor 5 unter Beibehaltung ihres gegenseitigen Abstandes auf die beiden Sammellinsen 6 und 2 zu. Sobald ein bestimmter Abstand zwischen Lichtquelle 4/Reflektor 5 einerseits und der zweiten Sammellinse 6 andererseits erreicht ist, nimmt die zweite Sammellinse 6 an der Bewegung teil, und die Lichtquelle 4, der Reflektor 5 und die zweite Sammellinse 6 bewegen sich nun unter Beibehaltung ihrer gegenseitigen Abstände auf die erste Sammellinse 2 zu.

**[0044]** Mechanisch kann man eine wie oben unter Bezugnahme auf die Fig. 4a bis 4c beschriebene Bewegung der auf dem Schlitten 3 montierten optischen Elemente z. B. erreichen, indem man die zweite Sammellinse 6 innerhalb des Schlittens 3 auf einer beweglichen Führungsschiene 7 montiert, die auf der von der ersten Sammellinse 2 abgewandten Seite über den Grundkörper des Schlittens 3 hinausragt und bezüglich der Einheit Lichtquelle 4/Reflektor 5 mit einer Feder und mit einem geeigneten Anschlag versehen ist.

**[0045]** Generell gilt für den erfindungsgemäßen Scheinwerfer, daß die zweite Sammellinse 6 auch nicht unbedingt als Meniskuslinse oder als asphärische Linse ausgebildet sein muß.

**[0046]** Bei anderen Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Scheinwerfers ist die nach innen gerichtete Oberfläche der ersten Sammellinse 2 asphärisch. Ferner muß das Schlittensystem nicht unbedingt wie in der US-A-4 823 243 oder in der EP-A-0 846 913 beschrieben ausgebildet sein. Es gibt daher auch Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Scheinwer-

fers, bei denen der Abstand zwischen Reflektor 5, Lichtquelle 4 und zweiter Sammellinse 6 nicht verändert werden kann. Bei diesen Ausführungsbeispielen ist es nur möglich, die drei eben genannten Elemente mit Hilfe des Schlittens 3 als starre optische Einheit gemeinsam relativ zur ersten Sammellinse 2 zu bewegen. Die möglichen Gestaltungsvarianten der ersten Linse 2 als asphärische Linse werden von dieser mechanischen Konstruktion ebensowenig beeinträchtigt wie die Gestaltungsvarianten der zweiten Linse 6.

**[0047]** Außerdem ist es nicht unbedingt notwendig, daß als asphärische Frontlinse 2 eine rotationssymmetrische Linse zum Einsatz gelangt. Es sind auch Ausführungsbeispiele mit nicht-rotationssymmetrischen asphärischen Linsen möglich. Falls jedoch, wie oben beschrieben, asphärische Linsen mit hyperbolischen oder ellipsoiden Oberflächen verwendet werden, so müssen diese nicht unbedingt so angeordnet werden, daß die Hyperbelscheitel bzw. kleinen Ellipsenhalbachsen auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegen. Es sind auch Ausführungsbeispiele denkbar, bei denen die entsprechenden Linsen zur optischen Achse des Scheinwerfers versetzt angeordnet sind. Dies gilt sowohl für die erste Sammellinse 2, als auch für die zweite Sammellinse 6.

**[0048]** In den Fig. 1a bis 3f ist der Reflektor 5 stets als ein relativ flacher Reflektor und die Lichtquelle 4 als eine aufrecht stehende Glühfadenlampe dargestellt. Es ist jedoch auch möglich, einen tiefen Reflektor und/oder eine liegend angebrachte Lampe zu verwenden.

**[0049]** Anstelle der im obigen Ausführungsbeispiel genannten Glühfadenlampe kann die Lichtquelle 4 z.B. auch durch eine Halogenlampe oder durch eine Entladungslampe ohne Wendel mit Lichtfleck zwischen zwei Elektroden gebildet werden.

**[0050]** Obwohl oben die Verwendung einer asphärischen Frontlinse in Verbindung mit einem sehr speziellen Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel beschrieben wurde, bei dem die asphärische Frontlinse vor allem in den Scheinwerferstellungen zwischen Spotstellung und Flutstellung eine noch gleichmäßigere Lichtverteilung im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik bekannten derartigen Scheinwerfern bewirkt, lassen sich asphärische Frontlinsen auch in allen möglichen anderen Scheinwerfern mit veränderlichem Abstrahlwinkel verwenden, um die Lichtverteilung des Scheinwerfers zu beeinflussen. Dies gilt insbesondere für Scheinwerfer mit auswechselbarer Frontlinse. Die asphärische Frontlinse kann hierbei rotationssymmetrisch oder nicht rotationssymmetrisch sowie auf der optischen Achse des Scheinwerfers zentriert oder zur optischen Achse des Scheinwerfers versetzt angeordnet sein.

**[0051]** Außer den oben angegebenen Werten können die Kegelschnittkonstanten  $r$  und  $k$  noch vielfältige weitere Werte annehmen. Der für praktische Anwendungen tatsächlich bedeutsame Wertebereich des  $r$  erstreckt sich von 15 mm bis 150 mm. Ist  $k$  kleiner als 0, jedoch

größer als -1, so liefert die oben angegebene Gleichung eine ellipsoide Fläche. Bei  $k = -1$  ergibt sich eine paraboloidale Fläche und bei  $k < -1$  eine hyperboloidale Fläche.  $k$  kann beliebig kleine Werte annehmen, und  $r$  ist auch nicht auf den obengenannten Wertebereich beschränkt.

**[0052]** Abschließend sei noch ausdrücklich darauf verwiesen, daß sich die Erfindung nicht auf Scheinwerfer einer bestimmten Leistungsklasse beschränkt. Beispielsweise kann man erfindungsgemäße Scheinwerfer sowohl als Miniaturcheinwerfer mit einer Leistung von einigen 10 W als auch als Hochleistungsscheinwerfer mit einer Leistung von einigen 10 kW ausführen.

### Patentansprüche

1. Scheinwerfer mit veränderlichem Abstrahlwinkel, bei dem die Veränderung des Abstrahlwinkels anders als durch Abschattung des Strahlenganges mittels Blende oder Maske hervorgerufen wird, mit einer im Scheinwerferinneren angeordneten Lichtquelle (4) und einer ersten Linse (2), welche die Frontlinse des Scheinwerfers ist, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linse (2) eine asphärische Linse ist.

2. Scheinwerfer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linse (2) zumindestens auf einer Fläche genarbt ist.

3. Scheinwerfer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Linse (2) bezüglich ihrer optischen Achse rotations-symmetrisch ausgebildet ist.

4. Scheinwerfer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die ins Scheinwerferinnere gerichtete Oberfläche der ersten Linse (2) asphärisch ist.

5. Scheinwerfer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gewandte Oberfläche der ersten Linse (2) im Meridionalschnitt die Form eines von einem Kreisabschnitt verschiedenen Kegelschnitt-Abschnitts hat.

6. Scheinwerfer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die in Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gewandte Oberfläche der ersten Linse (2) im Meridionalschnitt die Form eines Hyperbelabschnitts hat.

7. Scheinwerfer nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Scheitelpunkt der Hyperbel auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt.

8. Scheinwerfer nach Anspruch 7, dadurch gekenn-

zeichnet, daß die Hyperbel folgender Gleichung genügt:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

wobei  $k$  ein Wert aus dem Bereich von -3,0 bis -1,1 und  $r$  ein Wert aus dem Bereich von 40 mm bis 100 mm ist.

9. Scheinwerfer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die in Abstrahlrichtung des Scheinwerfers gewandte Oberfläche der ersten Linse (2) im Meridionalschnitt die Form eines Ellipsenabschnitts hat.

10. Scheinwerfer nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die kleine Achse der Ellipse auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt.

11. Scheinwerfer nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ellipse folgender Gleichung genügt:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}}$$

wobei  $k$  ein Wert aus dem Bereich von -0,9 bis -0,5 und  $r$  ein Wert aus dem Bereich von 40 mm bis 100 mm ist.

12. Scheinwerfer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ins Scheinwerferinnere gewandte Oberfläche der ersten Linse (2) sphärisch ist.

13. Scheinwerfer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ins Scheinwerferinnere gewandte Oberfläche der ersten Linse (2) plan oder in Richtung von der Lichtquelle (4) weg gewölbt ist.

14. Scheinwerfer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- einen der Lichtquelle (4) zugeordneten Reflektor (5), und
- eine im Strahlengang zwischen der Lichtquelle (4) und der ersten Linse (2) angeordnete zweite Linse (6), wobei der Reflektor (5), die Lichtquelle (4) und die zweite Linse (6) als eine relativ zur ersten Linse (2) längs der optischen Achse des Scheinwerfers bewegliche optische Einheit montiert sind.

15. Scheinwerfer nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Linse (6) zumindest auf einer Fläche genarbt ist.

16. Scheinwerfer nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Linse (6) bezüglich ihrer optischen Achse rotationssymmetrisch ausgebildet ist.

17. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Linse (6) eine sphärische Linse ist.

18. Scheinwerfer nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die der Lichtquelle (4) zugewandte Oberfläche der zweiten Linse (6) asphärisch ist.

19. Scheinwerfer nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Lichtquelle (4) abgewandte Oberfläche der zweiten Linse (6) im Meridionalschnitt die Form eines von einem Kreisabschnitt verschiedenen Kegelschnitt-Abschnitts hat.

20. Scheinwerfer nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Lichtquelle (4) abgewandte Oberfläche der zweiten Linse (6) im Meridionalschnitt die Form eines Hyperbelabschnitts hat.

21. Scheinwerfer nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Scheitelpunkt der Hyperbel auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt.

22. Scheinwerfer nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Hyperbel folgender Gleichung genügt:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}} \quad 35$$

wobei k ein Wert aus dem Bereich von -3,0 bis -1,1 und r ein Wert aus dem Bereich von 20 mm bis 70 mm ist.

23. Scheinwerfer nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Lichtquelle (4) abgewandte Oberfläche der zweiten Linse (6) im Meridionalschnitt die Form eines Ellipsenabschnitts hat.

24. Scheinwerfer nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die kleine Achse der Ellipse auf der optischen Achse des Scheinwerfers liegt.

25. Scheinwerfer nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Ellipse folgender Gleichung genügt:

$$Z = \frac{1}{r} \cdot \frac{y^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)y^2/r^2}} \quad 55$$

wobei k ein Wert aus dem Bereich von -0,9 bis -0,5

und r ein Wert aus dem Bereich von 20 mm bis 70 mm ist.

26. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 14 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Linse (6) eine Meniskuslinse ist.

27. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen der Lichtquelle (4) und der zweiten Linse (6) innerhalb der optischen Einheit veränderbar ist.

28. Scheinwerfer nach einem der Ansprüche 14 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen der Lichtquelle (4) und dem Reflektor (5) innerhalb der optischen Einheit veränderbar ist.

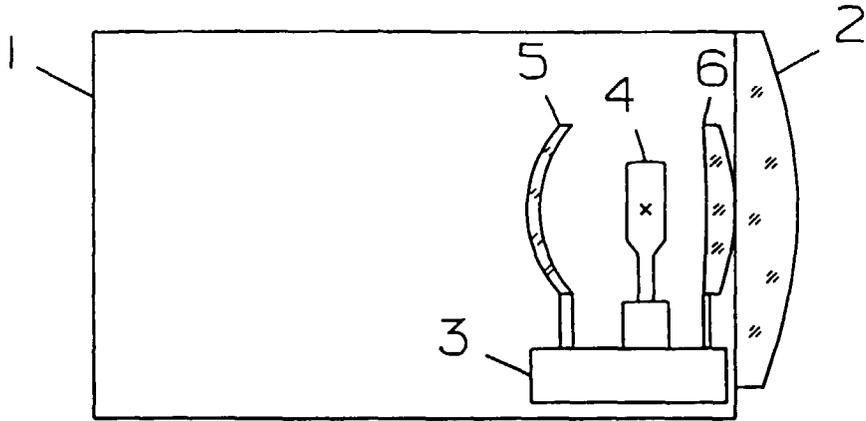


Fig. 1 a

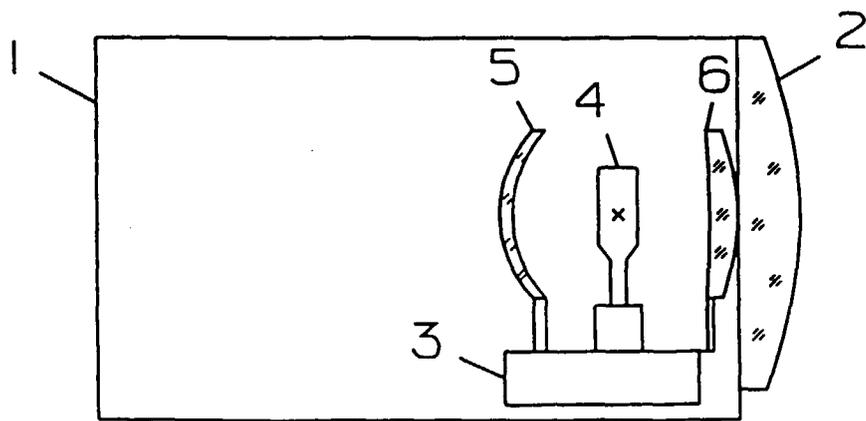


Fig. 1 b

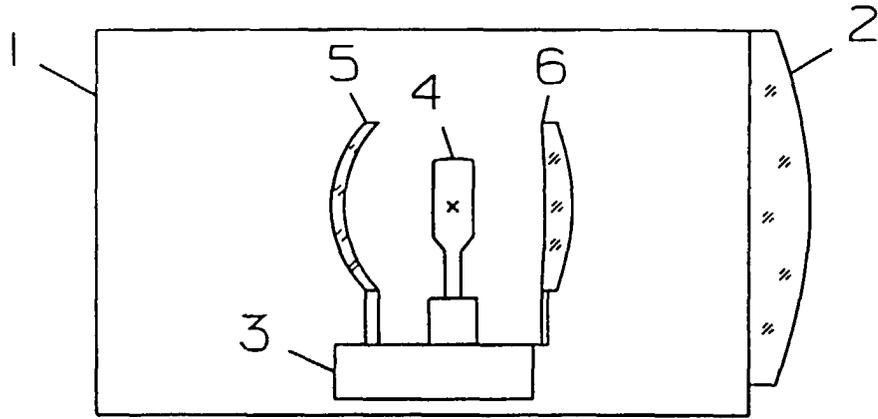


Fig. 1 c

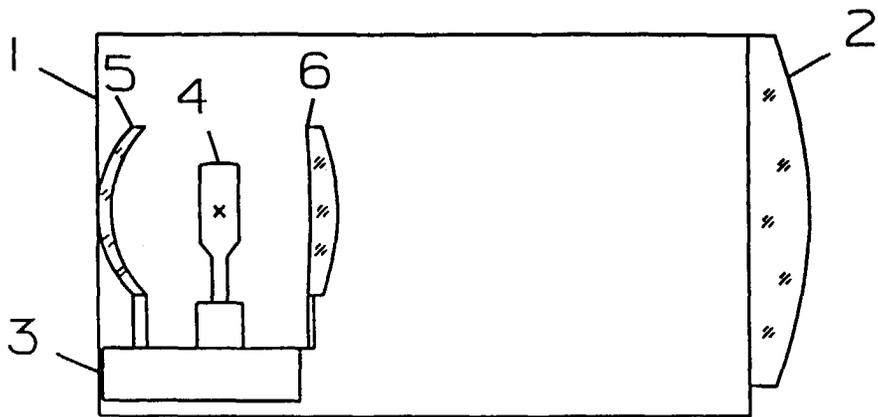


Fig. 1 d

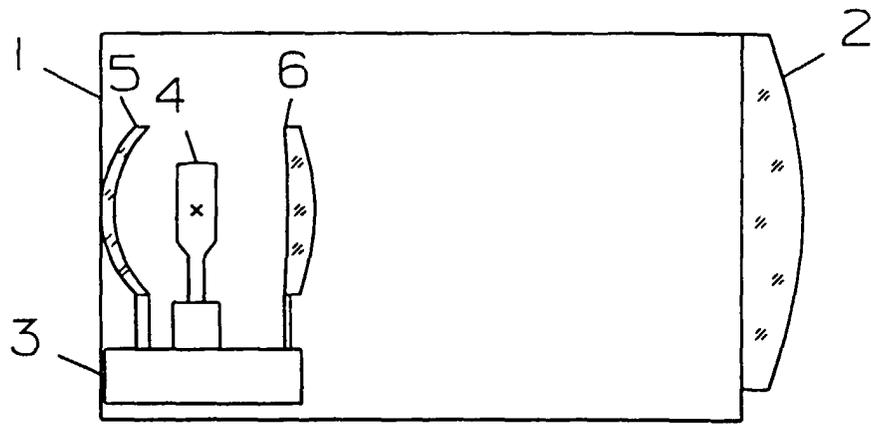


Fig. 1 e

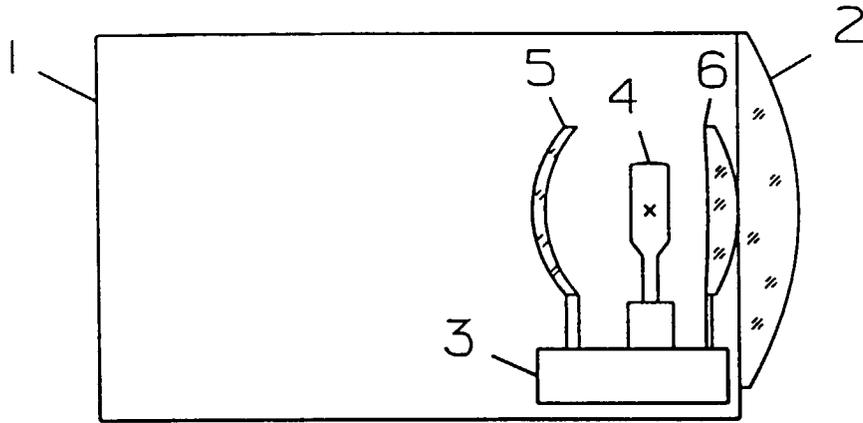


Fig. 2 a

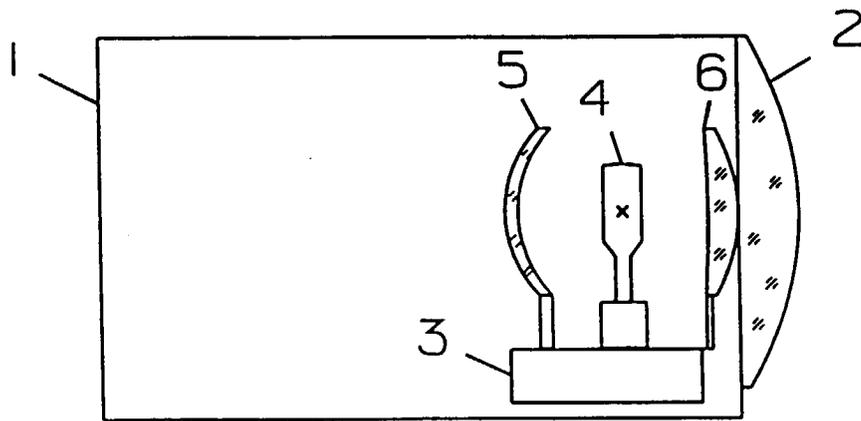


Fig. 2 b

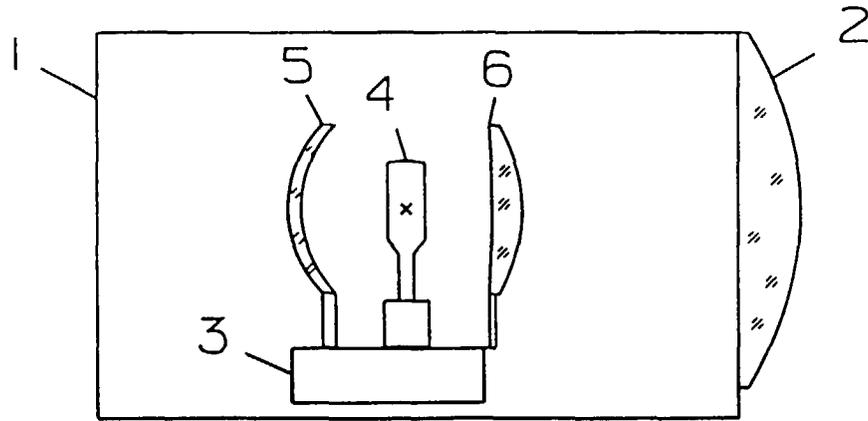


Fig. 2 c

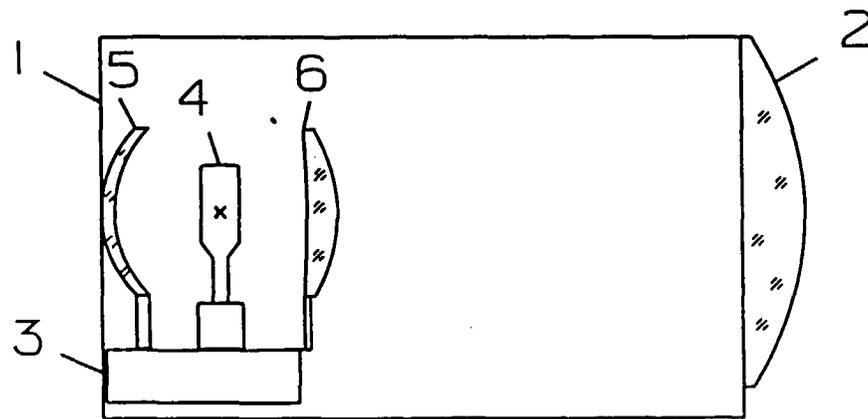


Fig. 2 d

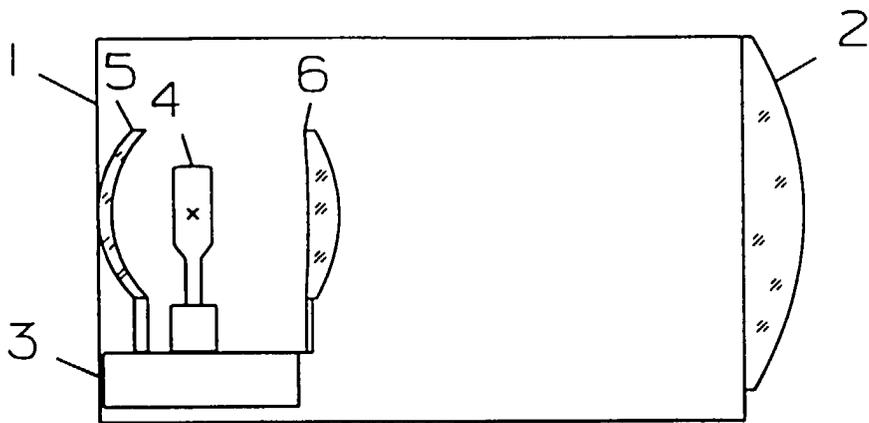


Fig. 2 e

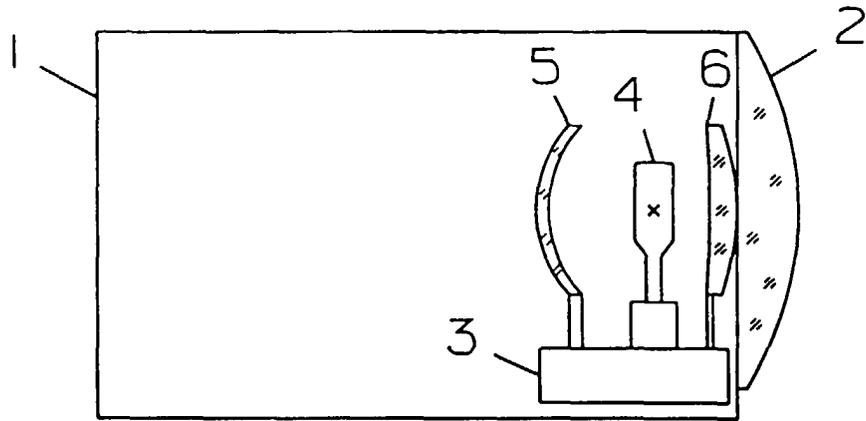


Fig. 3 a

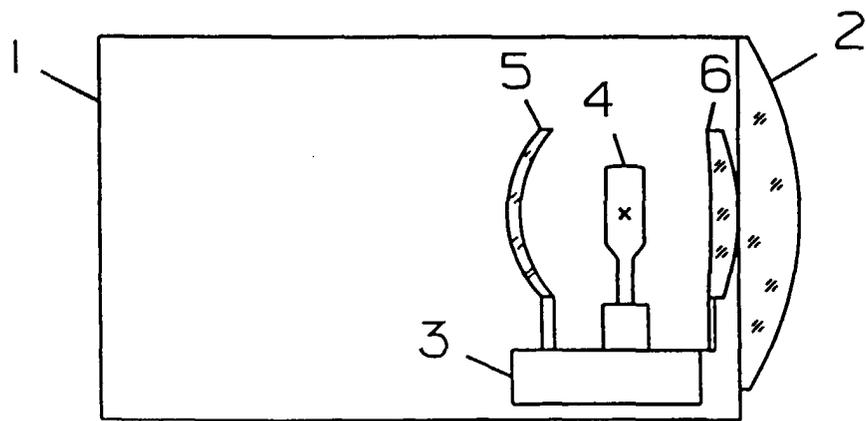


Fig. 3 b

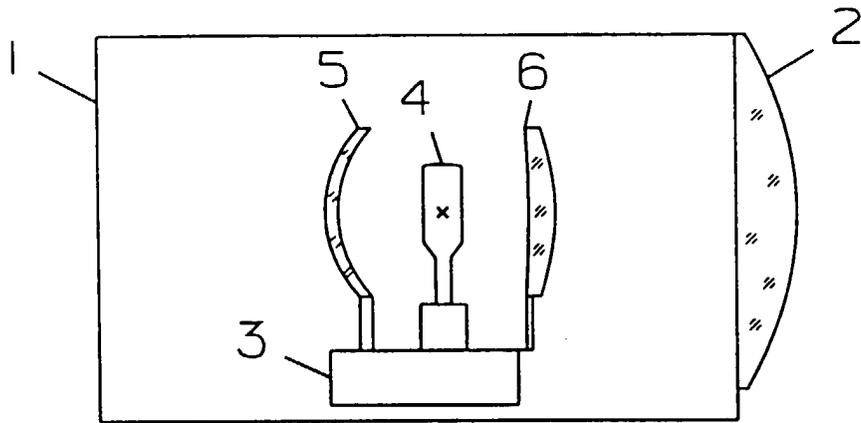


Fig. 3 c

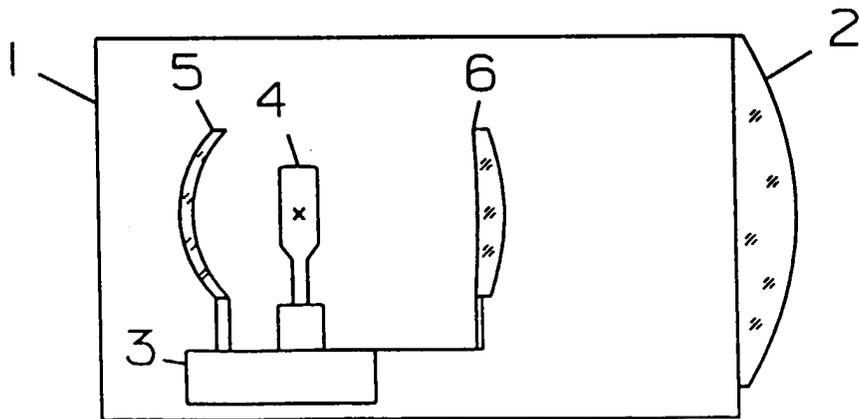


Fig. 3 d

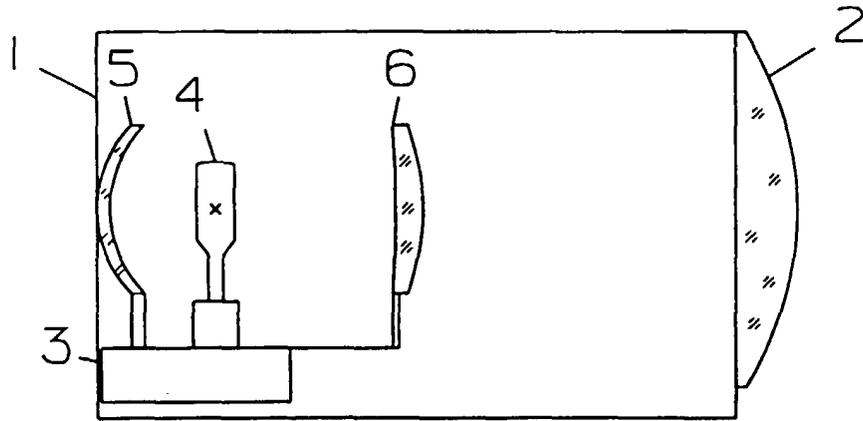


Fig. 3 e

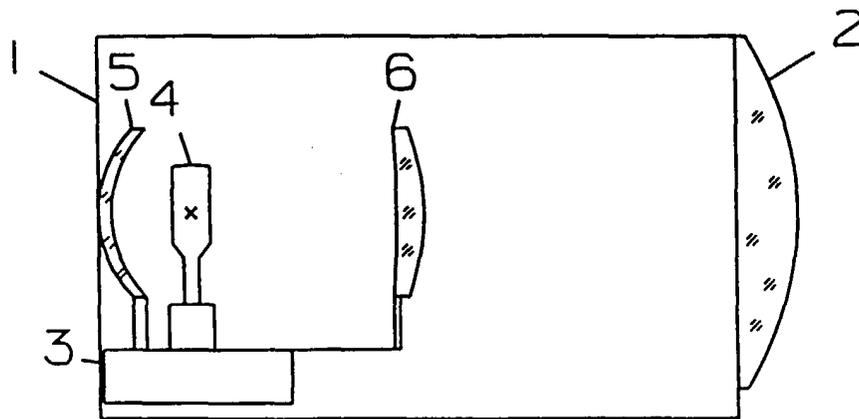


Fig. 3 f

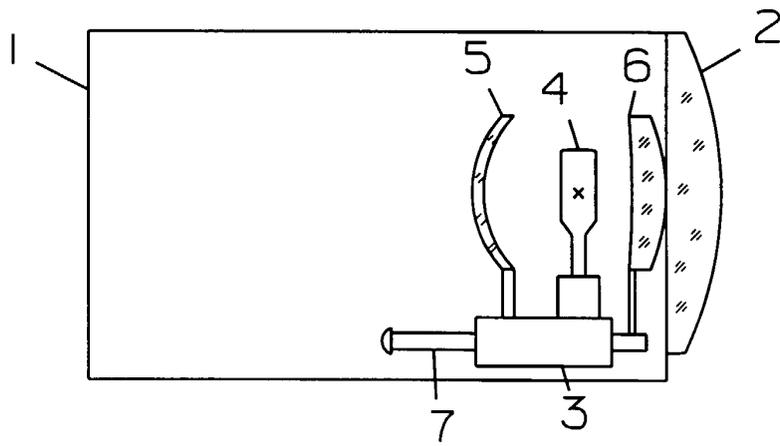


Fig. 4a

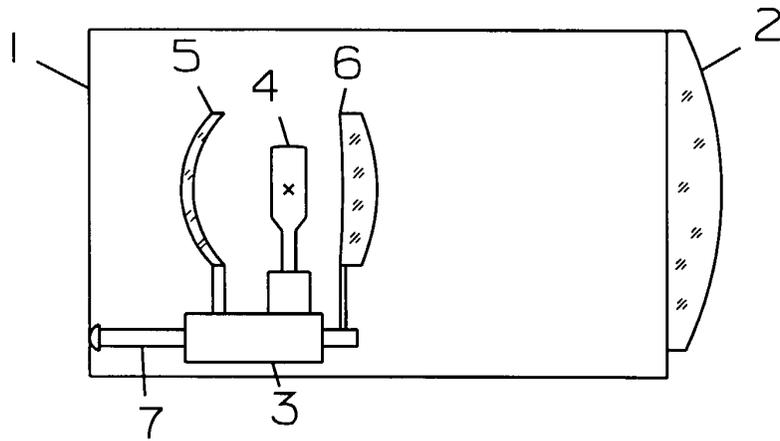


Fig. 4b

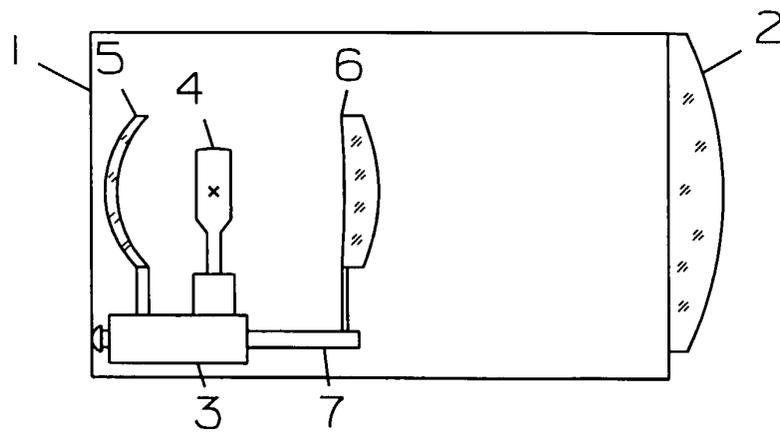


Fig. 4c

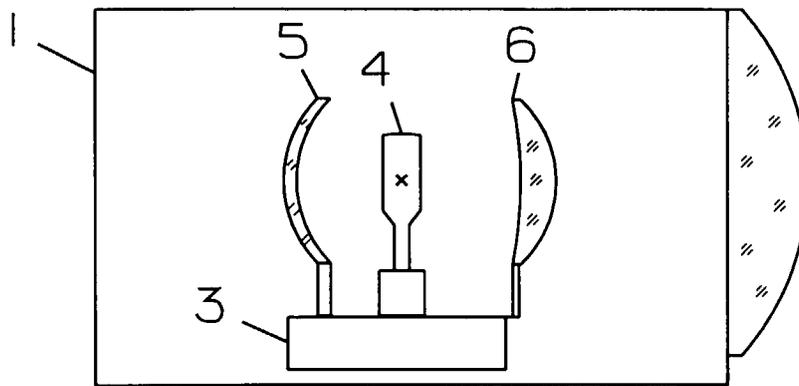


Fig. 5

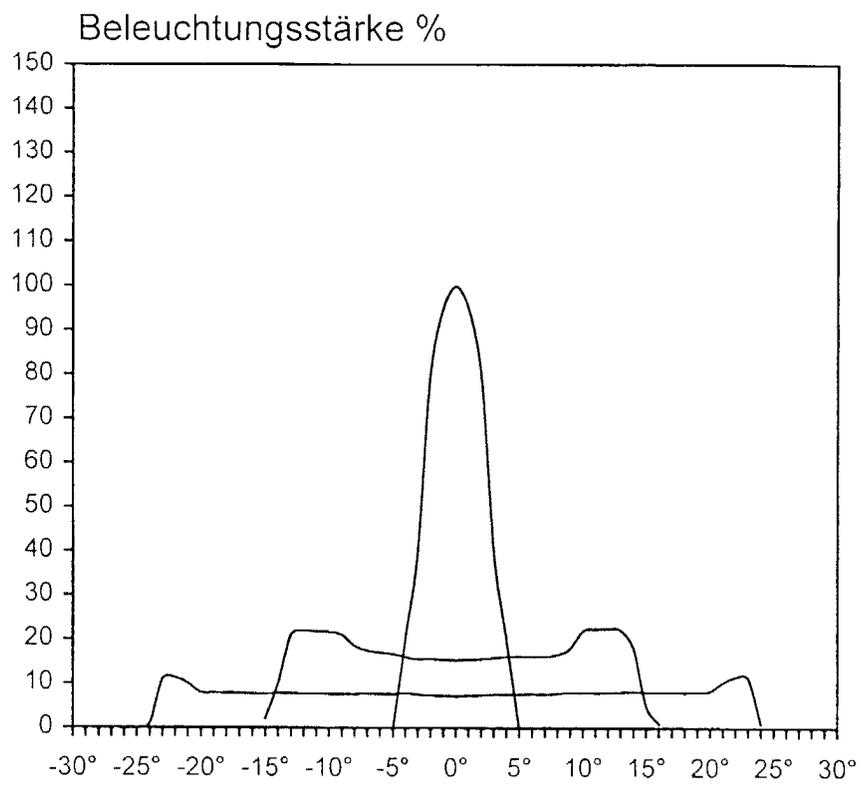


Fig. 6a

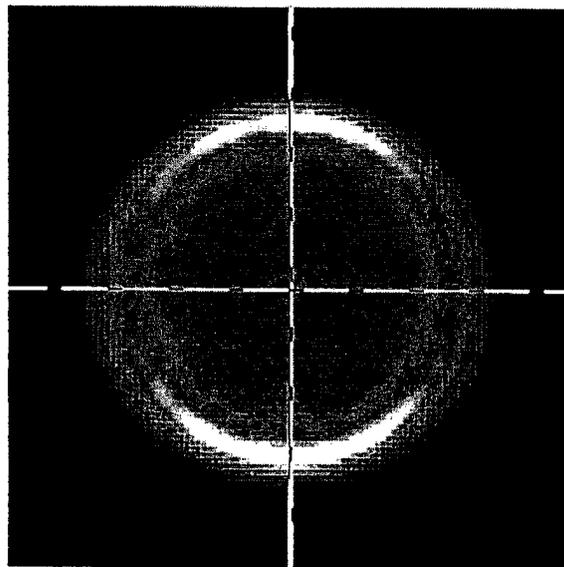
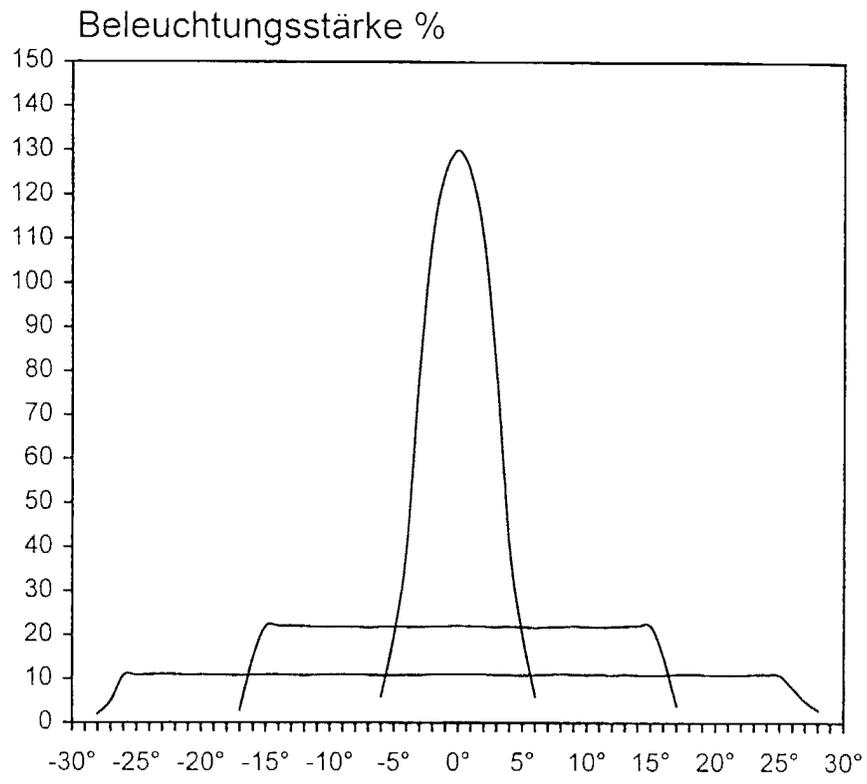


Fig. 6 b



Abstrahlwinkel Fig.7a

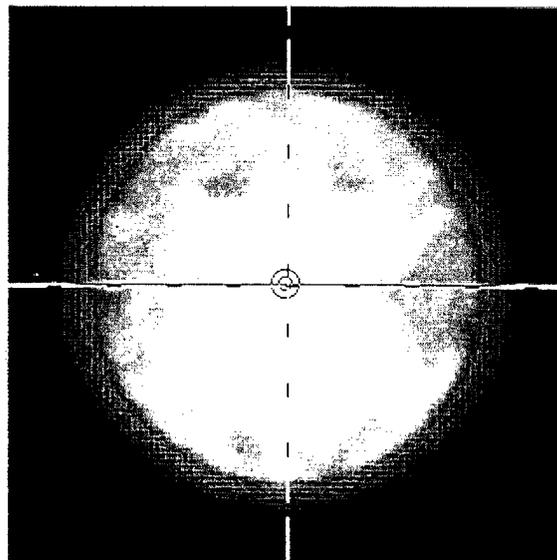


Fig. 7 b

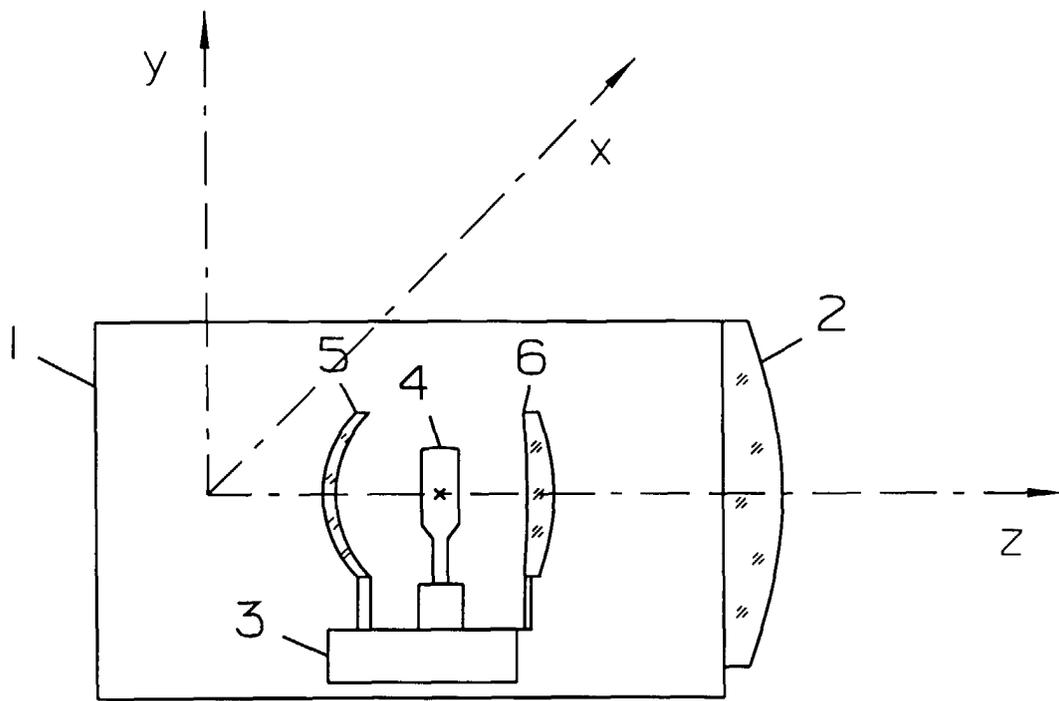


Fig. 8