(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 846 077 A2**

# (12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
**11.03.2015 Patentblatt 2015/11**

(51) Int Cl.:
***F21S 8/10*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **14180018.5**

(22) Anmeldetag: **06.08.2014**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
**BA ME**

(30) Priorität: **06.09.2013 DE 102013217843**

(71) Anmelder: **Automotive Lighting Reutlingen GmbH**
**72762 Reutlingen (DE)**

(72) Erfinder:
- **Dr. Stefanov, Emil P**
  **72762 Reutlingen (DE)**
- **Dr. Buchberger, Christian**
  **72770 Reutlingen (DE)**
- **Kiesel, Markus**
  **72762 Reutlingen (DE)**
- **Licht, Martin**
  **72762 Reutlingen (DE)**

(74) Vertreter: **DREISS Patentanwälte PartG mbB**
**Patentanwälte**
**Gerokstrasse 1**
**70188 Stuttgart (DE)**

## (54) Projektionsoptik zum Einsatz in einem LED-Modul eines Kraftfahrzeugscheinwerfers, sowie LED-Modul und Kraftfahrzeugscheinwerfer mit einer solchen Projektionsoptik

(57) Die Erfindung betrifft eine Projektionsoptik (16) zum Einsatz in einem LED-Modul (6) eines Kraftfahrzeugscheinwerfers (1). Das LED-Modul (6) weist eine Lichtquelle (10) in Form einer LED-Matrix, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete LED-Chips (11) umfasst, eine Primäroptik (12), die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete Primäroptikelemente (13) umfasst, zum Bündeln des von der Lichtquelle (10) ausgesandten Lichts und die Projektionsoptik (16) auf. Die Projektionsoptik (16) projiziert eine Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) zur Erzeugung einer vorgegebenen Lichtverteilung (27) auf eine Fahrbahn vor das Fahrzeug. Um die Lichtverteilung (27) hinsichtlich Intensitätsschwankungen und Farbeffekten zu verbessern, wird vorgeschlagen, dass die Projektionsoptik (16) derart ausgebildet ist, dass sie auf ihrer Bildseite mindestens zwei separate, in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen (25, 26, 28, 29) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt. (Figur 10)

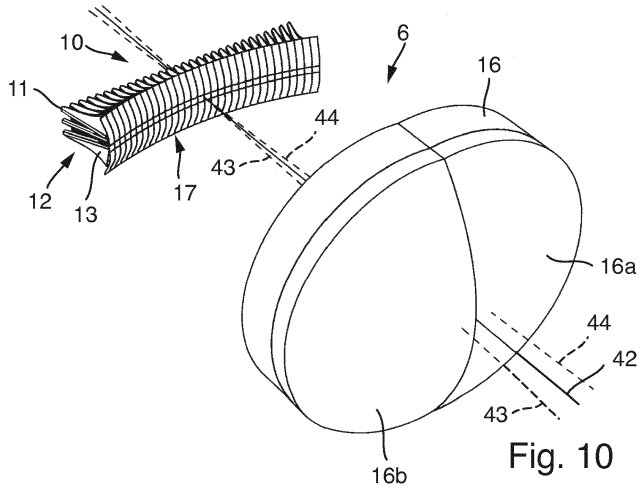



Fig. 10

EP 2 846 077 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Projektionsoptik zum Einsatz in einem LED-Modul eines Kraftfahrzeugscheinwerfers. Das LED-Modul weist eine Lichtquelle in Form einer LED-Matrix, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete LED-Chips umfasst, eine Primäroptik, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete Primäroptikelemente umfasst, zum Bündeln des von der Lichtquelle ausgesandten Lichts und die Projektionsoptik auf. Die Projektionsoptik projiziert eine Austrittsfläche der Primäroptik zur Erzeugung einer vorgegebenen Lichtverteilung auf eine Fahrbahn vor ein Fahrzeug.

**[0002]** Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein LED-Modul sowie einen Kraftfahrzeugscheinwerfer mit einer solchen Projektionsoptik.

**[0003]** Kraftfahrzeugscheinwerfer mit einer Lichtquelle in Form einer LED-Matrix, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete LED-Chips umfasst, werden auch als Matrix-Scheinwerfer bezeichnet. Dabei kann die LED-Matrix aus einer einzelnen Reihe oder Spalte mit mehreren LED-Chips oder aus mehreren über- bzw. nebeneinander angeordneten Reihen bzw. Spalten mit jeweils mehreren LED-Chips bestehen. Matrix-Scheinwerfer erzeugen eine Lichtverteilung auf der Fahrbahn vor dem Kraftfahrzeug, die eine Vielzahl von neben- bzw. übereinander angeordneten Teillichtverteilungen in Form von Pixeln oder Streifen aufweist. Dabei erzeugt in der Regel jeder LED-Chip eine eigene Teillichtverteilung. Durch gezieltes Ansteuern, insbesondere Ein-/ Ausschalten oder Dimmen, der einzelnen LED-Chips der Matrix-Lichtquelle ist es möglich, die Form und Intensität der Lichtverteilung zu beeinflussen. Auf diese Weise kann ein Matrix-Scheinwerfer ohne bewegbare Teile zur Erzeugung einer adaptiven Lichtverteilung genutzt werden. Insbesondere kann auf diese Weise eine Abblendlicht-Grundlichtverteilung mit horizontaler Helldunkelgrenze, eine herkömmliche Abblendlichtverteilung mit asymmetrischer Helldunkelgrenze, eine Fernlichtverteilung, eine Teilfernlichtverteilung, bei der gezielt Bereiche aus der Lichtverteilung ausgenommen werden, wo andere Verkehrsteilnehmer detektiert wurden, oder eine Markierungslichtverteilung, bei der gezielt auf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug detektierte Objekte angestrahlt werden, erzeugt werden. Matrix-Scheinwerfer sind in unterschiedlichen Ausführungsformen aus dem Stand der Technik bekannt, vgl. bspw. EP 2 306 073 A2, EP 2 306 074 A2, EP 2 306 075 A2 oder DE 10 2008 013 603 A1.

**[0004]** Ferner sind bspw. aus der DE 10 2011 077 132 A1 und der DE 10 2011 077 636 A1 Ansätze speziell zu sog. Streifen-Scheinwerfern bekannt, bei denen die erzeugte Lichtverteilung eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten streifenförmigen Teillichtverteilungen umfasst.

**[0005]** Aus der DE 10 2010 046 626 B4 sind Ansätze zur Ausgestaltung einer farbkorrigierenden Projektionsoptik für Matrix-Scheinwerfer bekannt.

**[0006]** Schließlich wird in der EP 2 280 215 A2 vorgeschlagen, die Homogenität und die Auflösung der Abbildung in der resultierenden Lichtverteilung durch die Verwendung von mehreren LED-Modulen in einem Scheinwerfer zu verbessern. Jeder Primäroptik ist eine individuelle Projektionsoptik (oder Sekundäroptik) zugeordnet. Für den bekannten Scheinwerfer werden also immer zwei Lichtquellen-Module, mindestens zwei Primäroptik-Module und mindestens zwei Sekundäroptik-Module miteinander kombiniert. Von außen sind somit mindestens zwei Lichtaustrittsflächen je Matrix-Scheinwerfer sichtbar. Es entsteht ein sog. Facetten-Auge-Scheinwerfermodul. Die auf die Fahrbahn projizierten streifenförmigen Teillichtverteilungen haben eine relativ große Winkelbreite von mindestens 2° horizontal oder sogar noch deutlich mehr. Die Überlagerung solcher breiter Streifen verbessert zwar die Homogenität der Lichtverteilung, reduziert aber die erzielbare Auflösung. Der bekannte Scheinwerfer erfordert mindestens zwei vollständige, voneinander unabhängige Lichtmodule je Scheinwerfer, wobei jedes Lichtmodul eine LED-Matrix, eine Primäroptik und eine Sekundäroptik aufweist. Somit besteht ein solcher Scheinwerfer aus mindestens zwei Lichtquellen, zwei Primäroptiken und zwei Sekundäroptiken.

**[0007]** Bei sämtlichen aus dem Stand der Technik bekannten Matrix-Scheinwerfern ergibt sich jedoch das Problem, dass es in der resultierenden Lichtverteilung zu Farb- und Intensitätsschwankungen kommt. Diese werden hauptsächlich durch die Dispersion (Veränderung der Brechzahl optischer Materialien in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge) und Abbildungsfehler der Projektionsoptik verursacht. Die Farbschwankungen treten insbesondere am Rand der einzelnen Teillichtverteilungen auf.

**[0008]** Ausgehend von dem beschriebenen Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Matrix-Scheinwerfer der eingangs genannten Art oder Teile davon dahingehend auszugestalten und weiterzubilden, dass der Scheinwerfer mit einer einzelnen Primäroptik und einer einzelnen Projektionsoptik eine verbesserte Homogenität der resultierenden Lichtverteilung aufweist, wobei die Lichtverteilung von außen sichtbar aus einer einzelnen Lichtaustrittsöffnung bzw. aus einer einzelnen Projektionsoptik aus dem Scheinwerfer austreten soll.

**[0009]** Zur Lösung dieser Aufgabe wird ausgehend von der Projektionsoptik der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass die Projektionsoptik derart ausgebildet ist, dass sie auf ihrer Bildseite mindestens zwei separate, in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen der Austrittsfläche der Primäroptik erzeugt, so dass eine Überlagerung der erzeugten Abbildungen eine Homogenität der Lichtverteilung verbessert.

**[0010]** Mit der erfindungsgemäßen Projektionsoptik ist es möglich, die gewünschte verbesserte und homogenere Matrix-Lichtverteilung aus einer einzelnen sichtbaren und erlebbaren Austrittsöffnung zu generieren (sog. Ein-Auge-

Matrix-Scheinwerfer). Die vorgeschlagene Projektionsoptik erreicht eine Kompensation von Farbeffekten und Homogenitäts- bzw. Intensitätsschwankungen bis zu einer halben Pixelbreite, ohne dass es des Einsatzes von Spezialgläsern oder -kunststoffen bedarf und ohne die Abbildungsschärfe, insbesondere die Pixel-Kantenschärfe zu verringern. Dank der vorgeschlagenen Projektionsoptik kann in einem Matrix-Scheinwerfer somit eine Farbkompensation und Homogenitätsverbesserung ohne zusätzliche Schärfeeinbußen, insbesondere bezogen auf die periodisch erscheinenden Farb-, Homogenitäts- und Abbildungsfehler, erzielt werden.

**[0011]** Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, dass eine einzelne matrixartige Lichtquelle, der eine einzelne integrale Primäroptik vorgeschaltet ist, deren Austrittslichtverteilung auf der Lichtaustrittsfläche über eine einzelne integrale Projektionsoptik derart auf der Fahrbahn abgebildet wird, dass mindestens zwei separate Primäroptik-Abbildungen entstehen, so dass in ihrem Zusammenwirken Pixelkanten und Grenzensteilheiten erhalten bleiben und sich die restlichen periodisch auftretenden Farb- und Homogenitäts- bzw. Intensitätsschwankungen gegenseitig kompensieren. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Projektionslinse im Sinne der Erfindung auszugestalten, dass sie den oben beschriebenen Effekt erzeugt.

**[0012]** Zur Realisierung der erfindungsgemäßen Projektionsoptik ist es denkbar, eine oder mehrere aktive optisch wirksame Flächen der Projektionsoptik zu variieren. Insbesondere kann dies eine Lichteintrittsfläche, eine Lichtaustrittsfläche und/oder eine beliebig andere Fläche dazwischen (bspw. bei einem Achromaten) sein. Die aktive optisch wirksame Fläche der Projektionsoptik wird vorzugsweise derart geteilt und/oder verschoben, dass die mindestens zwei separaten, in horizontaler Richtung zueinander verschobenen Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugt werden. Jede der erzeugten Abbildungen trägt einen Teil des gemeinsamen Lichtstroms bzw. einen Teil der Intensität und der Beleuchtungsstärke bei. Der Anteil, den jede Abbildung beiträgt, hängt von der Anzahl der erzeugten separaten Abbildungen ab. So ist der Anteil vorzugsweise bei zwei Abbildungen 50% und dementsprechend bei drei Abbildungen 33% des gemeinsamen Werts der resultierenden Lichtverteilung.

**[0013]** Vorteilhafterweise ist die Projektionsoptik derart ausgebildet ist, dass die separaten Abbildungen der Austrittsfläche der Primäroptik jeweils um einen Wert b/n zueinander versetzt sind, wobei b eine Breite, insbesondere eine Winkelbreite, eines durch die Abbildung einer einzelnen Lichtaustrittsfläche eines einzelnen Primäroptikelements gebildeten Pixels und n eine Anzahl der von der Projektionsoptik erzeugten separaten Abbildungen der Austrittsfläche der Primäroptik ist. Wenn die Projektionsoptik bspw. zur Erzeugung von zwei separaten Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik ausgebildet ist, sind diese beiden Abbildungen vorzugsweise um eine halbe Pixelbreite zueinander versetzt. Dementsprechend sind die Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik vorzugsweise um ein Drittel der Pixelbreite zueinander versetzt, wenn die Projektionsoptik zur Erzeugung von drei separaten Abbildungen ausgebildet ist. Auf diese Weise kann eine besonders homogene Lichtverteilung erzeugt werden.

**[0014]** Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, dass eine einzelne matrixartige Lichtquelle, der eine einzelne integrale Primäroptik vorgeschaltet ist, deren Austrittslichtverteilung auf der Lichtaustrittsfläche über eine einzelne integrale Projektionsoptik derart auf der Fahrbahn abgebildet wird, dass mindestens zwei separate Primäroptik-Abbildungen entstehen, so dass in ihrem Zusammenwirken Pixelkanten und Grenzensteilheiten erhalten bleiben und sich die restlichen periodisch auftretenden Farb- und Homogenitäts- bzw. Intensitätsschwankungen gegenseitig kompensieren. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Projektionslinse im Sinne der Erfindung auszugestalten, dass sie den oben beschriebenen Effekt erzeugt.

**[0015]** Gemäß einer ersten vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Projektionsoptik mindestens zwei getrennte optische Achsen aufweist. Die getrennten optischen Achsen der Projektionsoptik verlaufen bevorzugt in derselben horizontalen Ebene. Die horizontale Ebene umfasst vorzugsweise eine Modulachse eine LED-Moduls, das mit der Projektionslinse versehen ist. Die Modulachse verläuft bevorzugt von der Mitte der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik in Fahrtrichtung. Der Abstand der optischen Achsen zueinander ist relativ gering. Er wird so gewählt, dass separate Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik generiert werden, die in horizontaler Richtung um einen Bruchteil eines Pixels zueinander versetzt sind. Die unterschiedlichen optischen Achsen der Projektionsoptik bewirken, dass verschiedene Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugt werden. Die Anzahl der durch die Projektionslinse erzeugten separaten Abbildungen entspricht der Anzahl der getrennten optischen Achsen. Die Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik sind entsprechend dem Verlauf der optischen Achsen zueinander versetzt. Dadurch, dass die optischen Achsen in derselben horizontalen Ebene verlaufen, sind die separaten Abbildungen lediglich in horizontaler Richtung zueinander versetzt. Wären die optischen Achsen in unterschiedlichen horizontalen Ebenen angeordnet, ergäbe sich zusätzlich noch ein vertikaler Versatz der Abbildungen zueinander.

**[0016]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die getrennten optischen Achsen der Projektionsoptik parallel und beabstandet zueinander verlaufen. Alternativ wird vorgeschlagen, dass die getrennten optischen Achsen der Projektionsoptik schräg zueinander verlaufen. In diesem Fall schneiden sich die optischen Achsen der Projektionsoptik vorzugsweise in einer Ebene der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik. Die Ebene der Lichtaustrittsfläche verläuft vorzugsweise senkrecht zu der horizontalen Ebene, in der die optischen Achsen angeordnet sind. Besonders bevorzugt ist, wenn sich die schräg stehenden optischen in einem Schnittpunkt der Modulachse mit der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik schneiden.

**[0017]** Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass mindestens eine aktive optische Fläche der Projektionsoptik mit neben- und/oder übereinander angeordneten alternierenden optischen Bereichen zum Erzeugen von im Wesentlichen gleichen Abbildungen der Austrittsfläche der Primäroptik versehen ist, wobei eine erste Gruppe der optischen Bereiche eine erste Abbildung der Austrittsfläche der Primäroptik erzeugt und mindestens eine weitere Gruppe der optischen Bereiche eine mindestens eine weitere Abbildung der Austrittsfläche der Primäroptik erzeugt, wobei die erzeugten Abbildungen in der resultierenden Lichtverteilung in horizontaler Richtung versetzt zueinander angeordnet sind. In diesem Sinne kann mindestens eine aktive optische Fläche der Projektionsoptik streifen- oder schachbrettartig mit den alternierenden Bereichen versehen sein. Jeder Gruppe von Bereichen ist eine eigene optische Achse zugeordnet, die getrennt von den optischen Achsen der anderen Gruppen von Bereichen ist.

**[0018]** Vorzugsweise sind die alternierenden optischen Bereiche auf einer Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik ausgebildet. Bevorzugt ist ferner, dass die alternierenden optischen Bereiche streifenförmig ausgebildet sind, wobei sich die Streifen in vertikaler Richtung erstrecken. Wenn die Projektionsoptik zwei separate Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugt, sind die streifenförmigen Bereiche vorzugsweise abwechselnd einer von zwei Gruppen zugeordnet. Dementsprechend ist vorzugsweise jeder dritte streifenförmige Bereich einer von drei Gruppen zugeordnet, wenn die Projektionsoptik drei separate Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugt.

**[0019]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die aktive optische Fläche der Projektionsoptik mit mehreren, sich über die gesamte Fläche erstreckenden, nebeneinander angeordneten Prismen versehen ist, deren Längsachsen parallel zueinander verlaufen, wobei eine Prismafläche der Prismen die erste Abbildung der Austrittsfläche der Primäroptik erzeugt und die andere Prismafläche der Prismen die zweite Abbildung der Austrittsfläche der Primäroptik erzeugt. Die Prismaflächen können eben oder gewölbt ausgebildet sein.

**[0020]** Gemäß noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass eine Spitze der Prismen über deren gesamte Längserstreckung abgeflacht ist, so dass sich eine Dachfläche der Prismen ergibt, welche eine weitere Abbildung der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugt, die zu den anderen beiden Abbildungen in horizontaler Richtung versetzt ist. Auf diese Weise kann die Projektionsoptik also drei separate, in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugen. Die Abbildungen sind vorzugsweise um b/3 zueinander versetzt, wobei b die Breite, insbesondere eine Winkelbreite, eines Pixels der resultierenden Lichtverteilung, also eine Teil-Abbildung einer Teil-Lichtaustrittsfläche eines Primäroptikelements ist.

**[0021]** Gemäß noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Prismaflächen der Prismen über deren gesamte Längserstreckung jeweils in zwei Teilflächen unterteilt sind, wobei eine Berührungslinie der Teilflächen einer Prismafläche eines Prismas parallel zu der Längsachse des Prismas verläuft, wobei die Teilflächen jeweils eine separate und zu den anderen Abbildungen versetzt angeordnete Abbildung der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugen. Auf diese Weise kann die Projektionsoptik also bei einem Prisma mit Spitze vier separate, in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugen. Bei einem Prisma mit abgeflachter Spitze und Dachfläche kann die Projektionslinse sogar fünf separate, in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik erzeugen. Die Abbildungen sind vorzugsweise um w'/4 bzw. w'/5 zueinander versetzt, wobei w' die Breite, insbesondere eine Winkelbreite, eines Pixels der resultierenden Lichtverteilung, also eine Teil-Abbildung einer Teil-Lichtaustrittsfläche eines Primäroptikelements ist.

**[0022]** Selbstverständlich können auch andere geeignete Strukturen zum Erzeugen der separaten Abbildungen der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik vorgesehen sein. Ferner ist es denkbar, die Strukturen zum Erzeugen der separaten Abbildungen durch eine beliebige Streustruktur zu überlagern.

**[0023]** Schließlich wird vorgeschlagen, dass die auf der mindestens einen aktiven optischen Fläche der Projektionsoptik ausgebildeten alternierenden optischen Bereiche eine Amplitude von weniger als 0,1 mm, vorzugsweise von weniger als einigen zig Mikrometern, ganz besonders bevorzugt von einigen Mikrometern aufweisen.

**[0024]** Durch Verwendung einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik in einem LED-Modul eines Kraftfahrzeugscheinwerfers kann ein erfindungsgemäßes LED-Modul realisiert werden. Ebenso kann durch Verwendung einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik in einem Kraftfahrzeugscheinwerfer ein erfindungsgemäßer Scheinwerfer realisiert werden.

**[0025]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Kraftfahrzeugscheinwerfer gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

Fig. 2 ein erfindungsgemäßes LED-Modul eines Kraftfahrzeugscheinwerfers gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

Fig. 3 eine Lichtverteilung eines aus dem Stand der Technik bekannten Matrix-Scheinwerfers;

Fig. 4 eine erste Abbildung einer Lichtaustrittsfläche einer Primäroptik eines erfindungsgemäßen LED-Moduls;

Fig. 5 eine zweite Abbildung einer Lichtaustrittsfläche einer Primäroptik des erfindungsgemäßen LED-Moduls;

Fig. 6 eine aus einer Überlagerung der Abbildungen aus den Fig. 4 und 5 resultierende Lichtverteilung des erfindungsgemäßen LED-Moduls;

Fig. 7 eine beispielhafte Lichtverteilung mit ISO-Linien auf einem Messschirm eines aus dem Stand der Technik bekannten LED-Moduls;

Fig. 8 eine der Lichtverteilung aus Fig. 7 entsprechende beispielhafte Lichtverteilung eines erfindungsgemäßen LED-Moduls;

Fig. 9 eine erfindungsgemäße Projektionsoptik mit parallelen optischen Achsen;

Fig. 10 eine erfindungsgemäße Projektionsoptik mit schräg stehenden optischen Achsen;

Fig. 11 eine erfindungsgemäße Projektionsoptik mit alternierenden optisch wirksamen Bereichen auf der Lichtaustrittsfläche;

Fig. 12 eine erfindungsgemäße Projektionsoptik mit einer Prisma-Struktur auf der Lichtaustrittsfläche;

Fig. 13 verschiedene Beispiele für Strukturen auf einer optisch aktiven Fläche einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik;

Fig. 14 weitere Beispiele für Strukturen auf einer optisch aktiven Fläche einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik;

Fig. 15 ein Ausschnitt einer Prisma-Struktur auf einer optisch aktiven Fläche einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik; und

Fig. 16 weitere Beispiele für Strukturen auf einer optisch aktiven Fläche einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik.

**[0026]** In Figur 1 ist ein erfindungsgemäßer Kraftfahrzeugscheinwerfer in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet. Der Scheinwerfer 1 weist ein Gehäuse 2 auf, das vorzugsweise aus Kunststoff gefertigt ist. In einer Lichtaustrittsrichtung 3 weist das Scheinwerfergehäuse 2 eine Lichtaustrittsöffnung 4 auf, die mittels einer transparenten Abdeckscheibe 5 verschlossen ist. Die Abdeckscheibe 5 besteht aus Glas oder Kunststoff. Auf der Abdeckscheibe 5 können zumindest bereichsweise optisch wirksame Profile (z.B. Prismen oder Zylinderlinsen) angeordnet sein, um das hindurchtretende Licht zu streuen (sogenannte Streuscheibe). Es ist aber auch denkbar, dass die Abdeckscheibe 5 ohne solche optisch wirksamen Elemente ausgebildet ist (sogenannte klare Scheibe).

**[0027]** Im Inneren des Scheinwerfergehäuses 2 ist ein Lichtmodul 6 angeordnet. Das Lichtmodul 6 kann zur Erzeugung einer beliebigen Scheinwerferfunktion oder eines Teils davon dienen. Insbesondere kann das Lichtmodul 6 zur Erzeugung einer Abblendlichtverteilung, einer Fernlichtverteilung, einer Nebellichtverteilung oder einer beliebigen adaptiven Lichtverteilung dienen. Ferner kann in dem Gehäuse 2 ein weiteres Lichtmodul 7 angeordnet sein. Dieses dient bspw. zur Erzeugung einer weiteren Scheinwerferfunktion. Es wäre aber auch denkbar, dass die Lichtmodule 6, 7 zusammen eine bestimmte Scheinwerferfunktion erzeugen. So könnte beispielsweise das Lichtmodul 7 eine Abblendlicht-Grundlichtverteilung mit einer relativ breiten Streuung und einer horizontalen Hell-Dunkel-Grenze erzeugen. Das Lichtmodul 6 könnte dann eine Abblendlicht-Spotlichtverteilung erzeugen, die im Vergleich zu der Abblendlicht-Grundlichtverteilung des Lichtmoduls 7 relativ stark konzentriert ist und an der Oberseite eine asymmetrische Hell-Dunkel-Grenze aufweist. Eine Überlagerung der Grundlichtverteilung und der Spotlichtverteilung ergibt eine herkömmliche Abblendlichtverteilung. Selbstverständlich ist es denkbar, dass in dem Scheinwerfergehäuse 2 außer den Lichtmodulen 6, 7 noch weitere Lichtmodule angeordnet sind. Außerdem kann in dem Scheinwerfergehäuse 2 lediglich ein Lichtmodul, beispielsweise das Lichtmodul 6 ohne das Lichtmodul 7, angeordnet sein. Schließlich ist es möglich, dass in dem Gehäuse 2 auch eines oder mehrere Leuchtenmodule, wie das beispielhaft eingezeichnete Leuchtenmodul 8, angeordnet sind. Das Leuchtenmodul 8 dient zur Erzeugung einer beliebigen Leuchtenfunktion, beispielsweise eines Blinklichts, eines Positionslichts, eines Tagfahrlichts, etc.

**[0028]** Das Lichtmodul 6 ist vorzugsweise als ein erfindungsgemäßes LED-Modul ausgebildet. Das LED-Modul 6 ist im Detail in Figur 2 gezeigt. Das LED-Modul 6 weist eine Lichtquelle in Form einer LED-Matrix auf, die in ihrer Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 10 bezeichnet ist. Die LED-Matrix 10 weist mehrere matrixartig neben- und übereinander

angeordnete LED-Chips 11 auf. Ferner umfasst das LED-Modul 6 eine Primäroptik, die in ihrer Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 12 bezeichnet ist. Die Primäroptik 12 weist mehrere matrixartig neben- und übereinander angeordnete Primäroptikelemente 13 auf. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist jedem LED-Chip 11 ein eigenes Primäroptikelement 13 zugeordnet. Wie anhand des Ausschnitts I, der ein solches Primäroptikelement 13 zusammen mit einem ihm zugeordneten LED-Chip 11 zeigt, gezeigt, sendet der LED-Chip 11 Licht in einer Hauptabstrahlrichtung 14 aus, das größtenteils über eine Lichteintrittsfläche 15 in das Primäroptikelement 13 einkoppelt. Das Primäroptikelement 13 selbst kann als ein herkömmlicher Reflektor für Spiegelreflexion oder als ein sogenanntes Vorsatzoptikelement aus einem transparenten Material (z.B. Glas oder Kunststoff) für Totalreflexion ausgebildet sein. In dem dargestellten Beispiel ist das Primäroptikelement 13 als eine totalreflektierende Vorsatzoptik aus einem transparenten Kunststoffmaterial ausgebildet. Die Primäroptik 12 kann das von der LED-Matrix 10 ausgesandte Licht bündeln. Schließlich umfasst das LED-Modul 6 eine Projektionsoptik 16, die als eine optische Linse ausgebildet ist. Die Projektionsoptik 16 wird auch als Sekundäroptik bezeichnet. Sie projiziert eine Austrittsfläche 17 der Primäroptik 12 zur Erzeugung einer vorgegebenen Lichtverteilung auf eine Fahrbahn vor ein mit dem Scheinwerfer 1 und dem LED-Modul 6 ausgestattetes Fahrzeug. Die Projektionsoptik 16 kann als eine herkömmliche optische Linse oder als ein Achromat ausgebildet sein.

**[0029]** Der Scheinwerfer 1 mit dem LED-Modul 6 wird auch als ein Matrix-Scheinwerfer bezeichnet, da er eine Lichtverteilung mit mehreren neben- und/oder übereinander angeordneten pixel- oder streifenförmigen Teillichtverteilungen erzeugt. Die einzelnen Teillichtverteilungen, die von dem Licht einer LED 11 und dem zugehörigen Primäroptikelement 13 erzeugt werden, werden auch als Pixel bezeichnet. Jede der Teillichtverteilungen wird durch die Abbildung einer Teil-Lichtaustrittsfläche eines einzelnen Primäroptikelements 13 der Primäroptik 12 mittels der Projektionsoptik 16 erzeugt. In Figur 3 ist beispielhaft eine Lichtverteilung eines aus dem Stand der Technik bekannten Matrix-Scheinwerfers 1 gezeigt. Die Lichtverteilung 20 ist auf einem Messschirm 21 abgebildet, der in einem definierten Abstand zu dem Scheinwerfer 1 bzw. dem LED-Modul 6 vor dem Kraftfahrzeug angeordnet ist. Auf dem Messschirm sind zudem eine Horizontale HH sowie eine dazu senkrecht verlaufende Vertikale VV eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass die hier beispielhaft dargestellte Lichtverteilung 20 eine Vielzahl von neben- und übereinander angeordneten Pixeln 22, 23, 24 aufweist. Insbesondere sind die Pixel 22, 23, 24 in dem dargestellten Ausführungsbeispiel in drei Reihen sowie in dreißig Spalten angeordnet. Die Pixel der oberen Reihe sind mit dem Bezugszeichen 22, die Pixel der mittleren Reihe mit dem Bezugszeichen 23 und die Pixel der unteren Reihe mit dem Bezugszeichen 24 bezeichnet. Jedes Pixel 22, 23, 24 der dargestellten Lichtverteilung 20 wird durch einen LED-Chip 11 im Zusammenwirken mit dem zugeordneten Primäroptikelement 13 nach Projektion durch die Sekundäroptik 16 erzeugt.

**[0030]** Durch ein gezieltes Ansteuern der einzelnen LED-Chips 11 der LED-Matrix 12 ist es möglich, die resultierende Lichtverteilung 20 nahezu beliebig zu variieren. So ist es beispielsweise denkbar, diejenigen LED-Chips 11 vorübergehend auszuschalten, in deren Pixel-Bereich der Lichtverteilung 20 andere Verkehrsteilnehmer detektiert worden sind. Auf diese Weise kann kontinuierlich mit Fernlicht gefahren werden, wobei eine Blendung anderer Verkehrsteilnehmer durch die lokal aus der Lichtverteilung 20 herausgenommenen Pixel 22, 23, 24 verhindert wird (sogenanntes Teilfernlicht). Ebenso wäre es denkbar, dass das LED-Modul 6 eine Abblendlichtverteilung mit asymmetrischer oberer Hell-Dunkel-Grenze erzeugt, wobei die LED-Chips 11 zur Erzeugung der oberen Reihe der Pixel 22 bis auf einige wenige LED-Chips 11 zur Erzeugung der Pixel 22 auf der eigenen Verkehrsseite ausgeschaltet sind. Zusätzlich wäre es denkbar, auf einer Fahrbahn vor dem Kraftfahrzeug detektierte Objekte durch gezieltes Einschalten einzelner LED-Chips 11 zur Erzeugung eines oder mehrerer Pixel 22, 23 oberhalb der Hell-Dunkel-Grenze der Abblendlichtverteilung einzuschalten, damit die vor der Fahrbahn detektierten Objekte gezielt angestrahlt werden können (sog. Markierungslicht oder Markerlight). Auch beliebig andere adaptive Lichtverteilungen 20 können durch gezieltes Ein-/ Ausschalten und/oder Dimmen der LEDs 11 erzielt werden.

**[0031]** Insbesondere entlang des Rands der einzelnen Pixel 22, 23, 24 kann die resultierende Lichtverteilung 20 einen unerwünschten Farbsaum aufweisen. Zudem kann es in der Lichtverteilung 20 zu deutlich sichtbaren Intensitätsschwankungen kommen. Mit der vorliegenden Erfindung soll die Homogenität der Lichtverteilung 20 hinsichtlich störender Farbeffekte und Intensitätsschwankungen verbessert werden.

**[0032]** Die vorliegende Erfindung schlägt insbesondere eine spezielle homogenisierende Projektionsoptik (oder Sekundäroptik) 16 als Bestandteil eines Matrix-Scheinwerfers 1 für Kraftfahrzeuge vor, in dem eine Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 aus mehreren pixel- oder streifenförmig aneinander gereihten periodischen Strukturen besteht, die durch die spezielle Projektionsoptik 16 auf die Fahrbahn projiziert wird, um eine dynamische Abblendlicht-, Teilfernlicht-, Matrixlicht- oder Fernlichtfunktion zu realisieren. Die Projektionsoptik 16 erzeugt auf der Bildseite, d.h. auf der Fahrbahn oder auf einem Messschirm 21, mindestens zwei separate Abbildungen 25, 26 (vgl. Figuren 4 und 5) der objektseitig befindlichen Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12. Durch eine Überlagerung der mindestens zwei separaten Abbildungen 25, 26 ergibt sich eine resultierende Lichtverteilung 27 (vgl. Figur 6), wobei die mindestens zwei Abbildungen 25, 26 derart in horizontaler Richtung zueinander versetzt sind, dass sich eine deutliche Verbesserung der Homogenität der Lichtverteilung 27 ergibt. Insbesondere werden unerwünschte Farbeffekte oder Intensitätsschwankungen in der Lichtverteilung 27 gezielt verringert bzw. sogar ganz eliminiert. Die separaten Abbildungen 25, 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 werden durch eine gemeinsame Projektionsoptik 16 erzeugt.

**[0033]** Eine erste Abbildung 25 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12, die durch die erfindungsgemäße Projektionsoptik 16 erzeugt werden kann, ist beispielhaft in Figur 4 gezeigt. Die Abbildung 25 aus Figur 4 ist in dem dargestellten Beispiel um etwa 1/4 Pixel nach links bezüglich der Vertikalen VV versetzt. In Figur 5 ist eine zweite Abbildung 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 dargestellt. Die zweite separate Abbildung 26 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel um etwa ¼ Pixel nach rechts bezüglich der Vertikalen VV verschoben. Damit sind die erste und die zweite Abbildung 25, 26 um etwa 1/2 Pixel relativ zueinander versetzt. Jede Abbildung 25, 26 trägt den halben gemeinsamen Lichtstrom zu der resultierenden Gesamtlichtverteilung 27 bei bzw. die halbe Intensität und die halbe Beleuchtungsstärke zum Gesamtwert der Lichtverteilung 27. Da die Kanten der Pixel 22, 23, 24 und die Pixelmitten der Abbildungen 25, 26 nicht übereinander liegen, kompensieren sich Farb- und Intensitäts-Inhomogenitäten durch Überlagerung der Abbildungen 25, 26 gegenseitig. Damit ist es mit der vorliegenden Erfindung möglich, aus nur einem LED-Modul 6 mit einer Primäroptik 12 und einer Projektionsoptik 16 eine wesentlich homogenere Lichtverteilung 27 zu generieren als dies im Stand der Technik unter vergleichbaren Bedingungen bzw. Voraussetzungen möglich ist.

**[0034]** Die Intensität der Einzelabbildungen 25, 26 hängt ab von der Länge der Prismenflächen bzw. vom Anteil der Prismenbasisfläche, welcher der entsprechenden Prismenfläche zugeordnet ist. Eine bevorzugte Ausführungsform umfasst Prismen mit gleichen Prismenbasisflächenanteilen.

**[0035]** Zur Veranschaulichung der Erfindung wird auf die in den Figuren 7 und 8 gezeigten Lichtverteilungen 20, 27 mit eingezeichneten ISO-Linien (Isolux-Linien zur Bezeichnung von Bereichen gleicher Beleuchtungsstärke) verwiesen. In Figur 7 ist die Lichtverteilung 20 gezeigt, die mittels eines herkömmlichen LED-Moduls erzeugt wurde. Bei der dargestellten Lichtverteilung 20 handelt es sich um eine Abblendlichtverteilung bzw. um ein Teilfernlicht, wobei der gesamte Bereich der Gegenfahrbahn aus der Lichtverteilung 20 herausgenommen wurde, um eine Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer zu verhindern. Die Lichtverteilung 20 ist auf einem Messschirm 21 abgebildet. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Linien 30 gleicher Intensität bzw. Beleuchtungsstärke Inhomogenitäten aufweisen, die durch den unruhigen Linienverlauf erkennbar sind. Im Gegensatz dazu weisen die Linien 31 gleicher Intensität bzw. Beleuchtungsstärke bei der mit dem erfindungsgemäßen Matrix-Scheinwerfer 1 bzw. dem erfindungsgemäßen LED-Modul 6 erzeugten Lichtverteilung 27 deutlich weniger Inhomogenitäten auf, was durch den deutlich ruhigeren Linienverlauf erkennbar ist.

**[0036]** Die Figuren 7 und 8 zeigen exemplarisch das gleiche Abblendlichtmuster 20, 27 eines Matrix-Scheinwerfers 1 mit einer LED-Matrixlichtquelle 10 mit drei Zeilen. Alle LED-Chips 11 der LED-Matrix 10, die Pixel der oberen und unteren Zeile auf der linken Seite der Lichtverteilung 20, 27 erzeugen, plus jeweils ein Pixel auf der rechten Seite der Lichtverteilung 20, 27 neben dem HV-Punkt sind ausgeschaltet, um den Gegenverkehr nicht zu blenden. Die ISO-Linien 30 in Figur 7 verlaufen deutlich unruhiger. Die ISO-Linien 31 der Lichtverteilung 27 aus Figur 8 sind dagegen glatter und mit weniger Abweichungen versehen

**[0037]** In Figur 9 ist ein erfindungsgemäßes LED-Modul 6 mit einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik 16 im Detail dargestellt. Die dargestellte Ausführungsform der Projektionsoptik 16 dient zur Erzeugung zweier separater Abbildungen 25, 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12. Selbstverständlich kann die Projektionsoptik 16 auch so ausgestaltet werden, dass sie mehr als zwei separate und zueinander in horizontaler Richtung verschobene Abbildungen erzeugt. Die Projektionsoptik 16 weist zwei parallele optische Achsen auf, die mit den Bezugszeichen 40 und 41 bezeichnet sind. Mit dem Bezugszeichen 42 ist eine Modulachse des LED-Moduls 6 bezeichnet, die von der Mitte der Primäroptik 12 in Fahrtrichtung 3 verläuft. Der Abstand zwischen den optischen Achsen 40, 41 ist gering und lediglich so groß, dass die Projektionsoptik 16 zwei separate Abbildungen 25, 26 mit 1/2 Pixelabstand auf die Fahrbahn vor das Kraftfahrzeug projizieren kann. Die optischen Achsen 40, 41 sind vorzugsweise auf einer gemeinsamen horizontalen Ebene angeordnet, die vorzugsweise auch die Modulachse 42 umfasst. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Projektionsoptik 16 entlang einer vertikalen Mittelebene, welche die Modulachse 42 umfasst, in zwei Hälften 16a, 16b unterteilt. Der einen Hälfte 16a ist vorzugsweise die optische Achse 41 und der anderen Hälfte 16b vorzugsweise die optische Achse 40 zugeordnet.

**[0038]** Es ist nicht erforderlich, dass alle aktiven optischen Flächen der Projektionsoptik 16 eine Teilung und/oder Verschiebung der erzeugenden Flächen erfahren müssen. Es reicht völlig aus, wenn lediglich eine dieser Flächen in entsprechender Weise ausgeformt ist. Dies kann beispielsweise eine Lichteintrittsfläche, eine Lichtaustrittsfläche oder eine dazwischen angeordnete Fläche der Primäroptik 16 sein. Mindestens eine der aktiven optischen Flächen der Projektionsoptik 16 muss jedoch so modifiziert sein, dass die mindestens zwei Abbildungen 25, 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugt werden können, die in horizontaler Richtung zueinander versetzt sind.

**[0039]** In Figur 10 ist eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen LED-Moduls 6 mit zwei optischen Achsen 43, 44 gezeigt, die schräg zueinander verlaufen. Vorzugsweise schneiden sich die optischen Achsen 43, 44 in einer Ebene der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12. Auch die optischen Achsen 43, 44 sind vorzugsweise auf einer gemeinsamen horizontalen Ebene angeordnet, die vorzugsweise auch die Modulachse 42 umfasst. In der dargestellten Ausführungsform ist eine erste Hälfte 16a der Projektionsoptik 16 der optischen Achse 44 und eine zweite Hälfte 16b der Projektionsoptik 16 der optischen Achse 43 zugeordnet.

**[0040]** Eine andere bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Projektionsoptik 16 basiert auf einer speziellen Struktur auf einer der aktiven optischen Flächen der Projektionsoptik 16. In Figur 11 ist ein entsprechendes

Ausführungsbeispiel gezeigt, wobei auf der Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16 nebeneinander angeordnete alternierende optische Bereiche 16c, 16d ausgebildet sind. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Bereiche 16c, 16d streifenförmig auf der Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16 angeordnet. Selbstverständlich können die Bereiche auch schachbrettartig oder in beliebiger anderer Weise ausgebildet sein. Ferner ist es denkbar, dass die optischen Bereiche 16c, 16d nicht auf der Lichtaustrittsfläche, sondern auf der Lichteintrittsfläche oder einer beliebig anderen Fläche zwischen der Lichteinrittsfläche und der Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16 ausgebildet sind. Die optischen Bereiche 16c, 16d sind zum Erzeugen von im Wesentlichen gleichen Abbildungen 25, 26 der Austrittsfläche 17 der Primäroptik 12 ausgebildet. Dabei erzeugen alle Bereiche 16c zusammen eine erste Abbildung der Lichtaustrittsfläche 17 und alle Bereiche 16d zusammen eine zweite Abbildung 26 der Austrittsfläche 17. Den ersten optischen Bereichen 16c ist vorzugsweise die erste optische Achse 40 und den zweiten optischen Bereichen 16d ist vorzugsweise die zweite optische Achse 41 zugeordnet. Auch auf diese Weise kann eine Projektionsoptik 16 realisiert werden, die mehrere separate Abbildungen 25, 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugen kann, die in horizontaler Richtung relativ zueinander versetzt sind. Bei dem Ausführungsbeispiel aus Figur 11 bilden also die ersten optischen Bereiche 16c eine erste Gruppe, welche die erste Abbildung 25 der Austrittsfläche 17 erzeugen, und die zweiten Bereiche 16d bilden eine zweite Gruppe, welche die zweite Abbildung 26 der Austrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugen.

**[0041]** In Figur 11 sind die ersten Bereiche 16c mit einer Schraffur gekennzeichnet. Diese dient jedoch in erster Linie zur Kenntlichmachung und zur besseren Unterscheidung der beiden Bereiche 16c, 16d voneinander. Das bedeutet nicht zwangsläufig, dass auf der Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16 in den Bereichen 16c eine optisch wirksame Struktur, beispielsweise eine Streustruktur, ausgebildet ist, wohingegen in den Bereichen 16d eine solche Struktur nicht ausgebildet ist. Allerdings wäre dies durchaus möglich. Ebenso wäre es denkbar, auf der gesamten Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16 eine Streustruktur vorzusehen.

**[0042]** In Figur 12 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen LED-Moduls 6 bzw. einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik 16 gezeigt. Dabei ist eine aktive optische Fläche der Projektionsoptik 16, in dem dargestellten Ausführungsbeispiel die Lichtaustrittsfläche, mit mehreren, sich über die gesamte Fläche erstreckenden, nebeneinander angeordneten Prismen versehen, deren Längsachsen parallel zueinander und in vertikaler Richtung verlaufen. Eine erste Prismafläche 16e der Prismen erzeugt eine erste Abbildung 25 der Austrittsfläche 17 der Primäroptik 12. Eine andere Prismafläche 16f der Prismen erzeugt eine zweite Abbildung 26 der Austrittsfläche 17 der Primäroptik 12. Somit bildet jeweils eine erste Prismafläche 16e mit einer zweiten Prismafläche 16f eines der Prismen auf der Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16. Vorzugsweise ist den ersten Prismenflächen 16e die erste optische Achse 41 und den anderen Prismenflächen 16f die zweite optische Achse 42 zugeordnet. Auch auf diese Weise können separate Abbildungen 25, 26 der Austrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugt werden, die in horizontaler Richtung versetzt zueinander sind.

**[0043]** Die Amplituden der Prismenstruktur auf der Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik 16 aus Figur 12 sind relativ klein, so dass sie mit bloßem Auge nur schwer erkennbar sind. Insbesondere ist an eine Größenordnung der Amplituden von einigen Mikrometern bis zu einigen zehn Mikrometern gedacht. Die Strukturen werden von einem Beobachter von außerhalb des Scheinwerfers 1 durch die Abdeckscheibe 5 hindurch somit allenfalls als leicht angedeutete Streifen oder alternativ als relativ unauffälliges Schachbrettmuster auf der Projektionsoptik 16 wahrgenommen.

**[0044]** In Figur 13 sind verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten der Prismastruktur auf der optisch aktiven Fläche der Projektionsoptik 16 vorgeschlagen. In jeder der Teilfiguren 13a), 13b), 13c) ist oben jeweils ein Querschnitt durch eines der Prismen gezeigt, und darunter sind die durch die gezeigte Prismenstruktur erzielbaren Abbildungen der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 dargestellt.

**[0045]** Die Prismenstruktur aus Figur 13a) entspricht der Prismenstruktur, die bei dem Ausführungsbeispiel der Projektionsoptik 16 aus Figur 12 angewandt wurde. Die dadurch erzielbaren Abbildungen 25 und 26 sind um 1/2 Pixelbreite w' zueinander versetzt. Bei dem Ausführungsbeispiel aus Figur 13b) ist eine Spitze der Prismen 16e, 16f über deren gesamte Längserstreckung abgeflacht, so dass sich eine Dachfläche 16g der Prismen ergibt, welche eine weitere Abbildung 28 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugt, die zu den anderen beiden Abbildungen 25, 26, die durch die Prismenflächen 16e, 16f erzeugt werden, in horizontaler Richtung versetzt ist. Die drei Abbildungen 25, 26, 28 sind vorzugsweise um 1/3 Pixelbreite w' in horizontaler Richtung zueinander versetzt. Um die gewünschte Teilung auf 1/3 der Pixel- oder Streifenbreite w' zu erreichen, muss der Prismenwinkel $\alpha$ in geeigneter Form angepasst werden. Die Fläche 16g erzeugt ein Abbild 28 im Zentrum der Lichtverteilung. Bei der Ausführungsform aus Figur 13c) sind die Prismenflächen 16e, 16f der Prismen über deren gesamte Längserstreckung jeweils in zwei Teilflächen 16e1, 16e2; 16f1, 16f2 unterteilt. Dabei verläuft eine Berührungslinie der Teilflächen 16e1,16e2; 16f1, 16f2 einer Prismafläche 16e; 16f eines Prismas parallel zu einer Längsachse des Prismas. Die Teilflächen 16e1,16e2; 16f1, 16f2 einer Prismafläche 16e; 16f erzeugen zwei separate und versetzt zueinander angeordnete Abbildungen 25, 28; 26, 29, die auch zu den anderen Abbildungen 26, 29; 25, 28 versetzt sind. Insbesondere wird vorgeschlagen, dass die vier Abbildungen 25, 26, 28, 29 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 jeweils um 1/4 Pixelbreite w' zueinander versetzt sind.

**[0046]** Selbstverständlich wäre es denkbar, durch andere Ausgestaltungen der Prismenstruktur auch mehr als vier Abbildungen der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 zu erzeugen. So wäre es beispielsweise denkbar, dass bei

der Prismenstruktur aus Figur 13c) die Spitze der Prismen über deren gesamte Längserstreckung abgeflacht ist, so dass sich eine Dachfläche ähnlich der Dachfläche 16c der Prismenstruktur aus Figur 13b) ergibt, welche eine weitere Abbildung der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugt.

**[0047]** In Figur 14 sind weitere mögliche Ausgestaltungen der Prismenstruktur auf der optisch aktiven Fläche der Projektionsoptik 16 dargestellt. Die eigentlichen Prismen der Figur 14a), 14b), 14c) entsprechen im Wesentlichen den Prismen aus den Figuren 13a), 13b), 13c). Bei dem Ausführungsbeispiel aus Figur 14 sind jedoch gerade Abschnitte 16h zwischen den einzelnen Prismen 16e, 16f vorgesehen. Dadurch ist es möglich, mit der Prismenstruktur aus Figur 14a) insgesamt zwei plus eine gleich drei separate Abbildungen der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 zu erzeugen. Ebenso ist es mit der Prismenstruktur gemäß Figur 14b) möglich, insgesamt zwei plus zwei gleich vier separate Abbildungen zu erzeugen. Die Streifen 16g und 16h können identische Abbilder erzeugen, denn die optischen Achsen werden nicht zueinander verkippt, und dadurch liegen die Abbilder übereinander. In entsprechender Weise können durch die Prismenstruktur aus Figur 14c) vier plus eine gleich fünf Abbildungen der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 erzeugt werden.

**[0048]** Anhand der Figuren 15 und 16 wird nachfolgend erläutert, wie die Höhe der Prismenstruktur einer erfindungsgemäßen Projektionslinse 16 berechnet werden kann. Dabei wird in Figur 15 beispielhaft von der Prismenstruktur gemäß Figur 12 und Figur 13a) ausgegangen. In Figur 15 bedeuten:

h = Prismenhöhe in Millimeter,
w = Wellenlänge (eine Periode) der Prismenstruktur (oder Basisbreite eines Prismas) in Millimeter,
$\varepsilon$ = Lichteinfallswinkel bezüglich einer Flächennormalen der Prismenfläche 16f,
$\omega$ = Lichtauskoppelwinkel bezüglich der Flächennormalen der Prismenfläche 16f,
$\delta$ = $\omega$ - $\varepsilon$ = Winkeldifferenz zwischen einfallendem Lichtstrahl und ausgekoppeltem Lichtstrahl,
$\alpha$ = Prismenwinkel bezüglich eines Lots bzw. Winkel einer Prismenfläche 16e, 16f bezüglich einer Lotfläche, und
$\varphi$ = Pixelbreite in Winkelgrad.

**[0049]** In der Prismenstruktur aus Figur 15 gilt folgender Zusammenhang:

$$\tan\alpha = \frac{h}{\frac{w}{2}} = \frac{2h}{w} \qquad (1)$$

**[0050]** Zudem gilt die Snell'sche Gleichung:

$$\frac{\sin\varepsilon}{\sin\omega} = \frac{n_L}{n_{PMMA}} \qquad (2)$$

**[0051]** Daraus ergibt sich nach dem Umformen und mit $n_L$=1 für Luft:

$$\sin\omega = n_{PMMA} \cdot \sin\varepsilon \qquad (2')$$

**[0052]** Für $\omega$ ergibt sich somit:

$$\omega = \arcsin\left(n_{PMMA} \cdot \sin\varepsilon\right) \qquad (3)$$

**[0053]** Ferner gilt:

$$\delta = \omega - \varepsilon = \arcsin\left(n_{PMMA} \cdot \sin\varepsilon\right) - \varepsilon \overset{!}{=} \frac{1}{4}\overbrace{Pixelbreite\,[°]}^{\varphi} \qquad (4)$$

**[0054]** Die Winkeldifferenz muss für zwei separate Abbildungen 25, 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12 also +/- 1/4 Pixelbreite sein, damit die beiden Abbildungen 25, 26 um 1/2 Pixelbreite zueinander versetzt sind. Damit ergibt sich aus Gleichung (4):

$$\arcsin\left(n_{PMMA} \cdot \sin\varepsilon\right) = \frac{\varphi}{4} + \varepsilon \qquad (5)$$

und nach einer Umformung

$$n_{PMMA} \cdot \sin\varepsilon = \sin\left(\frac{\varphi}{4} + \varepsilon\right) \qquad (6)$$

bzw.

$$n_{PMMA} \cdot \sin\varepsilon = \sin\frac{\varphi}{4} \cdot \cos\varepsilon + \cos\frac{\varphi}{4} \cdot \sin\varepsilon \qquad (7)$$

und

$$\left(n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{4}\right) \cdot \sin\varepsilon = \sin\frac{\varphi}{4} \cdot \cos\varepsilon \qquad (8)$$

Daraus ergibt sich

$$\tan\varepsilon = \frac{\sin\frac{\varphi}{4}}{n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{4}} \qquad (9)$$

bzw.

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{\sin\frac{\varphi}{4}}{n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{4}}\right) \qquad (10)$$

**[0055]** Für $\alpha = \varepsilon$ ergibt sich:

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{h}{\frac{W}{2}}\right) = \arctan\left(\frac{2h}{W}\right) \qquad (11)$$

**[0056]** Aus den Gleichungen (10) und (11) folgt:

$$\frac{2h}{w} = \frac{\sin\frac{\varphi}{4}}{n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{4}} \qquad (12)$$

**[0057]** Somit ergibt sich für einen 1/2 Pixelversatz für die erforderliche Prismenhöhe h:

$$h_{\frac{1}{2}Pixelversatz} = \frac{w}{2} \cdot \frac{\sin\frac{\varphi}{4}}{n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{4}} \qquad (13)$$

**[0058]** Bei einem 1/2 Pixelversatz werden die Abbilder 25, 26 um φ/2 zueinander verschoben (+/-φ/4). Dabei handelt es sich um eine sog. Kompensation 1. Ordnung. Für eine Kompensation 2. Ordnung müssen zwei 2er-Abbildungsgruppen zueinander verschoben werden. Nachfolgend wird erläutert, wie man die Prismenhöhe h für eine Kompensation 2. Ordnung ermitteln kann:

$$h_{\frac{1}{4}Pixelversatz} = Pixelversatz\ von\ \frac{\varphi}{4} = +/-\frac{\varphi}{8}$$

**[0059]** Damit ergibt sich für die Prismenhöhe h:

$$h_{\frac{1}{4}Pixelversatz} = \frac{2w}{2} \frac{\sin\frac{\varphi}{8}}{n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{8}} \qquad (14)$$

**[0060]** Bei sehr kleinen Winkeln gilt:

$$\sin\vartheta = \vartheta\ und\ \sin\frac{\vartheta}{2} = \frac{\vartheta}{2}\ und\ \sin\frac{\varphi}{8} = \frac{1}{2}\sin\frac{\varphi}{4}$$

$$\cos\frac{\varphi}{4} \approx \cos\frac{\varphi}{8} \approx 1$$

**[0061]** Damit ergibt sich für die Prismenhöhe h für die Kompensation 2. Ordnung:

$$h_{\frac{1}{4}Pixelversatz} = \frac{2w}{2} \cdot \frac{1}{2} \frac{\sin\frac{\varphi}{4}}{n_{PMMA} - \cos\frac{\varphi}{4}} = h_{\frac{1}{2}Pixelversatz} \qquad (15)$$

**[0062]** Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass für kleine Winkel die Kompensation 1. Ordnung, 2. Ordnung usw. mit Dreieckstrukturen erfolgen, die sich überlagern, und die eine 2-fache, 4-fache usw. Wellenlänge und die gleiche Amplitude haben. In Figur 16 ist beispielhaft ein Ausschnitt einer Oberflächenstruktur für eine optisch aktive Fläche einer erfindungsgemäßen Projektionsoptik 16 dargestellt. Dabei ist die Struktur 1. Ordnung mit einer durchgezogenen Linie 50 eingezeichnet, eine Struktur 2. Ordnung mit einer gestrichelten Linie 51 und eine Summe der beiden Strukturen 50, 51 mit dem Bezugszeichen 52.

**[0063]** Die Struktur 1. Ordnung 50 generiert zwei separate Abbilder 25, 26 der Lichtaustrittsfläche 17 der Primäroptik 12, die um 1/2 Pixelbreite zueinander verschoben sind. Die Prismenstruktur 2. Ordnung 51 hat die halbe Frequenz

(doppelte Periode) und verkippt mit einer ihrer Flanken (Prismenflächen) immer zwei benachbarte Flanken (eine ganze Periode) der Struktur 1. Ordnung 50 und führt somit zu einer Verschiebung der Abbildungen zueinander von 1/4 Pixelbreite.

**[0064]** Die Prismenstruktur 52 ist die Summe (resultierende) der Prismenstruktur 1. Ordnung 50 und der Prismenstruktur 2. Ordnung 51.

**[0065]** Die Amplitude h der Struktur 1. Ordnung 50 hängt mit dem erforderlichen Auslenkwinkel von +/- 0,3° zusammen. Bei einer Periode (Wellenlänge w) von 2 mm und einer Brechzahl $N_{PMMA}$ = 1,49 und von $n_{Luft}$ = 1,0 ergibt sich für die Prismenhöhe h:

$$h_{\frac{1}{2}Pixelversatz} = \frac{w}{2} \cdot \frac{\sin 0{,}3°H}{n_{PMMA} - \cos 0{,}3°H} = 10{,}7\mu m$$

**[0066]** Die errechnete Prismenhöhe h = 10,7 μm ist relativ groß. Daher wird die Wellenlänge w von ursprünglich 2 mm auf 1 mm halbiert. Damit ergibt sich dann für die Amplitude h der Prismenstruktur:

$$h_{\frac{1}{2}Pixelversatz} = \frac{w = 1mm}{2} \cdot \frac{\sin 0{,}3°H}{1{,}49 - \cos 0{,}3°H} = 5{,}3\mu m$$

**[0067]** Die Prismenstruktur 51 wird über die Prismenstruktur 1. Ordnung 50 gelegt, soll aber nur die halbe Auslenkung erreichen (1/2 · 1/2 Pixel → +/- 0,15° H). Aus der Gleichung (14) ergibt sich damit:

$$h_{\frac{1}{4}Pixelversatz} = \frac{2w}{2} \frac{\sin 0{,}15°H}{1{,}49 - \cos 0{,}15°H} = 5{,}3\mu m$$

**[0068]** Somit wird also das Ergebnis aus Gleichung (15) bestätigt. Die Prismenstruktur 2. Ordnung 51 hat die gleiche Amplitude h wie die Prismenstruktur 1. Ordnung 50. Auf die beschriebene Weise können grundsätzlich auch Anpassungen höherer Ordnung generiert werden.

## Patentansprüche

1. Projektionsoptik (16) zum Einsatz in einem LED-Modul (6) eines Kraftfahrzeugscheinwerfers (1), wobei das LED-Modul (6) eine Lichtquelle (10) in Form einer LED-Matrix, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete LED-Chips (11) umfasst, eine Primäroptik (12), die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete Primäroptikelemente (13) umfasst, zum Bündeln des von der Lichtquelle (10) ausgesandten Lichts und die Projektionsoptik (16) aufweist, wobei die Projektionsoptik (16) eine Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) zur Erzeugung einer vorgegebenen Lichtverteilung (27) auf eine Fahrbahn vor das Fahrzeug projiziert, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Projektionsoptik (16) derart ausgebildet ist, dass sie auf ihrer Bildseite mindestens zwei separate, in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen (25, 26, 28, 29) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt, so dass eine Überlagerung der erzeugten Abbildungen (25, 26, 28, 29) eine Homogenität der Lichtverteilung (27) verbessert.

2. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die separaten Abbildungen (25, 26, 28, 29) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) jeweils um einen Wert w'/n zueinander versetzt sind, wobei w' eine Breite, insbesondere eine Winkelbreite, eines durch die Abbildung einer einzelnen Lichtaustrittsfläche eines einzelnen Primäroptikelements (13) gebildeten Pixels in der resultierenden Lichtverteilung (27) und n eine Anzahl der von der Projektionsoptik (16) erzeugten separaten Abbildungen (25, 26, 28, 29) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) ist.

3. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Projektionsoptik (16) die Homogenität der Lichtverteilung (27) im Hinblick auf einen Ausgleich von Intensitätsschwankungen und von unerwünschten Farbeffekten in der Lichtverteilung verbessert.

4. Projektionsoptik (16) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Projektionsoptik (16) mindestens zwei getrennte optische Achsen (40, 41; 43, 44) aufweist.

5. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die getrennten optischen Achsen (40, 41; 43, 44) der Projektionsoptik (16) in derselben horizontalen Ebene verlaufen.

6. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die getrennten optischen Achsen (40, 41) der Projektionsoptik (16) parallel und beabstandet zueinander verlaufen.

7. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die getrennten optischen Achsen (43, 44) der Projektionsoptik (16) schräg zueinander verlaufen.

8. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die optischen Achsen (43, 44) der Projektionsoptik (16) in einer Ebene der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) schneiden.

9. Projektionsoptik (16) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine aktive optische Fläche der Projektionsoptik (16) mit neben- und/oder übereinander angeordneten alternierenden optischen Bereichen (16c, 16d) zum Erzeugen von im Wesentlichen gleichen Abbildungen (25, 26) der Austrittsfläche (17) der Primäroptik (12) versehen ist, wobei eine erste Gruppe (16c) der optischen Bereiche eine erste Abbildung (25) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt und mindestens eine weitere Gruppe (16d) der optischen Bereiche mindestens eine weitere Abbildung (26) der Austrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt, wobei die erzeugten Abbildungen (25, 26) in der resultierenden Lichtverteilung (27) in horizontaler Richtung versetzt zueinander angeordnet sind.

10. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die alternierenden optischen Bereiche (16c, 16d) auf einer Lichtaustrittsfläche der Projektionsoptik (16) ausgebildet sind.

11. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die alternierenden optischen Bereiche (16c, 16d) streifenförmig ausgebildet sind, wobei sich die Streifen in vertikaler Richtung erstrecken.

12. Projektionsoptik (16) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aktive optische Fläche der Projektionsoptik (16) mit mehreren, sich über die gesamte Fläche erstreckenden, nebeneinander angeordneten Prismen (16e, 16f) versehen ist, deren Längsachsen parallel zueinander verlaufen, wobei eine Prismafläche (16e) der Prismen, die einen ersten optischen Bereich bildet, die erste Abbildung (25) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt und die andere Prismafläche (16f) der Prismen, die einen weiteren optischen Bereich bildet, die zweite Abbildung (26) der Austrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt.

13. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Spitze der Prismen (16e, 16f) über deren gesamte Längserstreckung abgeflacht ist, so dass sich eine Dachfläche (16g) der Prismen ergibt, welche eine weitere Abbildung (28) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt, die zu den anderen beiden Abbildungen (25, 26) in horizontaler Richtung versetzt ist.

14. Projektionsoptik (16) nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Prismaflächen (16e, 16f) der Prismen über deren gesamte Längserstreckung jeweils in zwei Teilflächen (16e1, 16e2; 16f1, 16f2) unterteilt sind, wobei eine Berührungslinie der Teilflächen (16e1, 16e2; 16f1, 16f2) einer Prismafläche (16e; 16f) eines Prismas parallel zu der Längsachse des Prismas verläuft, wobei die Teilflächen (16e1, 16e2, 16f1, 16f2) jeweils eine separate und zu den anderen Abbildungen (25, 26) versetzt angeordnete Abbildung (25, 26, 28, 29) der Lichtaustrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugen.

15. Projektionsoptik (16) nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf der mindestens einen aktiven optischen Fläche der Projektionsoptik (16) ausgebildeten alternierenden optischen Bereiche (16c, 16d; 16e, 16f) eine Amplitude von weniger als 0,1 mm, vorzugsweise von weniger als einigen zig Mikrometern, ganz besonders bevorzugt von einigen Mikrometern aufweisen.

16. LED-Modul (6) eines Kraftfahrzeugscheinwerfers (1), wobei das LED-Modul (6) eine Lichtquelle (10) in Form einer LED-Matrix, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete LED-Chips (11) umfasst, eine Primäroptik (12), die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete Primäroptikelemente (13) umfasst, zum Bündeln des von der Lichtquelle (10) ausgesandten Lichts und eine Projektionsoptik (16) aufweist, die eine Austrittsfläche (17) der Primäroptik (12) zur Erzeugung einer vorgegebenen Lichtverteilung (27) auf eine Fahrbahn vor ein Fahrzeug projiziert, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Projektionsoptik (16) derart ausgebildet ist, dass sie auf ihrer Bildseite mindestens zwei separate in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen (25, 26) der Austrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt, so dass eine Überlagerung der erzeugten Abbildungen (25,26) eine Homogenität der Lichtverteilung (27) verbessert.

17. Kraftfahrzeugscheinwerfer (1) mit einem LED-Modul (6), das eine Lichtquelle (10) in Form einer LED-Matrix, die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete LED-Chips (11) umfasst, eine Primäroptik (12), die mehrere matrixartig neben- und/oder übereinander angeordnete Primäroptikelemente (13) umfasst, zum Bündeln des von der Lichtquelle (10) ausgesandten Lichts und eine Projektionsoptik (16) aufweist, die eine Austrittsfläche der Primäroptik (16) zur Erzeugung einer vorgegebenen Lichtverteilung (27) auf eine Fahrbahn vor ein Fahrzeug projiziert, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Projektionsoptik (16) derart ausgebildet ist, dass sie auf ihrer Bildseite mindestens zwei separate in horizontaler Richtung zueinander versetzte Abbildungen (25, 26) der Austrittsfläche (17) der Primäroptik (12) erzeugt, so dass eine Überlagerung der erzeugten Abbildungen (25, 26) eine Homogenität der Lichtverteilung (27) verbessert.

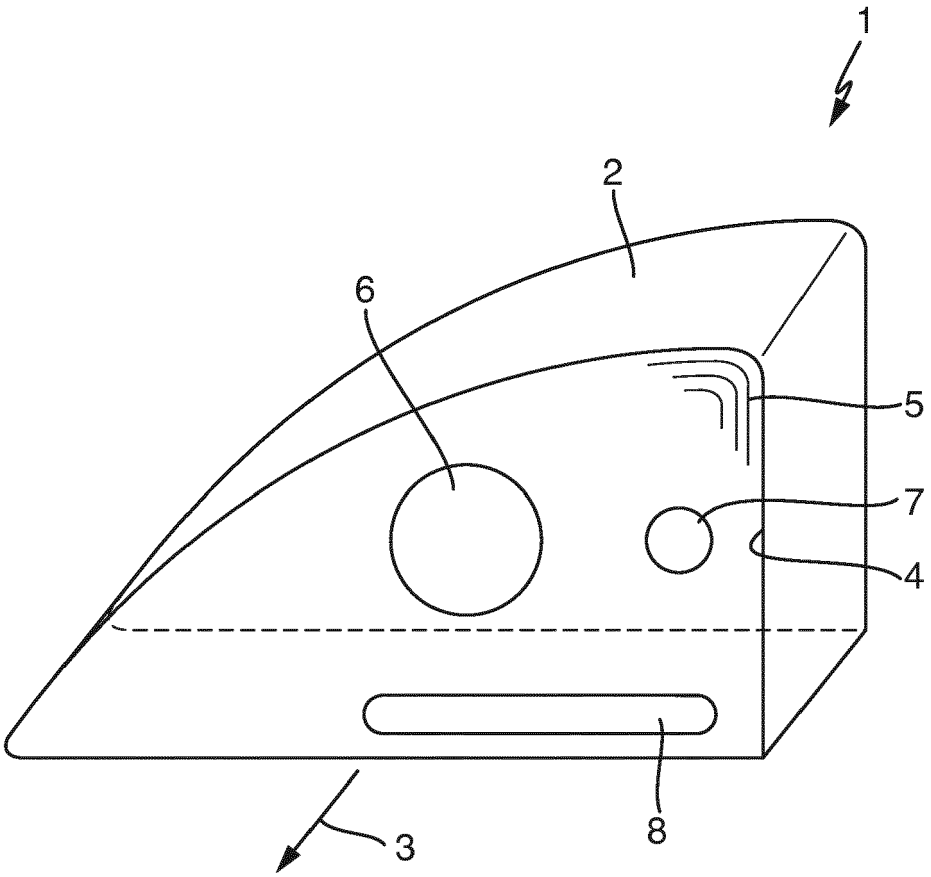



Fig. 1

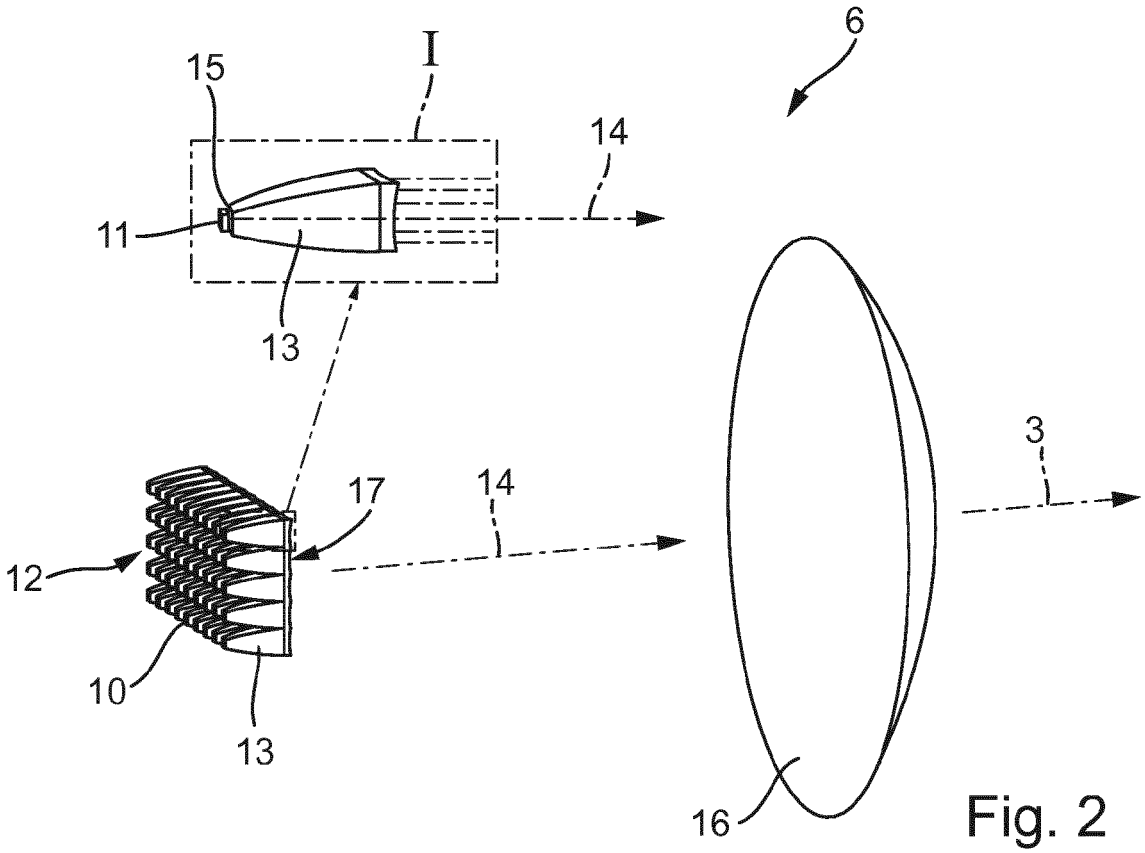



Fig. 2

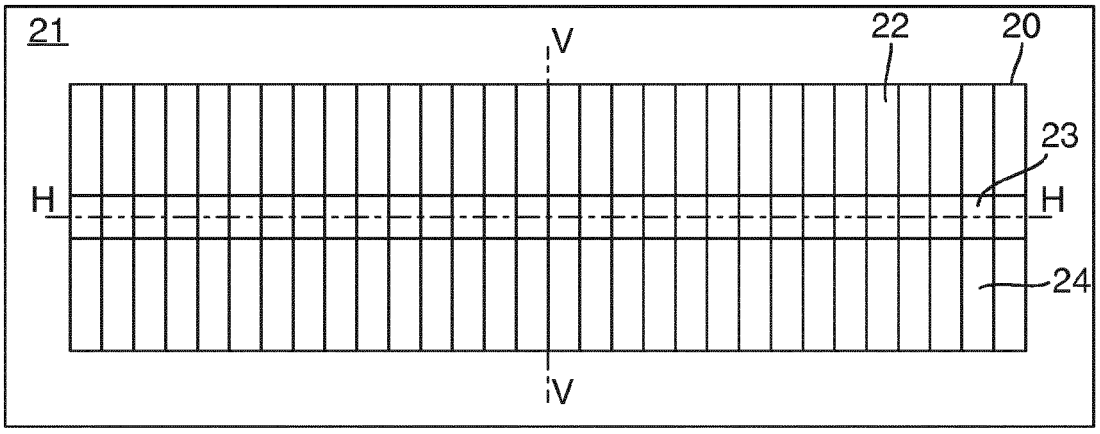



Fig. 3

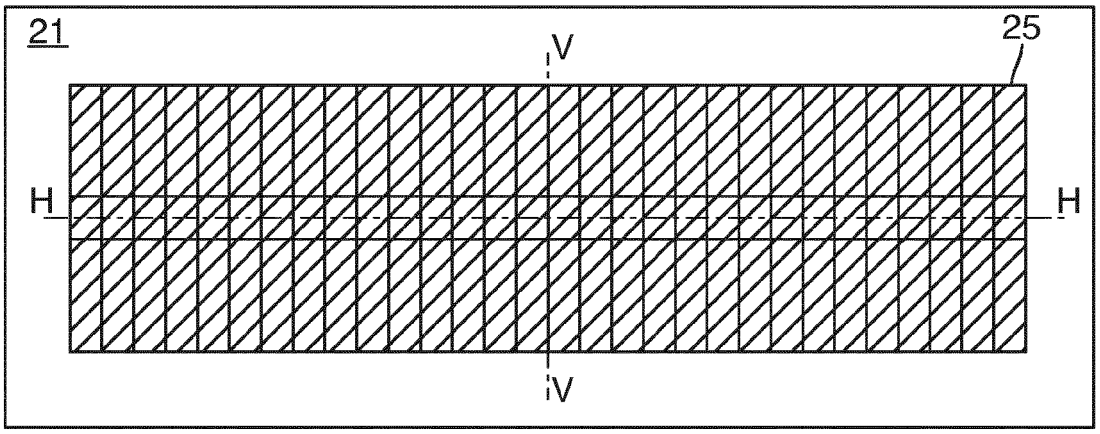



Fig. 4

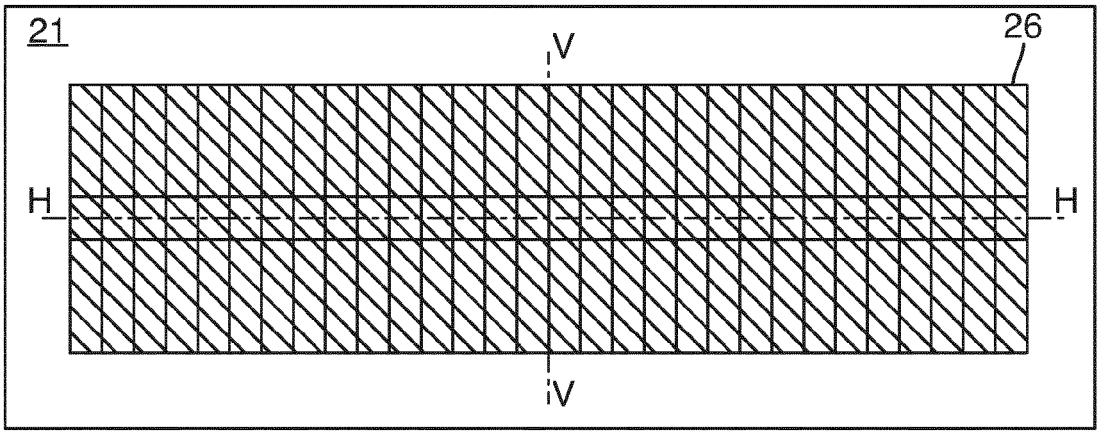



Fig. 5

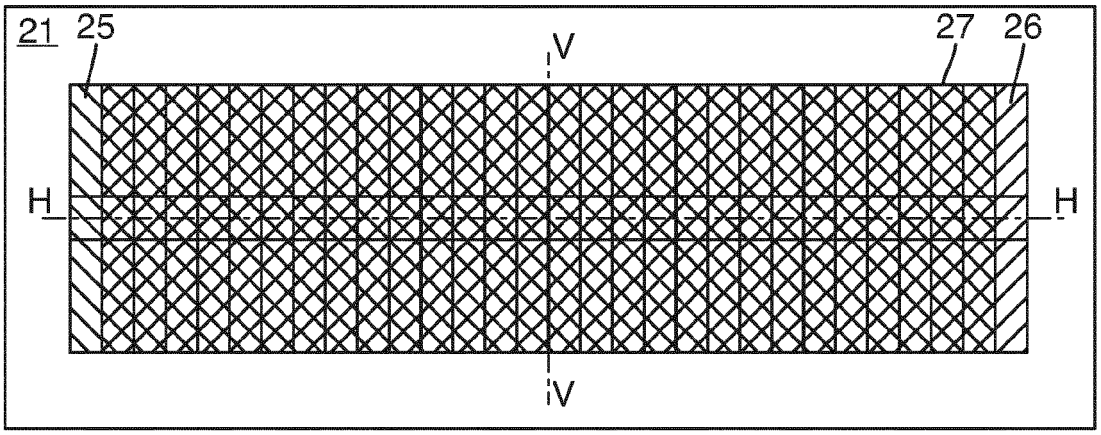



Fig. 6

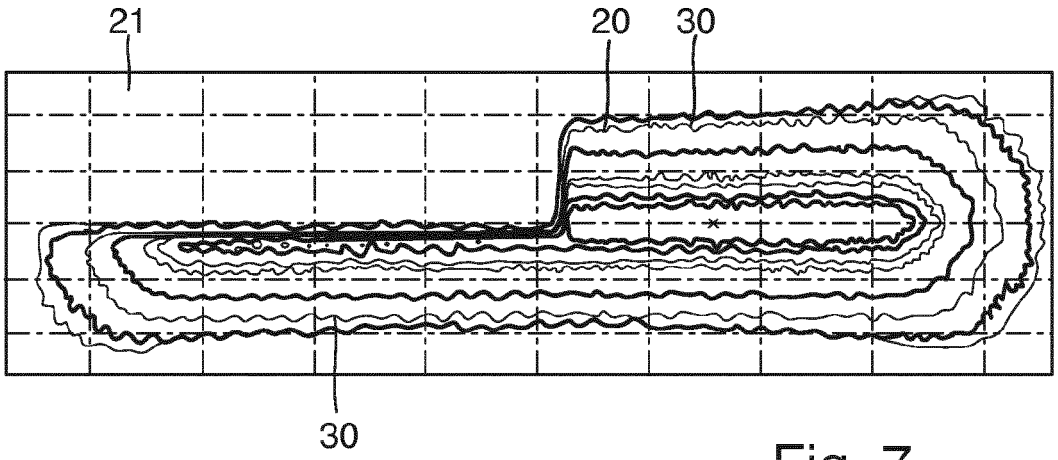



Fig. 7

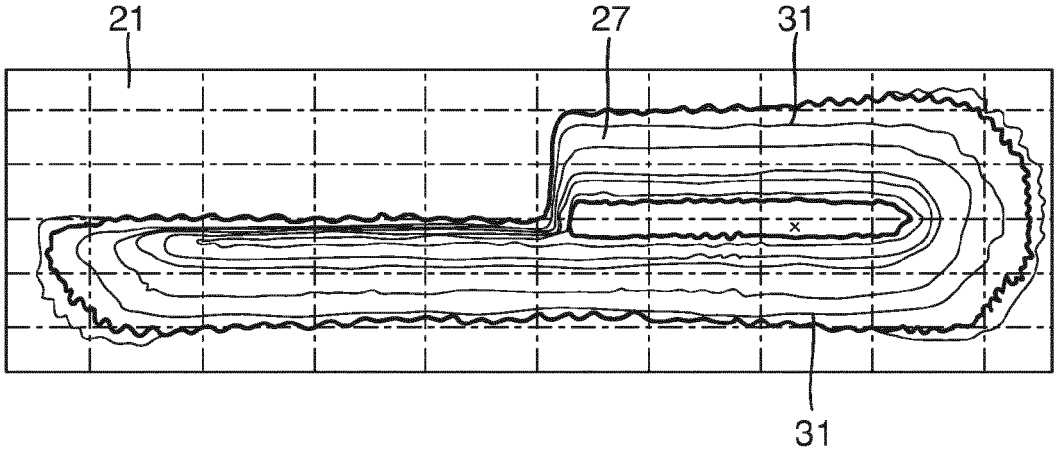



Fig. 8

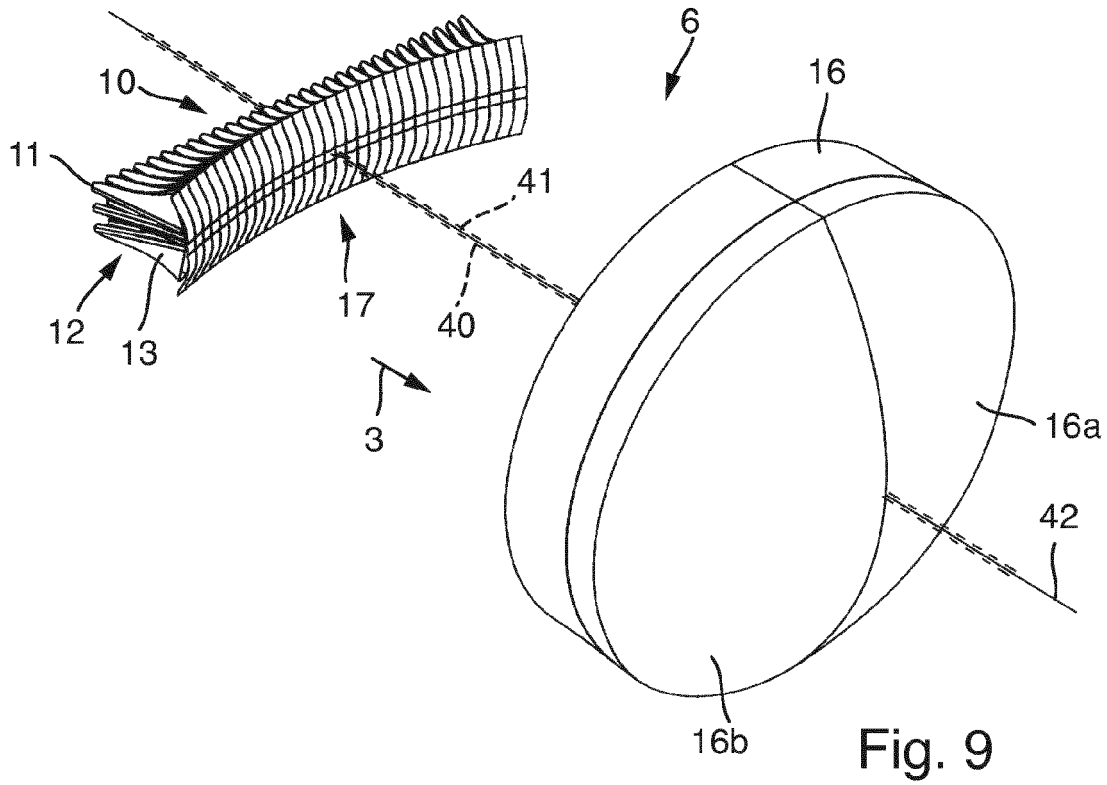

6
10
16
11
41
12
13
17
40
3
16a
42
16b

Fig. 9

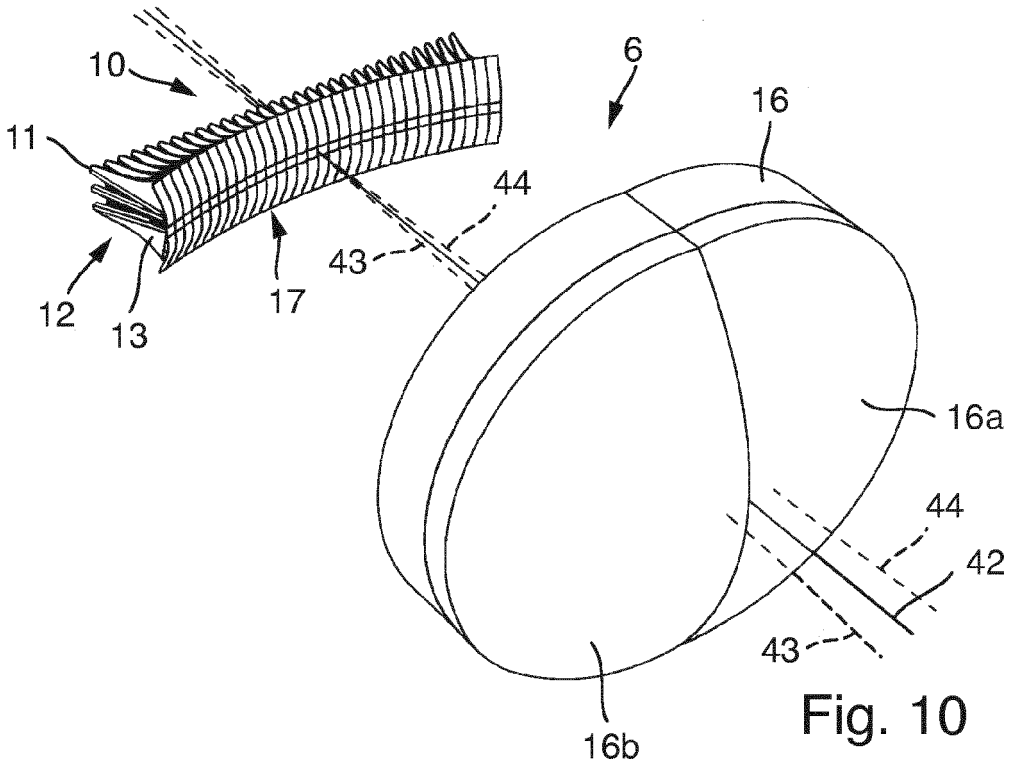

10
6
16
11
44
43
12
13
17
16a
44
42
43
16b

Fig. 10

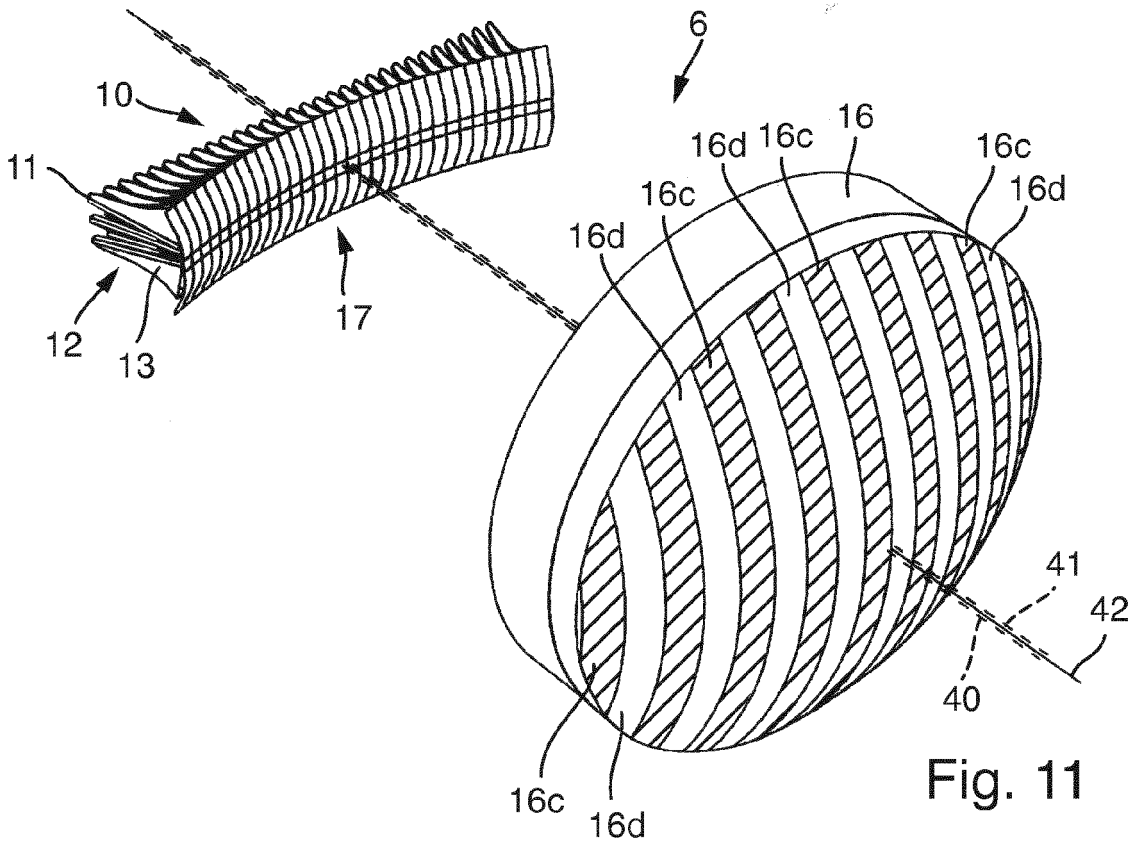

6
10
11
12
13
17
16
16c
16d
41
42
40

Fig. 11

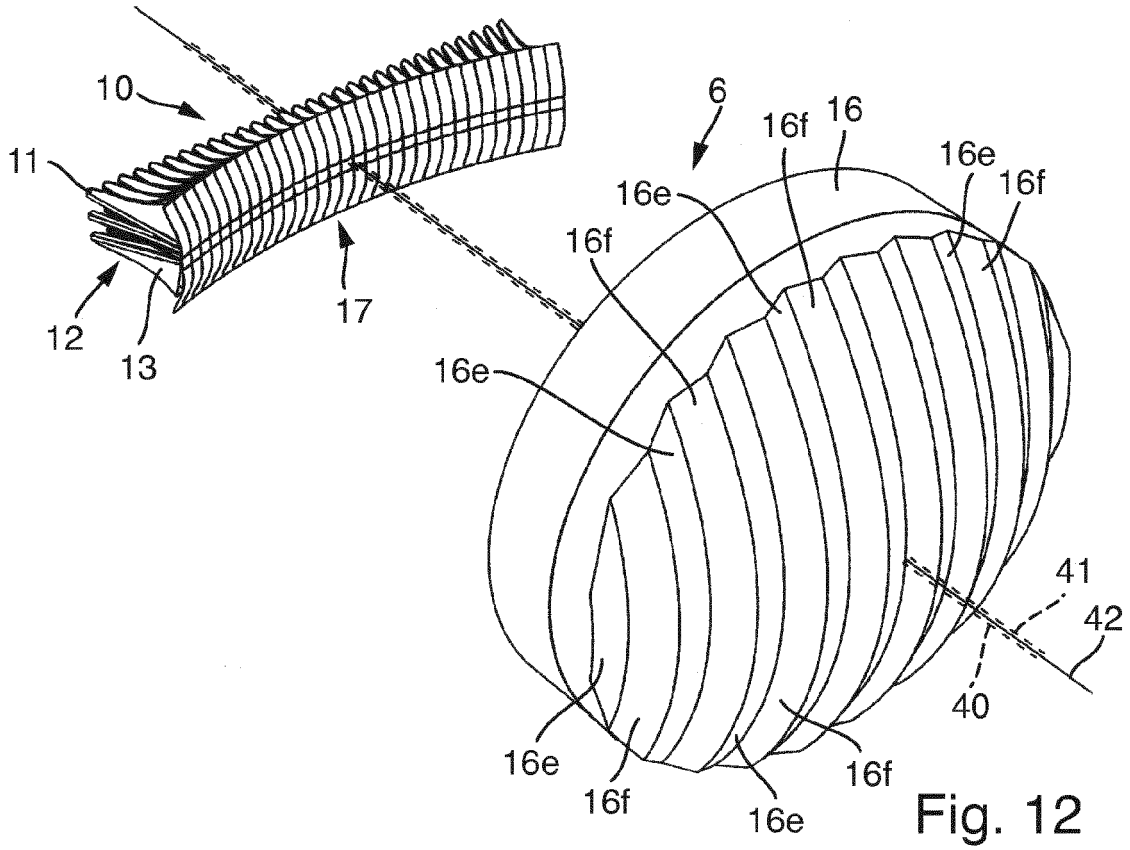

6
10
11
12
13
17
16
16e
16f
41
42
40

Fig. 12

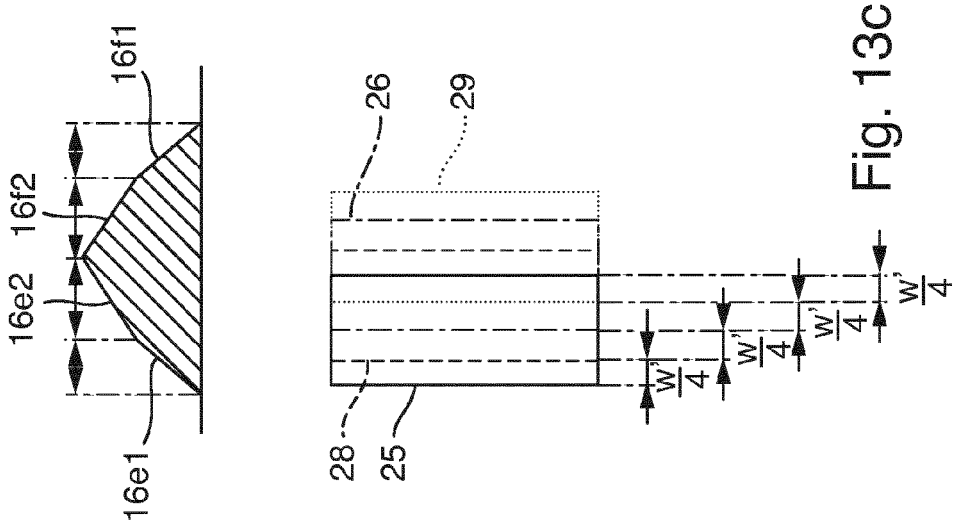



Fig. 13c

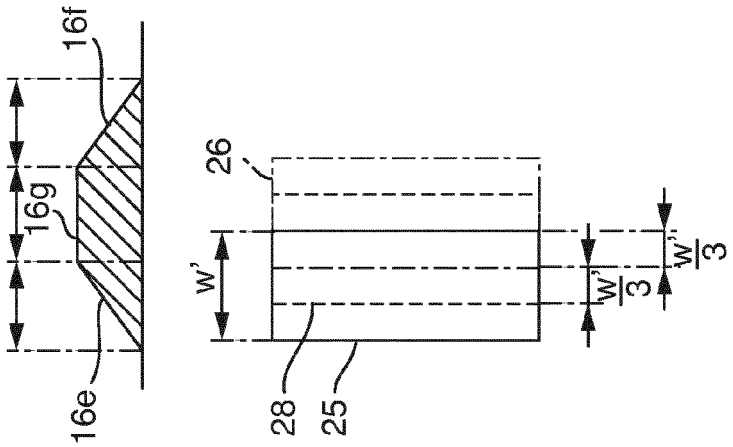



Fig. 13b

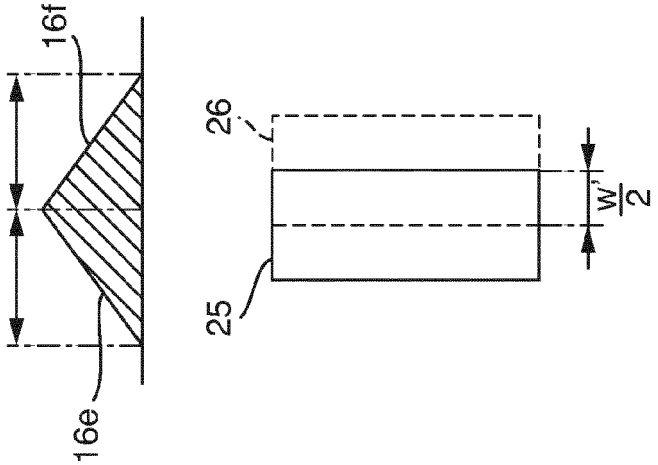



Fig. 13a

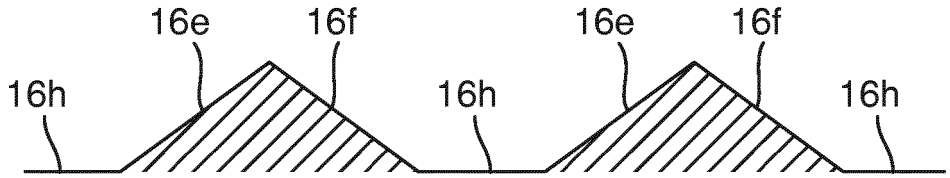



Fig. 14a

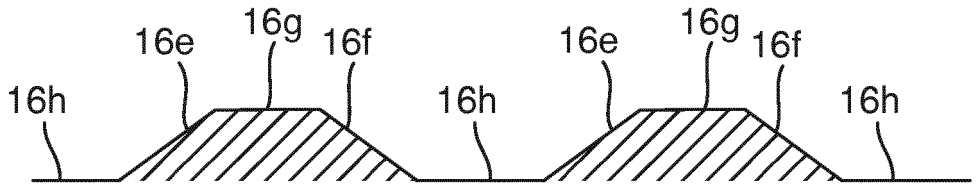



Fig. 14b

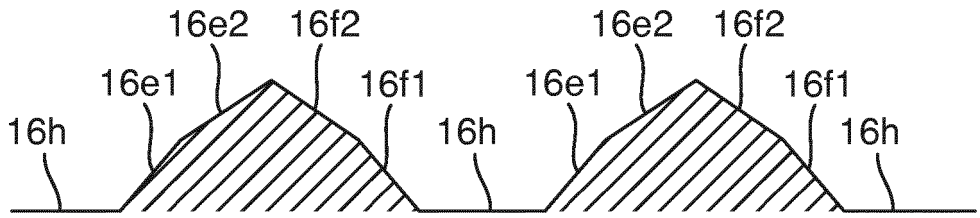



Fig. 14c

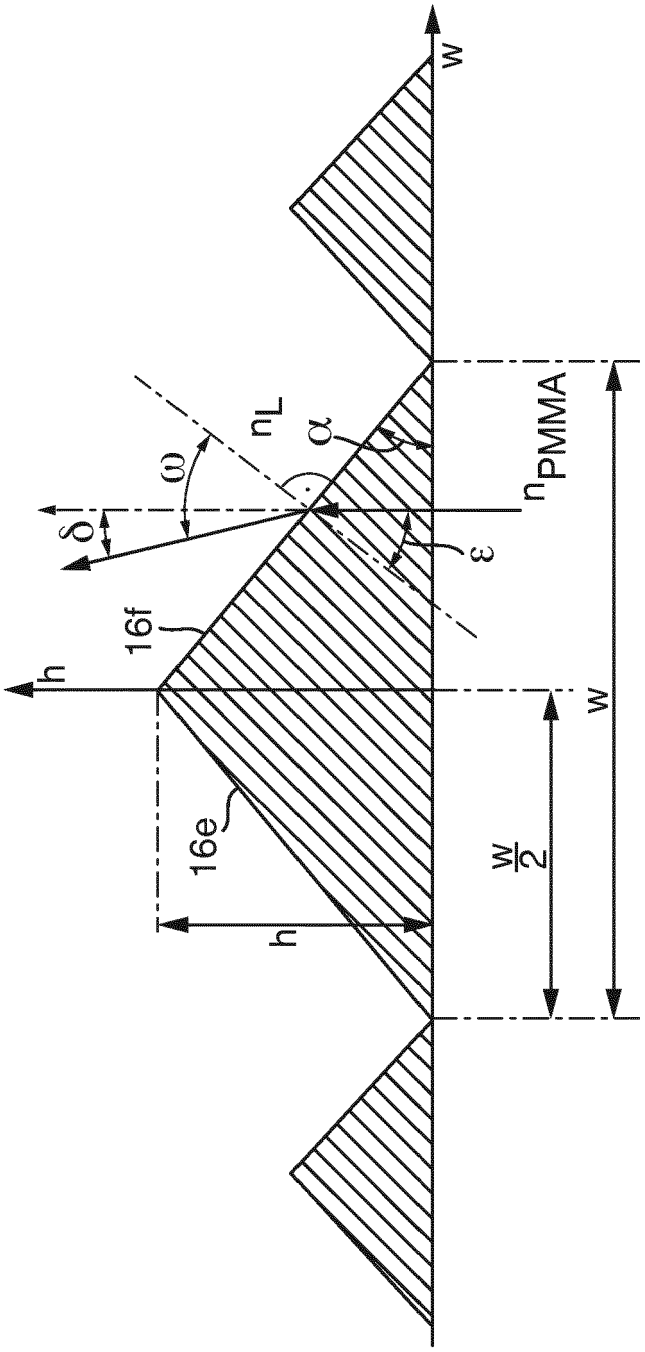



Fig. 15

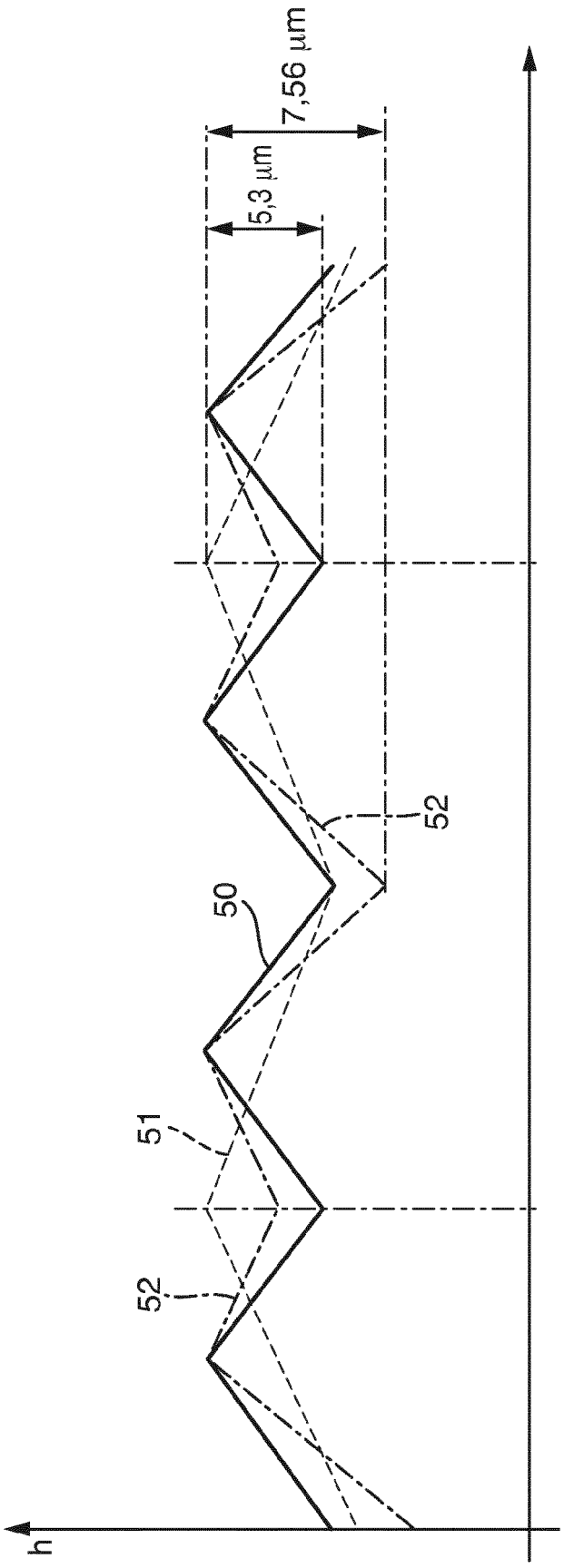



Fig. 16

## IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente


- EP 2306073 A2 **[0003]**
- EP 2306074 A2 **[0003]**
- EP 2306075 A2 **[0003]**
- DE 102008013603 A1 **[0003]**
- DE 102011077132 A1 **[0004]**
- DE 102011077636 A1 **[0004]**
- DE 102010046626 B4 **[0005]**
- EP 2280215 A2 **[0006]**