



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.11.2014 Patentblatt 2014/45

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

(21) Anmeldenummer: **14164995.4**

(22) Anmeldetag: **16.04.2014**

(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: **29.04.2013 DE 102013207845**

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

(72) Erfinder: **Brendle, Matthias**
72074 Tübingen (DE)

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

(54) **Lichtmodul für einen Kraftfahrzeugscheinwerfer**

(57) Vorgestellt wird ein Lichtmodul (14) eines Kraftfahrzeugscheinwerfers, mit mehreren Lichtquellen (28), einer Primäroptik (30) und einer Sekundäroptik (12), wobei die Primäroptik (30) dazu eingerichtet ist, von den Lichtquellen ausgehendes Licht zu sammeln und in eine Zwischenlichtverteilung (68) zu überführen, welche die Form einer geschlossen leuchtenden Fläche aufweist, und wobei die Sekundäroptik (12) eine objektseitige Brennweite aufweist, wobei die Primäroptik und die Sekundäroptik so angeordnet sind, dass die Zwischenlichtverteilung im Abstand dieser Brennweite im Lichtweg vor der Sekundäroptik liegt. Das Lichtmodul zeichnet sich dadurch aus, dass die Lichtaustrittsflächen der Lichtquellen (28) durch zwischen ihnen liegende Abstände voneinander getrennt sind und dass die Primäroptik (30) dazu eingerichtet ist, von den Lichtquellen ausgehendes Licht so zu verteilen, dass die Abstände in der Zwischenlichtverteilung (68) nicht erkennbar sind.

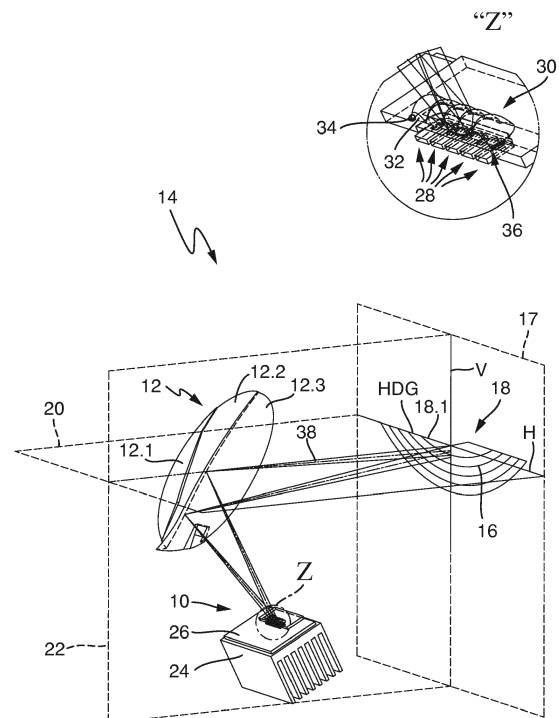


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Lichtmodul eines Kraftfahrzeugscheinwerfers nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Ein solches Lichtmodul wird hier als bekannt vorausgesetzt. Ein Lichtmodul eines Kraftfahrzeugscheinwerfers ist eine Baugruppe, die allein oder im Zusammenwirken mit anderen Lichtmodulen desselben Scheinwerfers oder auch wenigstens eines anderen Scheinwerfers bei einer bestimmungsgemäßen Verwendung in einem Kraftfahrzeug eine regelkonforme Lichtverteilung im Vorfeld des Kraftfahrzeugs erzeugt.

[0003] Das als bekannt vorausgesetzte Lichtmodul weist mehrere Lichtquellen, eine Primäroptik und eine Sekundäroptik auf, wobei die Primäroptik dazu eingerichtet ist, von den Lichtquellen ausgehendes Licht zu sammeln und in eine Zwischenlichtverteilung zu überführen, welche die Form einer geschlossen leuchtenden Fläche aufweist. Die Sekundäroptik weist eine objektseitige Brennweite auf, und die Primäroptik und die Sekundäroptik sind so angeordnet, dass die Zwischenlichtverteilung im Abstand dieser Brennweite im Lichtweg vor der Sekundäroptik liegt.

[0004] Zwischenlichtverteilungen von Lichtmodulen, die eine Lichtverteilung mit einer Hell-Dunkel-Grenze erzeugen sollen, sind an mindestens einer Seite durch eine scharfe Kante begrenzt.

[0005] Die Sekundäroptik ist eine Linse oder ein Reflektor und besitzt eine objektseitige Schärfenebene, die sich dadurch auszeichnet, dass in ihr liegende Konturen scharf in ein in Propagationsrichtung des Lichtes hinter der Sekundäroptik liegendes Vorfeld des Lichtmoduls abgebildet werden.

[0006] In letzter Zeit werden zunehmend Halbleiterlichtquellen wie Leuchtdioden (LED) als Lichtquellen in Kraftfahrzeugscheinwerfern verwendet. Wurden zu Beginn dieser Entwicklung vor allem (Signal)-Leuchten für Premiumfahrzeuge mit Leuchtdioden betrieben, so sollen künftig auch das Abblendlicht und Fernlicht von Mittelklassewagen optional von LEDs erzeugt werden.

[0007] Als Folge dieser Entwicklung entsteht ein Markt für kostengünstige Abblendlicht- und Fernlicht-Lichtmodule, die LEDs als Lichtquellen nutzen.

[0008] Leistungsfähige LED-Abblendlichtmodule werden heute meist als Projektionsscheinwerfer ausgeführt. Dabei erzeugt eine zweistufige Optik zunächst ein reelles Zwischenbild der Lichtaustrittsfläche der als Lichtquellen benutzten Leuchtdioden. Dabei werden sogenannte Arrays aus mehreren Leuchtdioden verwendet, um ausreichend große Lichtströme zu erzeugen. Die Lichtaustrittsfläche einer einzelnen LED, die in einem solchen Array verwendet wird, ist zum Beispiel quadratisch und weist eine Kantenlänge von ca. einem Millimeter auf. Die einzelnen LEDs sind innerhalb des Arrays so angeordnet, dass ihre Lichtaustrittsflächen unmittelbar und quasi abstandslos aneinander angrenzen, so dass sich eine zusammenhängend erscheinende Gesamtlichtaustrittsfläche

des Arrays ergibt. Nachteilig ist bei diesen Lichtmodulen insbesondere der hohe Preis für die Projektionslinse und die teuren LED-Arrays.

[0009] Im Aufbau wesentlich einfacher sind Reflexionssysteme, bei denen ein Reflektor in einfacher Reflexion (1-stufige Optik) eine Abblendlichtverteilung erzeugt. Die Lichtverteilung wird als Überlagerung vieler Elementarbilder der Lichtquelle gebildet. Als Lichtquellenbild wird dabei die Abbildung der Lichtquelle durch eine infinitesimal kleine Reflektorzone verstanden. Um die Lichtquellenbilder zu einer homogenen Lichtverteilung zu überlagern, sollte die Lichtquelle selbst ebenfalls eine gleichmäßige Leuchtdichte aufweisen. Darüber hinaus benötigt die Lichtquelle eine scharfe Berandung, mit deren Abbildung die scharfe Hell-Dunkel-Grenze der Abblendlichtverteilung erzeugt wird. Als Folge benötigt die einfache, kostengünstige Reflexionsoptik ein teures LED-Array als Lichtquelle.

[0010] Verwendet man anstelle eines LED-Arrays, das eine quasi geschlossene Licht emittierende Fläche aufweist, mehrere einzelne, mit einem Abstand voneinander angeordnete LEDs (zum Beispiel: SMD-LEDs, SMD: surface mounted design), so führen die Lücken zwischen den LED-Chips und damit insbesondere zwischen den Lichtaustrittsflächen zu dunklen Streifen in der Lichtverteilung. Versucht man, die entstehenden Streifen der Lichtverteilung durch Streuoptiken auf der Reflektorfläche zu einer homogenen Lichtverteilung zu verwischen, reduziert sich die maximale Beleuchtungsstärke mindestens im Verhältnis Chipbreite zur Summe aus Chipbreite und Chipabstand. Das bedeutet, dass die mittlere Leuchtdichte einer solchen verwischten Lichtquelle gegenüber einem Array, bei dem die LED-Chips direkt nebeneinander angeordnet sind, mindestens in dem genannten Verhältnis geringer ist.

[0011] Durch Toleranzen der Einzelchips auch in Verbindung mit dem farbkonvertierenden Phosphor liegen die Seiten der LED Chips nie wirklich auf einer Linie, was bei der Abbildung des Arrays zu unsauberen Hell-Dunkel-Grenzen führt.

[0012] Da bei Reflexionssystemen die Hell-Dunkel-Grenze nicht wie bei Projektionssystemen durch Abbildung einer Blende erzeugt wird, sondern aus unterschiedlich orientierten Lichtquellenbildern zusammengesetzt wird, liegt bei herkömmlichen Reflexionssystemen der Lichtschwerpunkt deutlich tiefer unter der Hell-Dunkel-Grenze als bei Projektionssystemen. Dies beeinträchtigt die Reichweite, da die Reichweite mit abnehmender Helligkeit des knapp unter der Hell-Dunkel-Grenze liegenden hellen Bereichs abnimmt. Nachteilig ist auch, dass mit Reflexionssystemen keine so hohen Beleuchtungsstärkegradienten an der Hell-Dunkel-grenze erzielt werden, wie sie bei Projektionssystemen üblich sind.

[0013] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung in der Angabe eines möglichst kompakten Lichtmoduls, das mit kostengünstigen SMD-LEDs betrieben werden kann und das keine teure, voluminöse Pro-

jektionslinse benötigt. Außerdem soll die Leistungsfähigkeit des Lichtmoduls in Bezug auf die Beleuchtungsstärke am Rand einer Hell-Dunkel-Grenze einer Abblendlicht-Lichtverteilung und in Bezug auf die Steilheit des Gradienten des Helligkeitsverlaufs quer zur Hell-Dunkel-Grenze an die Leistungsfähigkeit von Projektionsmodulen heranreichen.

[0014] Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Von dem als bekannt vorausgesetzten Lichtmodul unterscheidet sich die vorliegende Erfindung dadurch, dass die Lichtaustrittsflächen der Lichtquellen durch zwischen ihnen liegende Abstände voneinander getrennt sind und dass die Primäroptik dazu eingerichtet ist, von den Lichtquellen ausgehendes Licht so zu verteilen, dass die Abstände in der Zwischenlichtverteilung nicht erkennbar sind.

[0015] Die eingangs genannten mehreren Lichtquellen sind bevorzugt als ein LED-array verwirklicht. Die Sekundäroptik weist bevorzugt mehrere Facetten auf, so dass sich mehrere Lichtquellen-seitige Brennpunkte oder eine Brennnlinie ergeben. Bevorzugt ist also insbesondere, dass die Sekundäroptik mehrere objektseitige Brennpunkte aufweist.

[0016] Im Lichtweg hinter der Zwischenlichtverteilung ist in einer Ausgestaltung noch ein facetierter Reflektor als Sekundäroptik angeordnet. Der Reflektor ist bevorzugt dazu eingerichtet, aus der Zwischenlichtverteilung eine vollständige Abblendlichtverteilung zu erzeugen, die einen asymmetrischen Anstieg aufweist.

[0017] Der Reflektor kann durch eine facettierte Linse mit entsprechenden Brennpunktlagen ersetzt werden. Bei einer alternativen Ausgestaltung ist die Sekundäroptik als facettierte Linse verwirklicht. Durch das bei Linsen im Vergleich zu Reflektoren günstigere Verhältnis von Brennweite zu Öffnung (Blendenzahl) ergibt sich bei der Linsen-Sekundäroptik eine geringere Farb aberration.

[0018] Auf diese Weise stellt die Zwischenlichtverteilung in gewisser Weise eine Ersatzlichtquelle dar, welche die geforderte Eigenschaft eines streifenlosen Erscheinungsbildes aufweist und die zusammen mit einem preiswerten Reflexionssystem zur Erzeugung einer regelkonformen Lichtverteilung verwendbar ist.

[0019] Eine bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass die Primäroptik für jede Lichtquelle einen eigenen optisch wirksamen Teilbereich aufweist, von denen jeder eine Lichtaustrittsfläche aufweist und wobei diese Lichtaustrittsflächen abstandslos aneinander angrenzen, und wobei mindestens zwei benachbarte Lichtaustrittsflächen so aneinander angrenzen, dass wenigstens eine Seitenkante einer ersten von zwei aneinander angrenzenden Lichtaustrittsflächen in einer Linie fluchtend mit einer Seitenkante der zweiten der zwei aneinander angrenzenden Lichtaustrittsflächen liegt, so dass die beiden fluchtenden Kanten eine gemeinsame, gerade Kante bilden.

[0020] Die Primäroptik ist bevorzugt ein einstückiges Optikarray, wobei jeder LED ein optisch wirksamer Teilbereich als sammelnde Primäroptik zugeordnet ist und

wobei alle Primäroptiken mit ihren Lichtaustrittsflächen weitgehend unmittelbar aneinandergrenzen. Mindestens zwei dieser Optiken bilden mit ihren Lichtaustrittsflächen eine gemeinsame gerade Kante.

[0021] Bevorzugt ist auch, dass jeder Teilbereich eine Sammellinse ist. In diesem Fall ist das Optikarray vorzugsweise aus Plankonvexlinsen aufgebaut und besteht bevorzugt aus organischem oder anorganischem Glas oder aus Silikonkautschuk (LSR). Organische Gläser sind beispielsweise Polymethylmethacrylat (PMMA), Cycloolefines Copolymer (COC), Cycloolefines Polymer (COP), Polycarbonat (PC), Polysulfon PSU oder Polymethacrylmethylimid (PMMI). Das Linsenarray weist bevorzugt mindestens abschnittsweise auf einer Seite einen geraden Rand auf. Dazu ist das Sammellinsenarray an einer Kante wenigstens abschnittsweise durch eine ebene Seitenfläche begrenzt, an der ein Teil des auftretenden Lichtes reflektiert wird. Alternativ kann diese Kante auch durch eine Blende gebildet werden, die unmittelbar vor der Lichtaustrittsfläche des Linsenarrays in den Strahlengang gebracht wird.

[0022] Alternativ ist bevorzugt, dass jeder Teilbereich ein Reflektor ist. In diesem Fall ist die Primäroptik bevorzugt als Reflektorarray ausgebildet, das aus konisch sich zum Lichtaustritt hin erweiternden Reflektoren aufgebaut ist, die in Ebenen, auf denen die Hauptabstrahlrichtung der LED senkrecht steht, vorzugsweise quadratische oder rechteckige Querschnitte aufweisen. Vorzugsweise haben die Reflektoren die Geometrie eines Pyramidenstumpfes. Bevorzugt ist auch, dass das Reflektorarray aus einem metallisierten, hochtemperaturfesten Kunststoff besteht, insbesondere aus einem thermoplastischen Kunststoff. Gut geeignete hochtemperaturfeste Thermoplaste sind beispielsweise Polyetheretherketon, Polyetherimid oder Polysulfon. Die Metallisierung besteht beispielsweise aus Aluminium, Silber, Platin, Gold, Nickel, Chrom, Kupfer, Zinn oder aus Legierungen, die diese Metalle beinhalten. Die Metallisierung wird anschließend vorzugsweise durch eine transparente Schicht versiegelt.

[0023] Anstelle der Metallisierung kann eine Multilagenbeschichtung auf den Kunststoffkörper aufgebracht werden. Bei der Multilagenbeschichtung werden abwechselnd mehrere niedrig- und hochbrechende Schichten kombiniert. Unter der spiegelnden Metall- oder Multilagenschicht kann eine weitere Metallschicht als Strahlungsbarriere vorgesehen sein. Diese Metallschicht wird beispielsweise als dicke Kupfer- oder Nickelschicht auf dem Kunststoffkörper des Reflektorarrays abgeschieden und bildet so einen Schutz gegen die thermische Belastung durch die Strahlung der LED. Auch ist diese dicke Metallschicht in der Lage, Wärme zum Reflektorrand hin abzuleiten.

[0024] Zwischen dem Reflektorarray und den LED kann ein Wärmeschutzblech vorgesehen sein, das Strahlung von der LED auf die Rückseite des Reflektorkörpers abschattet und so eine thermische Überlastung des Reflektormaterials verhindert. Das Reflektorarray

weist bevorzugt mindestens einen geraden Rand als Rand einer Reihe von Lichtaustrittsflächen benachbarter Reflektor-Teilbereiche auf.

[0025] Als weitere Alternative ist auch bevorzugt, dass jeder Teilbereich ein Lichtleiter ist.

[0026] In diesem Fall ist die Primäroptik bevorzugt als Lichtleiterarray ausgebildet, das aus konisch sich zum Lichtaustritt hin erweiternden Lichtleitern besteht, die in Ebenen, auf denen die Hauptabstrahlrichtung der LED senkrecht steht, vorzugsweise quadratische oder rechteckige Querschnitte aufweisen. Die Lichteintrittsfläche der einzelnen Lichtleiter-Teilbereiche ist jeweils bevorzugt eben und parallel zur Chipfläche der zugeordneten LED angeordnet. Dadurch wird ein größerer Teil des von der LED ausgehenden Lichtstroms in den Lichtleiter-Teilbereich eingekoppelt als bei einer konvexen Wölbung. Außerdem erfolgt durch die Brechung bereits eine gewisse Bündelung. Eine weitere Bündelung findet durch Reflexionen an den Seitenwänden des Lichtleiters statt, was durch die sich zum Lichtaustritt hin erweiternde Form bedingt ist. Die an den Seitenwänden stattfindenden Reflexionen unterscheiden Lichtleiter auch von Linsen, die ebenfalls transparente Festkörper sind. Bei Linsen finden Richtungsänderungen des Lichtes nur durch Brechung, nicht aber durch Reflexion an Seitenwänden statt.

[0027] Bevorzugt ist auch, dass die Lichtaustrittsfläche der einzelnen Lichtleiter konvex gewölbt ist. Dadurch wird beim Lichtaustritt eine bündelnde Wirkung erzielt. Das Lichtleiterarray besteht bevorzugt aus einem der Materialien, das weiter oben als Linsenmaterial genannt wurde. Das Lichtleiterarray weist mindestens einen geraden Rand auf, der sich aus fluchtend aneinander anschließenden Rändern einzelner Lichtaustrittsflächen benachbarter Lichtleiter-Teilbereiche zusammensetzt.

[0028] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass das Lichtmodul eine Blende aufweist, die im Strahlengang des Lichtes unmittelbar hinter der Lichtaustrittsfläche so angeordnet ist, dass sie einen Teil der Zwischenlichtverteilung abschattet.

[0029] Die Blende erleichtert die Erzeugung einer scharfen Hell-Dunkel-Grenze der Zwischenlichtverteilung, was sich auch günstig auf die Schärfe der letztlich im Vorfeld des Lichtmoduls zu erzeugenden regelkonformen Lichtverteilung auswirkt. Die Blende ist in einer bevorzugten Ausgestaltung als Einlegeteil oder Zweikomponenten Spritzgussteil an die Primäroptik mit angeformt, was zu dem Vorteil geringer Toleranzen zwischen Blende und Primäroptik führt.

[0030] Bevorzugt ist auch, dass die Sekundäroptik wenigstens einen Hohlspiegelreflektor aufweist. Ein Hohlspiegelreflektor weist insbesondere im Vergleich zu transparenten Festkörpern wie Linsen oder mit interner Totalreflexion arbeitenden Sekundäroptiken die Vorteile geringerer Kosten und eines geringeren Gewichtes auf.

[0031] Um eine gute Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze und damit einen hohen Beleuchtungsstärkegradienten zu erzielen, werden alle Reflektoren bevorzugt im Strahlengang so angeordnet, dass der Strahlengang an den

jeweiligen Reflektoren immer in möglichst spitzem Winkel ($<90^\circ$) gefaltet wird. Durch den spitzen Faltungswinkel des Strahlenganges ändern die Elementarbilder der Ersatzlichtquelle ihre Orientierung kaum, so dass man Abblendlichtverteilungen mit guter Homogenität (keine Längsstreifen in der Lichtverteilung), hohem Lichtschwerpunkt (dicht unter der Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze) und scharfer Hell-Dunkel-Grenze erzeugen kann.

[0032] Ferner ist bevorzugt, dass eine optische Fläche der Sekundäroptik in einen größeren Teilbereich und einen kleineren Teilbereich aufgeteilt ist, wobei der größere Teilbereich dadurch definiert ist, dass er einen ersten objektseitigen Brennpunkt besitzt und dass die beiden Teilbereiche einen gemeinsamen bildseitigen Brennpunkt im Unendlichen besitzen.

[0033] Dadurch erzeugt diese Sekundäroptik eine Abbildung der Ersatzlichtquelle im Unendlichen und damit eine Lichtverteilung im Vorfeld des Lichtmoduls, deren Form von der Form der Zwischenlichtverteilung und damit von der Form der Ersatzlichtquelle abhängt und die insbesondere eine scharfe Hell-Dunkel-Grenze aufweist, wenn eine solche auch bei der Zwischenlichtverteilung vorhanden ist.

[0034] Bevorzugt ist auch, dass der Hohlspiegelreflektor eine reflektierende Fläche aufweist, deren größerer Teil eine parabolische Form aufweist, wobei ein objektseitiger Brennpunkt der parabolischen Form auf der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik liegt.

[0035] Der objektseitige Brennpunkt des Reflektors liegt dabei bevorzugt auf dem Rand der Ersatzlichtquelle. Zur Erzeugung einer Abblendlichtverteilung ist dies der untere Rand der Ersatzlichtquelle. Wie beschrieben, kann dieser Rand zusätzlich durch eine Blende abgeschattet werden, um zu verhindern, dass Streulicht ins Dunkelfeld der Lichtverteilung gelangt.

[0036] Besitzt die Sekundäroptik mehrere Reflektorfacetten, so liegen deren Brennpunkte bevorzugt ebenfalls auf der Kante der Ersatzlichtquelle. Sie werden aber je nach Lage der Facette vorzugsweise an verschiedenen Enden der Lichtquellenkante positioniert.

[0037] Ferner ist bevorzugt, dass die Sekundäroptik aus zwei Spiegeln besteht, die im Strahlengang so hintereinander angeordnet sind, dass sie den Strahlengang der Sekundäroptik zweimal in einem spitzen Winkel falten und dass die Sekundäroptik einen objektseitigen Brennpunkt aufweist, der auf der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik liegt und dessen Bildpunkt im Unendlichen liegt.

[0038] Durch die Faltung in einem spitzen Winkel werden die bereits genannten Vorteile einer guten Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze erzielt, weil der spitze Winkel dazu führt, dass die Orientierung der Bilder der Ersatzlichtquelle parallel zur Hell-Dunkel-Grenze weitgehend erhalten bleibt.

[0039] Die zweimalige Faltung eröffnet auch die Möglichkeit, den Bauraum des Lichtmoduls zu verkürzen und liefert einen weiteren Freiheitsgrad für die Anordnung der

Elemente des Lichtmoduls. Dadurch können insbesondere besonders kompakte Lichtmodule verwirklicht werden. Außerdem bietet es konstruktive Vorteile, wenn die Lichtquelle in Fahrtrichtung nach vorne abstrahlt und die Entwärmung der Lichtquelle über einen Kühlkörper nach hinten erfolgt: Eine derartige Lichtquelle kann auf einfache Weise von der Rückseite des Scheinwerfers her gewechselt werden. Auch lässt sich der Kühlkörper auf der Rückseite des Lichtmoduls leichter belüften, was die Kühlleistung verbessert. Durch die kompakte Bauweise ergibt sich der zusätzliche Vorteil, dass der Schwerpunkt des Lichtmoduls in der Nähe der Lichtaustrittsfläche liegt, was das mechanische Schwenken des Lichtmoduls für eine Leuchtweitenregelung und/oder eine Kurvenlichtfunktion erleichtert.

[0040] Das Falten des Strahlenganges ist auch deshalb günstig, weil sich die Brechkraft bei dem vorgeschlagenen optischen System auf Primär- und Sekundäroptik aufteilt, so dass man Sekundäroptiken mit geringer Brechkraft, d.h. mit langer Brennweite erhält (die Brennweiten sind 2-3 mal größer als bei einstufigen Systemen). Dies ist deshalb von Vorteil, weil man durch die in Bezug auf die Öffnung sehr langen Brennweiten eine sehr toleranzunempfindliche Optik erhält. Alle Chipbilder haben darüber hinaus annähernd gleiche Größe und Orientierung.

[0041] Bevorzugt ist auch, dass der in Propagationsrichtung des Lichtes im Strahlengang erste Spiegel ein Hyperboloid und der zweite Spiegel ein Paraboloid als Reflexionsfläche aufweist, wobei der objektseitige Brennpunkt des Hyperboloids den objektseitigen Brennpunkt der Sekundäroptik bildet und der bildseitige Brennpunkt des Hyperboloids mit dem Brennpunkt des Paraboloids zusammenfällt und die Lage eines virtuellen Zwischenbildes der Zwischenlichtverteilung markiert.

[0042] Bevorzugt ist auch, dass die Sekundäroptik mehrere objektseitige Brennpunkte und einen oder mehrere gemeinsame bildseitige Brennpunkte oder Brennlinien im Unendlichen aufweist.

[0043] Ferner ist bevorzugt, dass der erste Spiegel der zweistufigen Sekundäroptik ein Hyperboloid aufweist oder ein ebener Spiegel als Spezialfall des Hyperboloids ist, und dass der zweite Spiegel ein facettiertes Paraboloid aufweist, wobei der objektseitige Brennpunkt des Hyperboloids den objektseitigen Brennpunkt der Sekundäroptik bildet und wobei der bildseitige Brennpunkt des Hyperboloids die Lage eines virtuellen Zwischenbildes der Zwischenlichtverteilung markiert und wobei die nachgeordneten Parabelfacetten dazu eingerichtet sind, auf den Rand des virtuellen Bildes der Zwischenlichtverteilung zu fokussieren.

[0044] Bevorzugt ist auch, dass der erste Spiegel der zweistufigen Sekundäroptik ein facettiertes Hyperboloid oder als dessen Spezialfall einen facettierten Planspiegel aufweist und dass der zweite Spiegel ein Paraboloid aufweist, wobei der objektseitige Brennpunkt des Hyperboloids den objektseitigen Brennpunkt der Sekundäroptik bildet und wobei der bildseitige Brennpunkt des Hy-

perboloids die Lage eines virtuellen Zwischenbildes der Zwischenlichtverteilung markiert und wobei die im Strahlengang nachgeordneten Parabelfacetten auf den Rand des virtuellen Bildes der Zwischenlichtverteilung fokussieren.

[0045] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, dass die beiden Spiegel mehrere objektseitige Brennpunkte aufweisen, die auf dem Rand der Zwischenlichtverteilung liegen und deren Bildpunkt bzw. deren Bildlinien auf der Hell-Dunkel-Grenze der Lichtverteilung im Unendlichen liegen, wobei die beiden Spiegelflächen so geformt sind, dass alle optischen Wege zwischen dem objektseitigen Brennpunkt und seinen jeweiligen Bildpunkten bzw. Bildlinien gleich lang sind.

[0046] Bei dieser Ausgestaltung basieren die beiden Spiegel der zweistufigen Sekundäroptik nicht auf Kegelschnitten und liefern kein scharfes, unverzerrtes Zwischenbild der Ersatzlichtquelle. Das optische System weist aber mehrere objektseitige Brennpunkte auf, die auf dem Rand der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik liegen und deren Bildpunkte bzw. Bildlinien auf der Hell-Dunkel-Grenze der Lichtverteilung im Unendlichen liegen.

[0047] Ein optisches System aus Umlenkoptik 64 und Sekundäroptik 12 muss nicht zwingend ein scharfes virtuelles Zwischenbild 66 liefern, da Aberrationen (Unschärfe, Verzeichnung, Öffnungsfehler) des Zwischenbildes durch die nachgeschaltete Sekundäroptik 12 wieder ausgeglichen werden können.

[0048] Weitere Vorteile ergeben sich aus der Beschreibung und den beigefügten Figuren.

[0049] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0050] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen, jeweils in schematischer Form:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Lichtmoduls mit einer unterhalb der Sekundäroptik liegenden Ersatzlichtquelle;

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Lichtmoduls mit einer oberhalb der Sekundäroptik liegenden Ersatzlichtquelle;

Fig. 3 verschiedene Ansichten einer Baugruppe aus Platine, LEDs und einer Primäroptik mit als Reflektoren verwirklichten Teilbereichen;

Fig. 4 verschiedene Ansichten einer Baugruppe aus Platine, LEDs und einer Primäroptik mit als Sammellinsen verwirklichten Teilbereichen;

- Fig. 5 verschiedene Ansichten einer Baugruppe aus Platine, LEDs und einer Primäroptik mit als Lichtleitern verwirklichten Teilbereichen;
- Fig. 6 eine perspektivische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Lichtmoduls, das einen an einem zusätzlichen Umlenkspiegel gefalteten Strahlengang aufweist;
- Fig. 7 den Gegenstand der Fig. 6 mit verschiedenen Ausgestaltungen des Umlenkspiegels, jeweils in einer Seitenansicht;
- Fig. 8 Vorderansichten von zwei Ausgestaltungen erfindungsgemäßer Lichtmodule mit Anordnungen der Ersatzlichtquelle gemäß den Alternativen der Fig. 1 und der Fig. 2;
- Fig. 9 eine von einem Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Lichtmoduls im Vorfeld des Lichtmoduls erzeugte Abblendlichtverteilung und eine schematische Darstellung von Lichtquellenbildern, aus denen sich die Abblendlichtverteilung zusammensetzt.

[0051] Gleiche Bezugszeichen verweisen in den Figuren auf gleiche oder zumindest ihrer Funktion nach vergleichbare Elemente.

[0052] Im Einzelnen zeigt die Fig. 1 eine räumliche Anordnung aus einer Lichtquellenbaugruppe 10 und einer Sekundäroptik 12 als Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Lichtmoduls 14. Dabei sind Haltestrukturen, die diese Anordnung im Raum definieren und fixieren, aus Gründen der Übersichtlichkeit und weil sie weder für das Verständnis der Erfindung noch für die Ausführbarkeit der Erfindung von Bedeutung sind, nicht dargestellt. Die Darstellung der Fig. 1 ist insofern auf die optischen Elemente des Lichtmoduls konzentriert. Dies gilt auch für die weiteren Figuren.

[0053] Die Lichtquellenbaugruppe 10 und die Sekundäroptik 12 sind dabei so angeordnet, dass sie eine regelkonforme Lichtverteilung 16 auf einem im Vorfeld des Lichtmoduls stehenden Schirm 17 erzeugen. Die Lichtverteilung 16 weist im dargestellten Fall eine abschnittsweise horizontal verlaufende Hell-Dunkel-Grenze 18 auf.

[0054] Bei einer bestimmungsgemäßen Verwendung des Lichtmoduls 14 in einem Kraftfahrzeugscheinwerfer eines Kraftfahrzeugs, das auf einem ebenen Untergrund steht, verläuft der fahrbahnnähere Teil 18.1 der horizontalen Hell-Dunkel-Grenze etwa auf der Höhe des Horizonts vor dem Fahrzeug oder ganz leicht (in der Regel $0,57^\circ$) darunter. Der Punkt, in dem die Hell-Dunkel-Grenze nach oben abknickt, liegt etwa in der Verlängerung der Fahrzeuglängsachse. Eine durch diesen Punkt verlaufende Vertikale V schneidet den Horizont H in einem Punkt des Schirms, der auch als $HV = (0,0)$ bezeichnet wird. Für Einzelheiten einer solchen Lichtverteilung wird

auf die Erläuterungen zu Figur 9 verwiesen.

[0055] Dem optischen System des Lichtmoduls 14 lässt sich eine Sagittalebene 20 und eine Meridionalebene 22 zuordnen. Die Sagittalebene 20 liegt parallel zur Fahrbahn in der Höhe des Horizonts H. Die Meridionalebene 22 wird von der Richtung der Vertikalen V und einer optischen Achse des Lichtmoduls 14 definiert, die durch den $HV = (0,0)$ Punkt geht.

[0056] Die Lichtquellenbaugruppe 10 umfasst einen Kühlkörper 24 und eine Leiterplatte 26 mit darauf angeordneten SMD-LEDs 28 und der zugehörigen Primäroptik. Die SMD-LEDs mit der zugehörigen Primäroptik 30 sind als Detail Z vergrößert dargestellt.

[0057] Die SMD-LEDs 28 sind bauartbedingt so angeordnet, dass ihre Lichtaustrittsflächen nicht abstandslos aneinander angrenzen. Das von diesen SMD-LEDs 28 emittierte Licht wird durch die Primäroptik 30 so gebündelt, dass sich an den nahtlos aneinandergereihten Lichtaustrittsflächen der Primäroptik 30 eine zusammenhängend geschlossene Zwischenlichtverteilung einstellt. Diese als Ersatzlichtquelle dienende Zwischenlichtverteilung wird anschließend von der Sekundäroptik 12 als Abblendlichtverteilung 16 auf einem entfernt vor dem Lichtmodul 14 stehenden Schirm 17 wiedergegeben. Dabei wird die Unterkante 32 der Primäroptik 30 als Hell-Dunkel-Grenze der Abblendlichtverteilung abgebildet.

[0058] Die Reflektorfläche der Sekundäroptik 12 besteht aus mehreren Reflektorfacetten 12.1, 12.2, 12.3, die zum Beispiel zumindest in Bereichen ihrer Reflexionsfläche als Rotationsparaboloide verwirklicht sind. Dabei nehmen diese Bereiche jeweils den größeren Teil der Reflexionsfläche einer Facette ein. Die für verschiedene Facetten verschiedenen Paraboloide weisen unterschiedliche Brennpunkte 34, 36 auf, die alle auf der Unterkante 32 der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik 30 liegen. Die Brennpunkte 34, 36 liegen dabei vorzugsweise an den Ecken der Primäroptik 30. Die Meridionalebene 22 teilt den Raum des optischen Systems in zwei Halbräume. Strahlt die Lichtquelle von unten in den Sekundärspeigel, so liegen die Spiegelfacetten und ihre Brennpunkte im gleichen Halbraum. Die Achsen der Rotationsparaboloide, auf denen die Reflektorfacetten basieren, weisen in Richtung der Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze 18. In diesem Ausführungsbeispiel wird die Lichtquellenkante als Hell-Dunkel-Grenze der regelkonformen Lichtverteilung abgebildet.

[0059] Als repräsentativer Lichtstrahl des in der Fig. 1 dargestellten Lichtmoduls 14 wird im Folgenden ein Hauptstrahl 38 aus dem Strahlengang des Lichtmoduls betrachtet, der in der Meridionalebene 22 verläuft.

[0060] Die Hauptabstrahlrichtungen der einzelnen LEDs sind bevorzugt parallel zueinander und stimmen insofern überein. Der betrachtete Lichtstrahl 38 verläuft in Hauptabstrahlrichtung der Lichtquellen 28 durch die untere Berandung der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik 30 und propagiert in Richtung der Reflektorfläche der Sekundäroptik 12. An der Reflektorfläche wird der Hauptstrahl 38 in spitzem Winkel ($< 90^\circ$) reflektiert und an einen

Punkt an der Hell-Dunkel-Grenze 18 der Lichtverteilung 16 im Bereich $H = 0^\circ$ gelenkt, dessen vertikale Komponente üblicherweise bei $V = -0,57^\circ$ liegt.

[0061] Der Gegenstand der Figur 2 unterscheidet sich von dem Gegenstand der Figur 1 dadurch, dass die Lichtquelle 10 von oben in den Sekundärreflektor 12 einstrahlt. Die Meridionalebene 22 teilt den Raum des optischen Systems in zwei Halbräume. Strahlt die Lichtquelle von oben in den Reflektor, liegen die Brennpunkte der Parabelfacetten immer auf der anderen Seite der Meridionalebene wie die Reflektorfacette selbst, was im Vergleich zur Figur 1 durch die im Detail Y von rechts nach links vertauschten Brennpunkte 34, 36 verdeutlicht wird. Durch die andere Anordnung der Lichtquelle vertauschen sich also die Seiten der Fokuspunkte 34, 36 der jeweiligen Reflektorfacetten. Insgesamt zeigt Figur 2 ebenfalls ein LED-Abblendlichtmodul 14 mit asymmetrischer Hell-Dunkel-Grenze 18.

[0062] Die Aufgabe der Primäroptik 30 besteht innerhalb der hier vorgestellten Erfindung insbesondere darin, eine scharf begrenzte, streifenfreie und insofern als Ersatzlichtquelle geeignete Zwischenlichtverteilung in einer Ebene zu erzeugen, die von der Sekundäroptik 12 in der regelkonformen Lichtverteilung 18 scharf abgebildet wird. Dazu muss die Primäroptik 30 insbesondere aus den nicht abstandslos benachbarten Lichtaustrittsflächen der SMD-LEDs 28 eine geschlossen zusammenhängend leuchtende Fläche erzeugen.

[0063] Zu diesem Zweck werden die SMD-LEDs 28 in einer oder mehreren parallelen Reihen angeordnet. Vor das LED-Array wird nun ein Optikarray 30 aus sammelnden Linsen, Reflektoren oder konischen Lichtleitern in den Strahlengang gebracht, so dass die Lichtaustrittsfläche möglichst gleichmäßig und homogen ausgeleuchtet wird und das abgestrahlte Strahlenbündel keine Lücken aufweist.

[0064] Figur 3 zeigt ein Primäroptikarray 30 aus Reflektoren. Die Reflektorteilbereiche 40 sind hier als abstandslos aneinander angrenzende Ausnehmungen aus einem einstückigen Grundkörper 42 verwirklicht. Figur 3b zeigt eine perspektivische Ansicht der Baugruppe aus der Leiterplatte 26 und den Reflektor-Teilbereichen 40, welche die zugeordneten LEDs verdecken. Figur 3a zeigt einen Schnitt durch diese Baugruppe, der in Richtung der Reihenanordnung verläuft. Figur 3d zeigt einen Schnitt durch diese Baugruppe, der quer zu der Reihenanordnung verläuft und Figur 3c zeigt eine Draufsicht und eine Lage der genannten Schnitte.

[0065] Die Reflektor-Teilbereiche haben dabei rechteckige, insbesondere quadratische Querschnitte. Die Lichtaustrittsflächen der einzelnen Reflektoren 40 reihen sich lückenlos und damit abstandslos aneinander an und begrenzen die resultierende leuchtende Fläche mit scharfen, geraden Kanten 44. Jeder SMD-LED 28 ist je ein Reflektor 40 zugeordnet. Die Mittelpunkte der Reflektoren 40 und die Mittelpunkte der Lichtaustrittsflächen der Lichtquellen 28 haben gleiche Abstände. Die Reihenanordnung der Reflektoren 40 besitzt daher die glei-

che Teilung wie die Reihenanordnung der LEDs 28.

[0066] In einer Ausgestaltung ist zwischen den Reflektor-Teilbereichen und den LED ein Wärmeschutzblech 46 angeordnet, das die Rückseite der Reflektor-Teilbereiche 40 des Optikarrays 30 vor Strahlung schützt. Natürlich ist das Wärmeschutzblech 46 über den Lichtaustrittsflächen der SMD-LEDs 28 unterbrochen, um einen Lichtaustritt zu erlauben.

[0067] Insbesondere die Figuren 3a, 3b und 3d zeigen deutlich ein Array aus sich konisch zum Lichtaustritt hin erweiternden Reflektoren 40 mit quadratischen oder rechteckigen Querschnitten, wobei ein solcher Querschnitt senkrecht zur optischen Achse und damit senkrecht zur Hauptabstrahlrichtung der LEDs 28 angeordnet ist. Die Reflektor-Teilbereiche 40 weisen bevorzugt die dargestellte Geometrie von Pyramidenstümpfen auf. Wie in der Figur 3 dargestellt ist, sind die Reflektor-Teilbereiche 40 und die ihnen jeweils ein-eindeutig zugeordneten Lichtquellen 28 in einer oder mehreren Reihen angeordnet. Außerdem sind die Reflektor-Teilbereiche 40 untereinander gleich und ihre Lichtaustrittsflächen grenzen abstandslos aneinander an, so dass ihre Lichtaustrittsflächen durch mindestens eine Gerade 44 begrenzt werden. Fig. 3b zeigt insbesondere auch eine als Hell-Dunkel-Grenze abzubildende Unterkante 44 der Lichtaustrittsfläche der Reflektorreihenanordnung. Fig. 4 zeigt insbesondere die Fokusebene 48 der Sekundäroptik 12, die in einer Ebene mit der Zwischenlichtverteilung liegt, die sich als Lichtaustrittsfläche der Reflektoren 40 ergibt.

[0068] Fig. 4 zeigt einen der Fig. 3 vergleichbaren Gegenstand. Im Unterschied zum Gegenstand der Figur 3 ist das Primäroptikarray 50 aus Sammellinsen aufgebaut. Die Sammellinsenteilbereiche 50 sind hier als abstandslos aneinander angrenzende Teilbereiche eines einstückigen transparenten Grundkörpers 52 verwirklicht. Der einstückige Grundkörper 52 besteht bevorzugt aus einem der oben genannten Materialien.

[0069] Figur 3b zeigt eine perspektivische Ansicht der Baugruppe aus der Leiterplatte 26 und den Sammellinsenteilbereichen 50 sowie den zugeordneten LEDs 28. Figur 3a zeigt einen Schnitt durch diese Baugruppe, der in Richtung der Reihenanordnung verläuft. Figur 3d zeigt einen Schnitt durch diese Baugruppe, der quer zu der Reihenanordnung verläuft und Figur 3c zeigt eine Draufsicht und eine Lage der genannten Schnitte.

[0070] Jeder Lichtquelle 28 ist ein-eindeutig ein Sammellinsenteilbereich 50 zugeordnet. Vergleiche Fig. 4c. Das Linsenarray ist mindestens an einer Kante wenigstens abschnittsweise durch eine ebene Seitenfläche 54 begrenzt, an der ein Teil des Strahlenganges reflektiert wird. Dies ist in der Fig. 4d deutlich erkennbar.

[0071] Alternativ kann diese Kante 54 auch durch eine Blende 56 gebildet werden, die unmittelbar vor der Lichtaustrittsfläche des Linsenarrays in den Strahlengang gebracht wird. Dies ist in der Fig. 4e und 4f dargestellt.

[0072] Figur 4e zeigt ein Primäroptikarray aus Sammellinsen 50 mit zusätzlicher Blende 56. Diese deckt eine

Kante der Primäroptik ab, um die Lichtaustrittsfläche möglichst scharf zu begrenzen. Diese Blende bewirkt eine besonders scharfe Begrenzung der Lichtaustrittsfläche dadurch, dass sie alles Licht abschattet, das an der Lichtaustrittsfläche vorbeigestreut wird. Die Sekundäroptik fokussiert in diesem Fall möglichst direkt auf die Blendenkante. Soll eine Abblendlichtverteilung mit zumindest abschnittsweise horizontal verlaufender Hell-Dunkel-Grenze erzeugt werden, so verläuft die Blendenkante entlang des unteren Randes der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik, mit deren Hilfe dann durch die Sekundäroptik der Hell-Dunkel-Übergang der Lichtverteilung gebildet wird.

[0073] Die Zwischenlichtverteilung liegt bei den Linsenarrays im Bereich der Linsenkörper. Der Fokus der Sekundäroptik liegt in Fig. 4f an der Kante der Blende 54. Die Ausführung mit dem Linsenarray ist bevorzugt.

[0074] Die Blende kann auch in Verbindung mit den übrigen Ausgestaltungen von Primäroptiken, die in dieser Anmeldung vorgestellt werden, verwendet werden.

[0075] Wie in der Figur 4 dargestellt ist, sind die Sammellinsenteilbereiche 50 wie auch die ihnen jeweils eindeutig zugeordneten Lichtquellen 28 in einer oder mehreren Reihen angeordnet. Außerdem sind die Sammellinsenteilbereiche 50 untereinander gleich und ihre Lichtaustrittsflächen grenzen abstandslos aneinander an, so dass ihre Lichtaustrittsflächen durch mindestens eine Gerade 44 begrenzt werden.

[0076] Figur 4g zeigt eine Anordnung eines Paares aus einer von mehreren Halbleiterlichtquellen 28 in Form eines LED-Chips und eines Licht dieses Chips sammelnden Sammellinsenteilbereichs 50 des Grundkörpers 52. Eine Teilung des Grundkörpers 52 ist mit T bezeichnet. Die Teilung T entspricht der Breite der einzelnen Sammellinsenteilbereiche 50 sowie dem Abstand der Mittelpunkte benachbarter LED-Chips 28. Mit B_{LED} ist eine Kantenlänge des LED-Chips 28 bezeichnet. Ein virtueller LED-Chip ist mit 28' bezeichnet. Die Kantenlänge des virtuellen LED-Chips 28' ist mit B'_{LED} bezeichnet. Ein objektseitiger Brennpunkt des Sammellinsenteilbereichs 50 ist mit F und ein Hauptpunkt des Sammellinsenteilbereichs 50 ist mit H bezeichnet. Der Hauptpunkt H einer Linse ist als Schnittpunkt einer Hauptebene der Linse mit der optischen Achse definiert. Die Sekundäroptik 4 des erfindungsgemäßen Lichtmoduls 1 ist vorzugsweise auf einen Hauptpunkt H eines der Sammellinsenteilbereiche 50, vorzugsweise auf den Hauptpunkt H des in der Nähe einer optischen Achse des Lichtmoduls befindlichen Sammellinsenteilbereichs 50, fokussiert. Das Bezugszeichen f bezeichnet die Brennweite des Sammellinsenteilbereichs 50 und S_F eine Schnittweite des Sammellinsenteilbereichs 50. Ein Abstand zwischen dem LED-Chip 28 und der Lichteintrittsfläche des Sammellinsenteilbereichs 50 ist mit S_1 , und ein Abstand zwischen dem virtuellen Chip-Bild 28' und der Lichteintrittsfläche des Sammellinsenteilbereichs 50 ist mit S_2 bezeichnet.

[0077] Der LED-Chip 28 liegt zwischen dem Sammellinsenteilbereich 50 und dessen objektseitigem Brenn-

punkt F. Der LED-Chip 28 wird durch den Sammellinsenteilbereich 50 so vergrößert, dass das (aufrechte) virtuelle Bild 28' des Chips (in Lichtaustrittsrichtung vor dem objektseitigen Linsenbrennpunkt F) etwa gleich groß ist wie der Sammellinsenteilbereich 50, d.h. $B'_{LED} \approx T$. Für die angegebenen Größen gelten näherungsweise folgende Zusammenhänge:

$$\frac{S_F - S_1}{S_F} \approx \frac{B_{LED}}{T} \approx \frac{B_{LED}}{B'_{LED}}$$

$$0,1 \text{ mm} \leq S_1 \leq 2 \text{ mm}$$

$$1 \times B_{LED} \leq T \leq 4 \times B_{LED}$$

[0078] Die Sammellinsenteilbereiche 50 des Grundkörpers 52 dienen nicht zur Erzeugung reeller Zwischenbilder der Lichtquellen 28, sondern bilden lediglich eine ausgeleuchtete Fläche auf der Lichtaustrittsseite 25 der Sammellinsenteilbereiche 50. Die Lichtquellen 28 sind derart zwischen den Lichteintrittsflächen der Sammellinsenteilbereiche 50 und den objektseitigen Brennpunkten F der Sammellinsenteilbereiche 50 angeordnet, dass die Ränder der Lichtquellen 28 auf geometrischen Verbindungen von den Brennpunkten F zu den Linsenrändern liegen. Die Abstrahlflächen der Lichtquellen 28 sind senkrecht zu den optischen Achsen der Sammellinsenteilbereiche 50 angeordnet. Dadurch ergibt sich eine sehr gleichmäßige Ausleuchtung der Sammellinsenteilbereiche 50, und auf den Lichtaustrittsflächen der Sammellinsenteilbereiche 50 ergibt sich eine besonders homogene Lichtverteilung, die sog. Zwischenlichtverteilung. Diese Zwischenlichtverteilungen werden durch die Sekundäroptik zur Erzeugung der resultierenden Gesamtlichtverteilung des Lichtmoduls auf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug abgebildet. Die optischen Achsen der einzelnen Sammellinsenteilbereiche 50 des Grundkörpers 52 verlaufen alle in einer Ebene, bevorzugt sind sie parallel zueinander. Die Achse der Sekundäroptik ist auf der Seite, die dem Grundkörper 52 zugewandt ist, parallel zu der Achse mindestens einer der Sammellinsenteilbereiche 50. Die LEDs sind insbesondere zwischen ihrem jeweiligen Sammellinsenteilbereich und dessen paraxialem Brennpunkt so angeordnet, dass eine lückenlose Zwischenlichtverteilung entsteht, die sich aus den virtuellen Bildern der Lichtaustrittsflächen der einzelnen Chips zusammensetzt. Es wird darauf hingewiesen, dass das Licht hier aus der LED zunächst in Luft austritt und erst dann auf den zugehörigen Sammellinsenteilbereich einfällt. Dies ist ein Unterschied zu Stand der Technik, bei dem LEDs mit transparenten Verguss-

massen verwendet werden, wobei der Verguß möglicherweise eine Linsenwirkung entfaltet.

[0079] Fig. 5 zeigt eine weitere Ausgestaltung des Primäroptikarrays. Im Fall der Fig. 5 besteht das Primäroptikarray aus Lichtleitern 60 mit konisch sich zum Lichtaustritt hin erweiternden Querschnitten, die senkrecht zur Hauptausbreitungsrichtung des Lichtes in den Lichtleitern und damit senkrecht zur jeweiligen optischen Achse orientiert sind und die rechteckig, insbesondere quadratisch sind. Die Lichtaustrittsflächen 62 der einzelnen Lichtleiter 60 reihen sich lückenlos aneinander und begrenzen die leuchtende Fläche mit scharfen, geraden Kanten 44 die hier Unterkanten 44 sind. Jeder LED 28 ist je ein Lichtleiter 60 ein-eindeutig zugeordnet.

[0080] Die Lichteintrittsfläche ist vorzugsweise eben und steht parallel vor dem LED-Chip. Die Lichtleiter 60 werden wie die zugeordneten Lichtquellen in einer oder mehreren Reihen angeordnet, so dass die Lichtaustrittsflächen wiederum durch mindestens eine Gerade 44 begrenzt werden. Die Lichtaustrittsfläche ist vorzugsweise konvex gewölbt. Das Lichtleiterarray wird bevorzugt aus einem der oben genannten Materialien gefertigt. Das Lichtleiterarray wird bevorzugt als einstückiger Grundkörper gefertigt, der die Lichtleiter als Licht leitende Teilbereiche aufweist.

[0081] Für alle drei Ausgestaltungen des Primäroptikarray als Array von Reflektor-Teilbereichen 40, Sammellinsen-Teilbereichen 50 und Lichtleiter-Teilbereichen 60 gilt, dass die Summe der Lichtaustrittsflächen der jeweiligen Teilbereiche die geschlossen zusammenhängende Zwischenlichtverteilung und Ersatzlichtquelle bildet.

[0082] Vernachlässigt man Verluste durch Absorption und Fresnel-Reflexion, dann weist die Ersatzlichtquelle ähnliche Leuchtdichten auf wie die Chips der einzelnen LEDs. Damit weist auch eine solche Ersatzlichtquelle über ihre ganze Lichtaustrittsfläche gleichmäßig verteilte Leuchtdichten und ähnliche Abstrahlwinkel wie einzelne LEDs auf. Damit lässt sich die Ersatzlichtquelle im Folgenden wie ein LED-Array behandeln.

[0083] Die so gebildete Lichtverteilung dient nun als Ersatzlichtquelle für eine nachgeschaltete Sekundäroptik, die eine Sammellinse oder bevorzugt ein Reflektor mit zumindest bereichsweise parabolischer Reflexionsfläche ist und die mithilfe dieser Ersatzlichtquelle eine Abblendlichtverteilung formt.

[0084] Die Ersatzlichtquelle sollte möglichst ähnlich orientiert sein wie die Hell-Dunkel Grenze der Abblendlichtverteilung (nämlich zumindest abschnittsweise horizontal), um eine gute Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze zu erzielen (hoher Beleuchtungsstärkegradient). Aus diesem Grund werden auch alle Reflektoren im Strahlengang so angeordnet, dass der Strahlengang an den jeweiligen Reflektoren immer in möglichst spitzem Winkel ($<90^\circ$) gefaltet wird und die Orientierung der Bilder der Ersatzlichtquelle parallel zur Hell-Dunkel-Grenze weitgehend erhalten bleibt.

[0085] Vorzugsweise ist die Sekundäroptik ein facet-

tierter Parabolreflektor. Der Reflektor ist so im Strahlengang angeordnet, dass die Ersatzlichtquelle von vorne in den Reflektor hineinstrahlt, so dass der Strahlengang in spitzem Winkel umgelenkt wird. Der mindestens eine Brennpunkt des Reflektors liegt dabei auf dem Rand der Ersatzlichtquelle. Zur Erzeugung einer Abblendlichtverteilung ist dies der untere Rand der Ersatzlichtquelle. Wie beschrieben, kann dieser Rand zusätzlich durch eine Blende abgeschattet werden, um zu verhindern, dass Streulicht ins Dunkelfeld der Lichtverteilung gelangt.

[0086] Besitzt die Sekundäroptik mehrere Reflektorfacetten, so liegen deren Brennpunkte wiederum auf der Kante der Ersatzlichtquelle, werden aber je nach Lage der Facette vorzugsweise an verschiedenen Enden der Lichtquellenkante positioniert:

Strahlt die Lichtquelle von unten in den Reflektor, so haben die jeweiligen Parabelfacetten ihren Brennpunkt immer im selben von der Meridionalebene begrenzten Halbraum.

Strahlt die Lichtquelle von oben in den Reflektor, liegen die Brennpunkte der Parabelfacetten immer auf der anderen Seite der Meridionalebene wie die Reflektorfacette selbst.

[0087] Dadurch wird gewährleistet, dass die Bilder der Ersatzlichtquelle immer mit der am nächsten liegenden Ecke an die Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze anschließen und kein Teil der Lichtquellenbilder in das Dunkelfeld der Lichtverteilung hineinragt.

[0088] Die Sekundäroptik fokussiert nicht auf die Chipenebene der LEDs sondern auf die Unterkante der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik. Die Lichtaustrittsfläche kann besonders scharf begrenzt werden, wenn entlang des Randes der Lichtaustrittsfläche, eine Blende angeordnet wird, die alles Licht abschattet, das an der Lichtaustrittsfläche vorbeigestreut wird.

[0089] Die Sekundäroptik fokussiert in diesem Fall möglichst direkt auf die Blendenkante. Soll eine Abblendlichtverteilung mit zumindest abschnittsweise horizontal verlaufender Hell-Dunkel-Grenze erzeugt werden, so verläuft die Blendenkante entlang des unteren Randes der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik, mit deren Hilfe dann durch die Sekundäroptik der Hell-Dunkel-Übergang der Lichtverteilung gebildet wird.

[0090] Die Reflektorfläche der Sekundäroptik besteht bevorzugt aus mehreren Reflektorfacetten, die jeweils als Rotationsparaboloide verwirklichte Flächen aufweisen. Die verschiedenen Paraboloide weisen unterschiedliche Brennpunkte auf, die alle auf der Unterkante der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik liegen und zwar vorzugsweise an deren Rändern (Ecken), wobei die Brennpunkte in der gleichen Hemisphäre liegen wie die dazugehörenden Facettenflächen.

[0091] Die Achsen der Rotationsparaboloide, auf denen die Reflektorfacetten basieren, weisen in Richtung der Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze. Damit wird die Lichtquellenkante als Hell-Dunkel-Grenze der Lichtver-

teilung abgebildet.

[0092] In einer Ausgestaltung werden die Reflektorfacetten statt als Rotationsparaboloide als torische Flächen ausgeführt: Hierzu wird die Krümmung des Rotationsparaboloids in Schnitten parallel zur Hell-Dunkel-Grenze (bzw. zu Abschnitten der Hell-Dunkel-Grenze) durch den Brennpunkt des Paraboloids so erhöht oder verringert, dass sich anstelle des Brennpunktes eine Brennnlinie ergibt, die parallel zur Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze bzw. zu Abschnitten der Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze verläuft. Die Streuung kann auch durch streuende Zylinderoptiken erreicht werden, die auf die Facettenflächen aufgebracht werden und deren Zylinderachse senkrecht auf Hauptstrahl und Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze stehen.

[0093] Soll eine asymmetrische Abblendlicht-Hell-Dunkel-Grenze mit Anstieg erzeugt werden, so wird dieser Anstieg über eine Reflektorfacette erzeugt, die möglichst nahe am Rand der Reflektorfläche liegt. Einzelheiten dazu werden weiter unten unter Bezug auf die Fig. 8 erläutert.

[0094] Figur 6 zeigt Ausgestaltungen erfindungsgemäßer Lichtmodule 14, die einen Umlenkspiegel aufweisen, der den Strahlengang zusätzlich faltet. Diese Maßnahme dient dazu, den Bauraum des Lichtmoduls zu verkürzen und einen weiteren Freiheitsgrad zu schaffen, um die Elemente des Lichtmoduls möglichst frei anordnen zu können.

[0095] So bietet es konstruktive Vorteile, wenn die Lichtquelle 10 in Fahrtrichtung (Lichtabstrahlrichtung) nach vorne abstrahlt und die Entwärmung der Lichtquelle über einen Kühlkörper 24 nach hinten erfolgt: Eine derartige Lichtquelle kann auf einfache Weise von der Rückseite des Scheinwerfers gewechselt werden. Auch lässt sich der Kühlkörper auf der Rückseite des Lichtmoduls leichter belüften, was die Kühlleistung verbessert. Darüber erhält man ein kompaktes Lichtmodul, dessen Schwerpunkt in der Nähe der Lichtaustrittsfläche liegt, was das mechanische Schwenken des Lichtmoduls 14 erleichtert.

[0096] Das Falten des Strahlenganges ist auch deshalb günstig, weil sich die Brechkraft bei dem vorgeschlagenen optischen System auf Primär- und Sekundäroptik aufteilt, so dass man Sekundäroptiken mit geringer Brechkraft, d.h. mit langer Brennweite erhält (die Brennweiten sind 2-3 mal größer als bei einstufigen Systemen).

[0097] Der Umlenkspiegel 64 wird als Hyperboloid ausgeführt, wobei das Hyperboloid ausdrücklich auch den Spezial-Fall des ebenen Spiegels beinhalten soll. Die beschriebenen Eigenschaften der Sekundäroptik 12 beziehen sich in diesem Fall auf das optische System 64, 12 aus Umlenkspiegel 64 und Sekundäroptik 12, das nun mit einem oder mehreren Brennpunkten auf die untere Kante der Ersatzlichtquelle fokussiert. Der Umlenkspiegel 64 erzeugt dabei mindestens ein virtuelles Zwischenbild 66 der Ersatzlichtquelle 68.

[0098] Die Ersatzlichtquelle 68 liegt dabei in der objektseitigen Petzvalfläche des hyperbolischen Umlenk-

spiegels, während der oder die Brennpunkte der Sekundäroptik 12 in der bildseitigen Petzvalfläche des Hyperboloids liegen, d.h. die Sekundäroptik 12 fokussiert statt auf die reelle Ersatzlichtquelle 68 auf deren virtuelles Bild 66.

[0099] Fig. 6a zeigt ein solches Abblendlichtmodul 14 mit einem durch einen Umlenkspiegel 64 zusätzlich gefalteten Strahlengang. Der Umlenkspiegel 64 erzeugt ein virtuelles Bild 66 der Ersatzlichtquelle 68. Die Brennpunkte der Sekundäroptik 12 liegen so, wie es in Verbindung mit der Figur 1 erläutert wurde, bevorzugt auf den Ecken der Primäroptik. Im Fall der Fig. 6a fokussiert die Sekundäroptik aber nicht auf die reale Primäroptik, sondern auf die Ecken des virtuellen Bildes der als Ersatzlichtquelle 66 dienenden Primäroptik.

[0100] Fig. 6b zeigt ebenfalls ein Abblendlichtmodul 14 mit einem durch einen Umlenkspiegel 64 zusätzlich gefalteten Strahlengang. Der Umlenkspiegel 64 erzeugt ein virtuelles Bild 66 der Ersatzlichtquelle 68. Die Brennpunkte der Sekundäroptik 12 liegen nun auf der Unterkante 44 des virtuellen Bildes 66 der Ersatzlichtquelle 68. Der Umlenkspiegel 64 verkürzt die Baulänge und ermöglicht so eine besonders kompakte Bauweise des Lichtmoduls 14.

[0101] Das optische System aus Umlenkoptik 64 und Sekundäroptik 12 ist bevorzugt so ausgestaltet, dass die

Bedingung $\sum_i^n s_i \cdot n_i = \text{konstant}$ für alle opti-

schen Wege s_i gilt, welche die objektseitigen Brennpunkte 34, 36 der durch den zusätzlichen Umlenkspiegel 64 zweiteiligen Sekundäroptik mit dem gemeinsamen, im Unendlichen liegenden objektseitigen Brennpunkt verbinden. In einer Ausgestaltung weist wenigstens einer der beiden Spiegel eine oder mehrere Facetten auf.

[0102] Ein optisches System aus Umlenkoptik 64 und Sekundäroptik 12, das die Bedingung

$\sum_i^n s_i \cdot n_i = \text{konstant}$ erfüllt, muss nicht zwin-

gend ein scharfes virtuelles Zwischenbild 66 liefern, da Aberrationen (Unschärfe, Verzeichnung, Öffnungsfehler) des Zwischenbildes durch die nachgeschaltete Sekundäroptik 12 wieder ausgeglichen werden können.

[0103] In Bezug auf den Umlenkspiegel 64 werden fünf Ausgestaltungen unterschieden. In einer ersten Ausgestaltung ist der Umlenkspiegel 64 ein ebener Spiegel. Dies ist in der Fig. 6 dargestellt.

[0104] Figur 7a zeigt eine zweite Ausgestaltung mit einem Umlenkspiegel 64, der konkav ist und daher eine sammelnde Wirkung besitzt. Die Form ist bevorzugt eine Hyperbel-Form. Aufgrund der sammelnden Charakteristik ist das virtuelle Zwischenbild 66 hier ein vergrößertes Bild der Ersatzlichtquelle 68. Der erste Hyperbelbrennpunkt 70 liegt auf der Unterkante der realen Primäroptik der realen Ersatzlichtquelle 68. Der zweite Hyperbelbrennpunkt 72 liegt auf der Unterkante des virtuellen Zwischenbildes 66 der Ersatzlichtquelle.

[0105] Fig. 7b zeigt eine dritte Ausgestaltung mit einem Umlenkspiegel 64, der konvex ist und daher eine zerstreuernde Wirkung besitzt. Die Form ist bevorzugt eine Hyperbel-Form. Aufgrund der zerstreuernden Charakteristik ist das virtuelle Zwischenbild 66 hier ein verkleinertes Bild der Ersatzlichtquelle 68. Der erste Hyperbelbrennpunkt 70 liegt auf der Unterkante der realen Primäroptik der realen Ersatzlichtquelle 68. Der zweite Hyperbelbrennpunkt 72 liegt auf der Unterkante des virtuellen Zwischenbildes 66 der Ersatzlichtquelle 68.

[0106] Die Figur 7 zeigt insofern Ausgestaltungen mit einem Hyperboloid als Umlenkspiegel 64, der einen objektseitigen Brennpunkt 70 und einen bildseitigen Brennpunkt 72 aufweist und mit einer vorzugsweise facettierten Sekundäroptik, welche den Umlenkspiegel und den weiteren Spiegel 12 aufweist, und die mehrere objektseitige Brennpunkte und einen bildseitigen Brennpunkt im Unendlichen aufweist. Die Brennpunkte dieser Sekundäroptik 12 liegen auf der Unterkante des virtuellen Bildes 66 der Ersatzlichtquelle 68. Dieses Bild ist im Unterschied zum ebenen Spiegel vergrößert oder verkleinert, je nachdem, ob der Umlenkspiegel 64 ein konkaves oder ein konvexes Hyperboloid ist.

[0107] In einer nicht dargestellten vierten Ausgestaltung besitzt das Lichtmodul mehrere ebene Umlenkspiegelfacetten und eine Sekundäroptik mit einem einzelnen objektseitigen Brennpunkt. Der facettierte Umlenkspiegel teilt den Strahlengang der Sekundäroptik auf und erzeugt so ein optisches System mit mehreren Brennpunkten, ähnlich wie es bei einem facettierten Parabelreflektor der Fall ist. Der facettierte Umlenkspiegel erzeugt mehrere gegeneinander verschobene virtuelle Bilder der Ersatzlichtquelle. Die Brennpunkte der zweiteiligen Sekundäroptik fokussieren wie oben beschrieben auf den Rand der Ersatzlichtquelle.

[0108] In einer ebenfalls nicht dargestellten fünften Ausgestaltung weist das Lichtmodul als Umlenkspiegel ein facettiertes Hyperboloid mit einem objektseitigen und mehreren bildseitigen Brennpunkten auf. Die Sekundäroptik soll in diesem Fall einen objektseitigen und einen bildseitigen Brennpunkt (letzteren im Unendlichen) aufweisen. Das facettierte Hyperboloid erzeugt gegeneinander verschobene, vergrößerte (konkaver Hyperbolspiegel) oder verkleinerte (konvexer Hyperbolspiegel) virtuelle Bilder der Lichtquelle, je nachdem, ob der Hyperbolspiegel konkav (und damit vergrößernd) oder konvex (und damit verkleinernd) geformt ist.

[0109] Figur 8 zeigt Vorderansichten von Ausgestaltungen des Lichtmoduls, wie sie sich einem Betrachter bieten, der sich in der Abstrahlrichtung des Lichtmoduls vor dem Lichtmodul befindet und der in das Lichtmodul hineinblickt. Sowohl im Fall der Figur 8a als auch im Fall der Fig. 8b besitzt der als Sekundäroptik dienende Reflektor zumindest in einem Bereich seiner Reflektorfläche, der größer als die Hälfte seiner gesamten reflektierenden Fläche ist, eine parabolische Form mit drei Facetten.

[0110] Figur 8a zeigt insbesondere eine Ausgestal-

tung, bei der die Facette 12.1 am in Blickrichtung rechten Reflektorrand den asymmetrischen Anstieg 18.2 der Hell-Dunkel-Grenze in der Lichtverteilung 16 erzeugt. Die Facette 12.1 ist insbesondere so angeordnet, dass die Lichtquellenbilder in Richtung des Anstiegs gekippt sind. Dadurch erzeugt die Facette 12.1 Lichtquellenbilder mit einer Orientierung, die in der Summe der Lichtquellenbilder den gewünschten Anstieg der Hell-Dunkel-Grenze erzeugen. Das in der Fig. 8a dargestellte Beispiel eignet sich für Rechtsverkehr. Strahlt die Lichtquelle so wie beim Gegenstand der Fig. 8a von unten in den Reflektor, so liegt die Facette 12.1 nicht auf derselben Seite der Meridionalebene wie der Anstieg 18.2. Die Facettenkante verläuft abschnittsweise senkrecht zum Anstieg.

[0111] Figur 8b zeigt insbesondere eine Ausgestaltung, bei der die Facette 12.3 am linken Reflektorrand den asymmetrischen Anstieg der Hell-Dunkel-Grenze in der Lichtverteilung erzeugt. Strahlt die Lichtquelle so wie beim Gegenstand der Fig. 8b von oben in den Reflektor, so liegt die Facette 12.3 auf derselben Seite der Meridionalebene wie der Anstieg 18.2 selbst. Die Facettenkante verläuft abschnittsweise senkrecht zum Anstieg.

[0112] Figur 9b zeigt eine Abblendlichtverteilung einer Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen Lichtmoduls, wie sie sich auf einem vor dem Fahrzeug stehenden Schirm einstellt. Die horizontale Linie H liegt auf der Höhe des Horizonts. Die vertikale Linie V kreuzt den Horizont in der Verlängerung der Hauptabstrahlrichtung des Lichtmoduls. Die Abweichungen vom Punkt HV = (0, 0) sind jeweils in Winkelgraden angegeben. Geschlossene Kurven sind jeweils Linien konstanter Helligkeit, wobei die Helligkeit von Linie zu Linie von außen nach innen zunimmt. Der rechts vom HV = (0, 0) Punkt erfolgende Anstieg zeigt, dass es sich um ein Lichtmodul für Rechtsverkehr handelt.

[0113] Figur 9a veranschaulicht, wie sich die in der Fig. 9b gezeigte Lichtverteilung als Überlagerung von Lichtquellenbildern 74 ergibt. Jedes Lichtquellenbild wird von einem kleinen Teil der reflektierenden Fläche der Sekundäroptik erzeugt. Die Darstellung der Fig. 9a ist insofern rein schematisch. Die Lichtquellenbilder sind überwiegend horizontal bzw. parallel zur Hell-Dunkel-Grenze orientiert. Die Facette, welche den Anstieg erzeugt, ist dagegen gerade so ausgestaltet, dass sie Lichtquellenbilder liefert, deren Rand parallel zu dem gewünschten Verlauf des Anstiegs liegt.

[0114] Die Primäroptik vergrößert die Lichtaustrittsfläche um einen Faktor, der etwa dem Quotienten aus der Teilung des Optikarrays und der Seitenlänge eines einzelnen Chips entspricht. Das folgt aus der gleichmäßig hellen Ersatzlichtquelle. Die Brennweite der Sekundäroptik entspricht bevorzugt dem 50 - fachen bis 200 - fachen der Seitenlänge eines einzelnen Chips, insbesondere dem 80 - fachen bis 100 - fachen der genannten Seitenlänge.

Patentansprüche

1. Lichtmodul (14) eines Kraftfahrzeugscheinwerfers, mit mehreren Leuchtdioden als Lichtquellen (28), einer Primäroptik (30) und einer Sekundäroptik (12), wobei die Primäroptik dazu eingerichtet ist, von den Lichtquellen ausgehendes Licht zu sammeln und in eine Zwischenlichtverteilung (68) zu überführen, welche die Form einer geschlossen leuchtenden Fläche aufweist, und wobei die Sekundäroptik eine objektseitige Brennweite aufweist, wobei die Primäroptik und die Sekundäroptik so angeordnet sind, dass die Zwischenlichtverteilung im Abstand dieser Brennweite im Lichtweg vor der Sekundäroptik liegt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Primäroptik ein einteiliger, aus Sammellinsenteilbereichen aufgebauter Grundkörper ist, und dass der Chip einer Leuchtdiode zwischen einem Licht dieser Leuchtdiode sammelnden Sammellinsenteilbereich und dessen objektseitigen Brennpunkt liegt, wobei Lichtaustrittsflächen der Lichtquellen (28) durch zwischen ihnen liegende Abstände voneinander getrennt sind und dass die Primäroptik dazu eingerichtet ist, von den Lichtquellen ausgehendes Licht so zu verteilen, dass die Abstände in der Zwischenlichtverteilung (68) nicht erkennbar sind.
2. Lichtmodul (14) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Primäroptik (30) für jede Lichtquelle einen eigenen optisch wirksamen Teilbereich aufweist, von denen jeder eine Lichtaustrittsfläche aufweist und wobei diese Lichtaustrittsflächen abstandslos aneinander angrenzen, und wobei mindestens zwei benachbarte Lichtaustrittsflächen so aneinander angrenzen, dass wenigstens eine Seitenkante einer ersten von zwei aneinander angrenzenden Lichtaustrittsflächen in einer Linie fluchtend mit einer Seitenkante der zweiten der zwei aneinander angrenzenden Lichtaustrittsflächen liegt, so dass die beiden fluchtenden Kanten eine gemeinsame, gerade Kante (44) bilden.
3. Lichtmodul (14) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Teilbereich eine Sammellinse (50) ist.
4. Lichtmodul (14) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Teilbereich ein Reflektor (40) ist.
5. Lichtmodul (14) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Teilbereich ein Lichtleiter (60) ist.
6. Lichtmodul (14) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lichtmodul eine Blende (56) aufweist, die im Strahlengang des Lichtes unmittelbar hinter der Lichtaustrittsfläche so angeordnet ist, dass sie einen Teil der Zwischenlichtverteilung abschattet.
7. Lichtmodul (14) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundäroptik wenigstens einen Hohlspiegelreflektor (12) aufweist.
8. Lichtmodul (14) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine optische Fläche der Sekundäroptik in einen größeren Teilbereich und einen kleineren Teilbereich aufgeteilt ist, wobei der größere Teilbereich dadurch definiert ist, dass er einen ersten objektseitigen Brennpunkt besitzt und dass die beiden Teilbereiche einen gemeinsamen bildseitigen Brennpunkt im Unendlichen besitzen.
9. Lichtmodul (14) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlspiegelreflektor eine reflektierende Fläche aufweist, deren größerer Teil eine parabolische Form aufweist, wobei ein objektseitiger Brennpunkt der parabolischen Form auf der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik liegt.
10. Lichtmodul (14) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundäroptik aus zwei Spiegeln besteht, die im Strahlengang so hintereinander angeordnet sind, dass sie den Strahlengang der Sekundäroptik zweimal in einem spitzen Winkel falten und dass die Sekundäroptik einen objektseitigen Brennpunkt aufweist, der auf der Lichtaustrittsfläche der Primäroptik liegt und dessen Bildpunkt im Unendlichen liegt.
11. Lichtmodul (14) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der in Propagationsrichtung des Lichtes im Strahlengang erste Spiegel (64) ein Hyperboloid und der zweite Spiegel ein Paraboloid (12) ist, wobei der objektseitige Brennpunkt des Hyperboloids den objektseitigen Brennpunkt der Sekundäroptik bildet und der bildseitige Brennpunkt des Hyperboloids mit dem Brennpunkt des Paraboloids zusammenfällt und die Lage eines virtuellen Zwischenbildes der Zwischenlichtverteilung markiert.
12. Lichtmodul (14) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sekundäroptik mehrere objektseitige Brennpunkte und einen oder mehrere gemeinsame bildseitige Brennpunkte oder Brennpunkte im Unendlichen aufweist.
13. Lichtmodul (14) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Spiegel (64) der zweistufigen Sekundäroptik ein Hyperboloid oder ein ebener Spiegel als Spezialfall des Hyperboloids ist, und dass der zweite Spiegel (12) ein facettiertes

Paraboloid ist, wobei der objektseitige Brennpunkt des Hyperboloids den objektseitigen Brennpunkt der Sekundäroptik bildet und wobei der bildseitige Brennpunkt des Hyperboloids die Lage eines virtuellen Zwischenbildes der Zwischenlichtverteilung markiert und wobei die nachgeordneten Parabelfacetten dazu eingerichtet sind, auf den Rand des virtuellen Bildes der Zwischenlichtverteilung zu fokussieren.

5

10

14. Lichtmodul (14) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Spiegel (64) der zweistufigen Sekundäroptik ein facettiertes Hyperboloid oder als dessen Spezialfall ein facettierter Planspiegel ist und dass der zweite Spiegel (12) ein Paraboloid ist, wobei der objektseitige Brennpunkt des Hyperboloids den objektseitigen Brennpunkt der Sekundäroptik bildet und wobei der bildseitige Brennpunkt des Hyperboloids die Lage eines virtuellen Zwischenbildes der Zwischenlichtverteilung markiert und wobei die im Strahlengang nachgeordneten Parabelfacetten auf den Rand des virtuellen Bildes der Zwischenlichtverteilung fokussieren.

15

20

15. Lichtmodul (14) nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Spiegel (64, 12) mehrere objektseitige Brennpunkte aufweisen, die auf dem Rand der Zwischenlichtverteilung liegen und deren Bildpunkt bzw. Bildlinien auf der Hell-Dunkel-Grenze der Lichtverteilung im Unendlichen liegen, wobei die beiden Spiegelflächen so geformt sind, dass alle optischen Wege zwischen dem objektseitigen Brennpunkt und seinen jeweiligen Bildpunkten bzw. Bildlinien gleich lang sind.

25

30

35

40

45

50

55

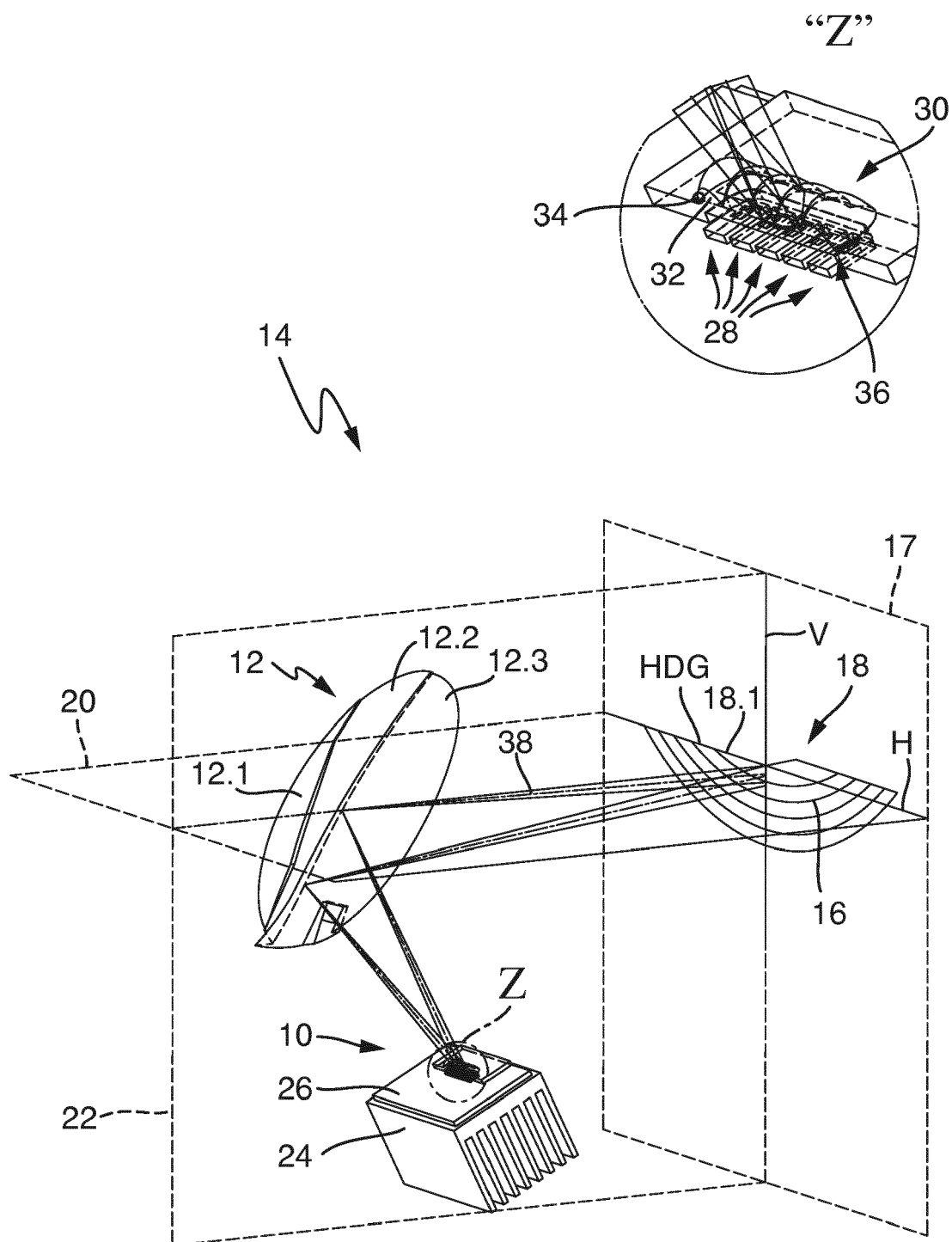


Fig. 1

“Y”

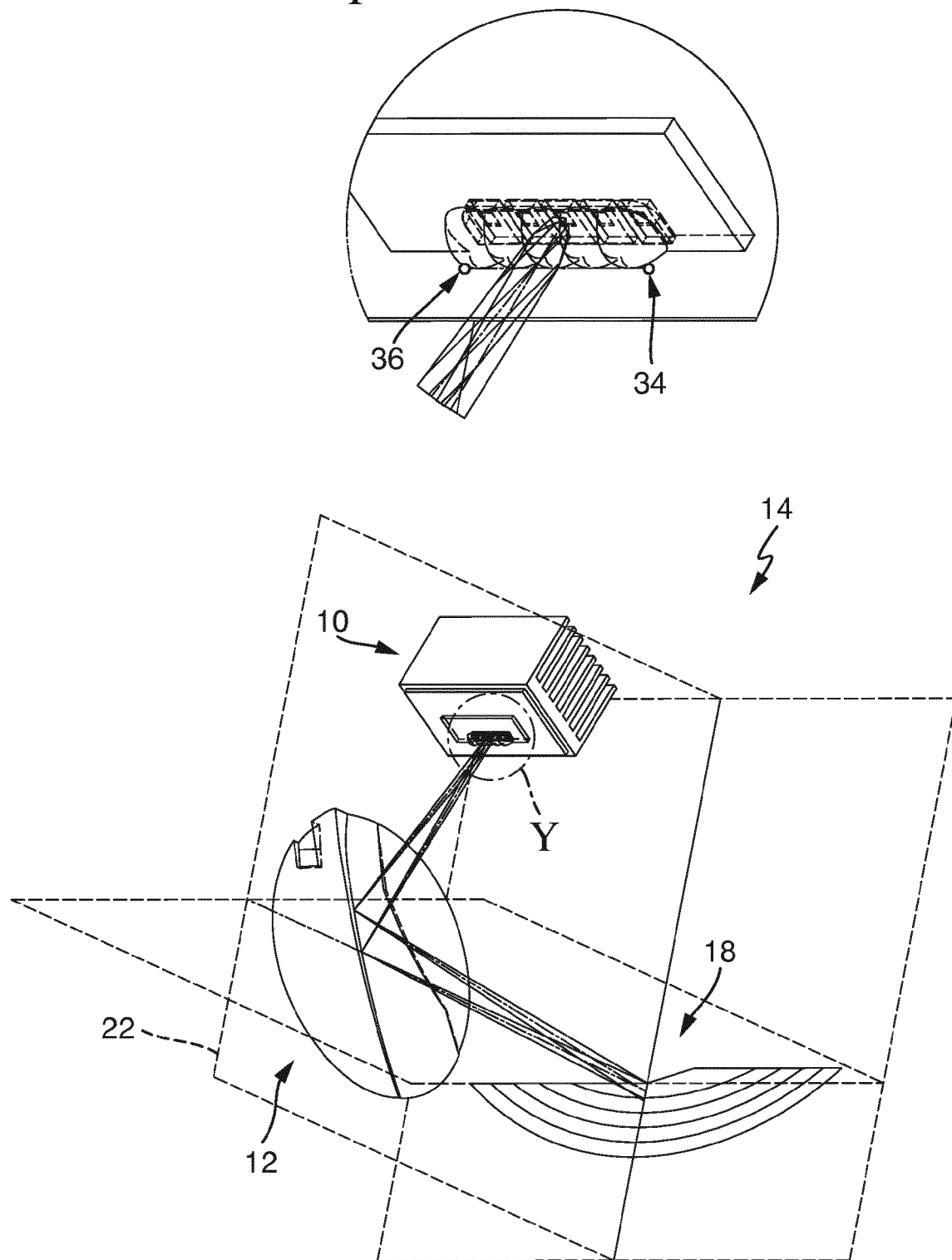


Fig. 2

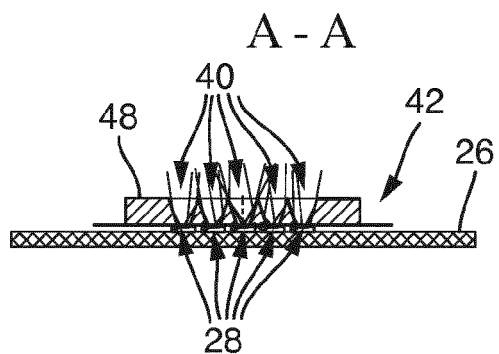


Fig. 3a

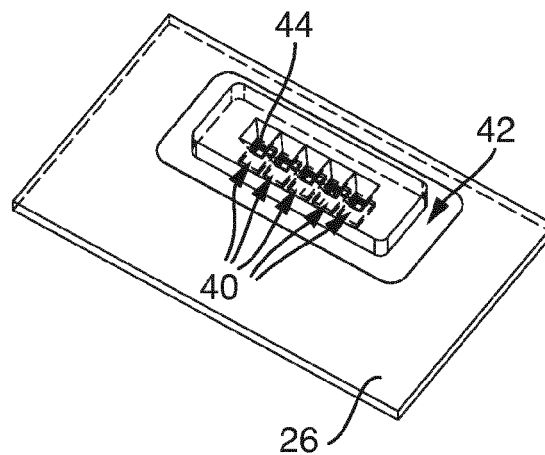


Fig. 3b

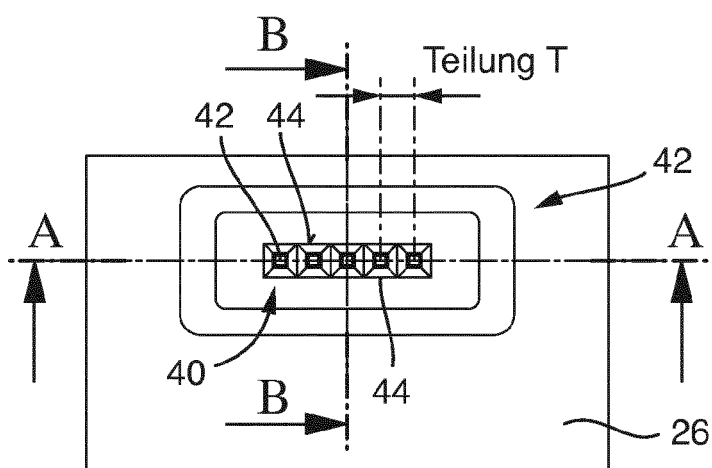


Fig. 3c

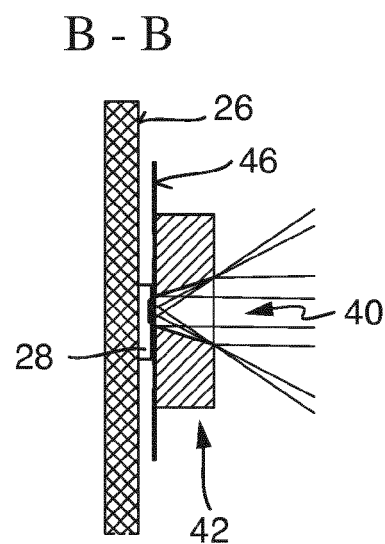


Fig. 3d

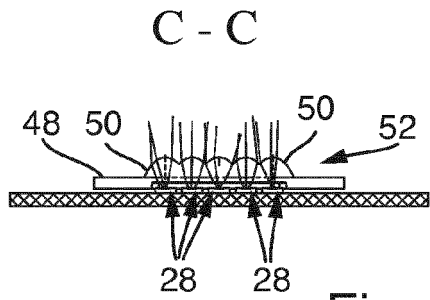


Fig. 4a

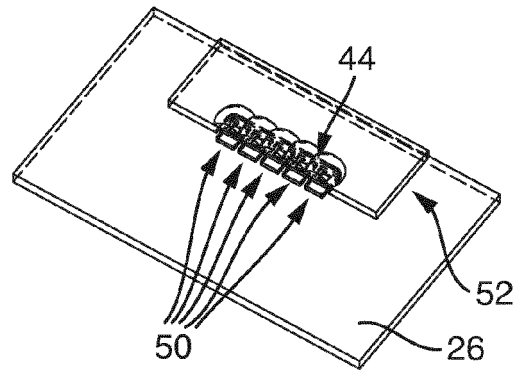


Fig. 4b

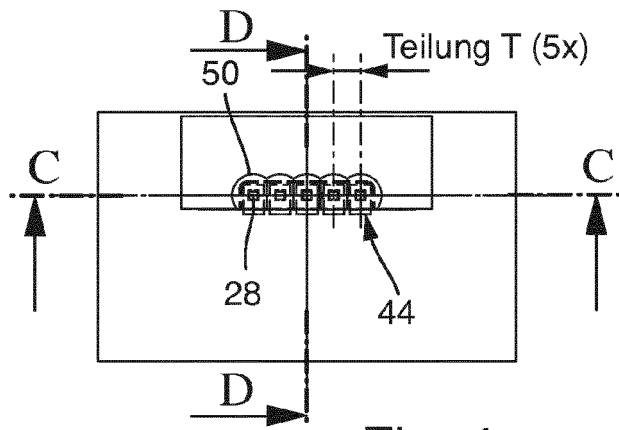


Fig. 4c

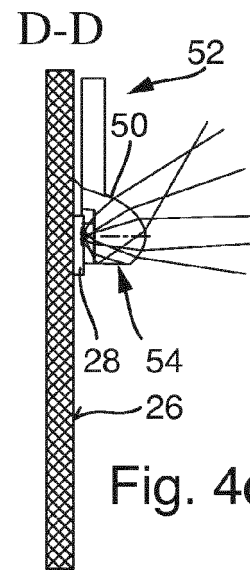


Fig. 4d

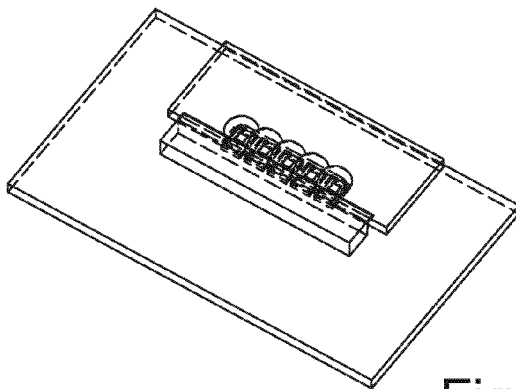


Fig. 4e

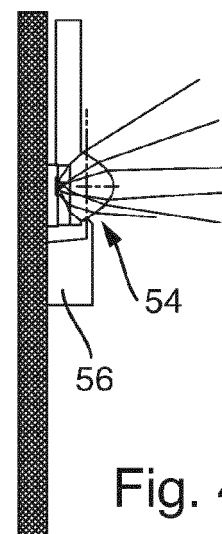


Fig. 4f

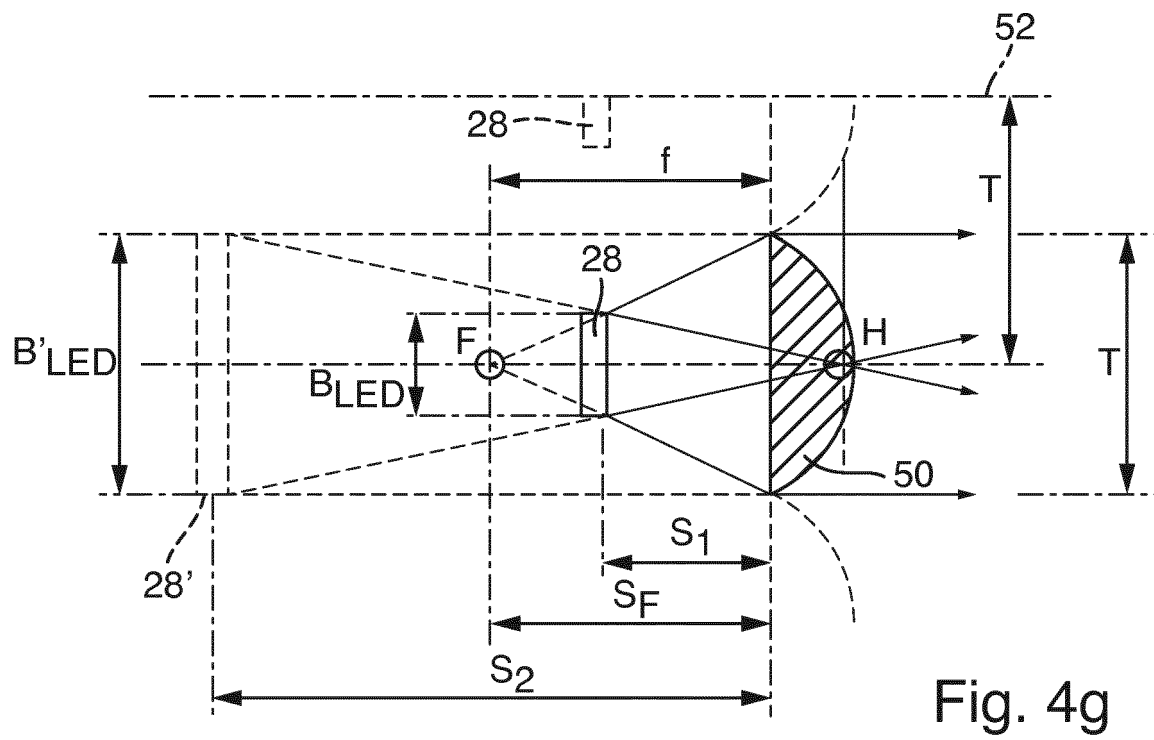


Fig. 4g

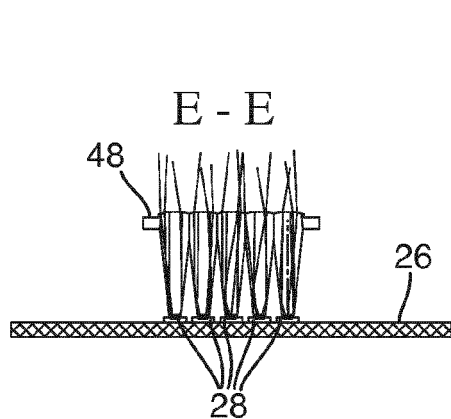


Fig. 5a

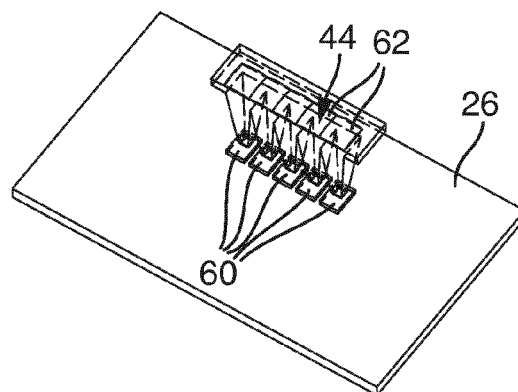


Fig. 5b

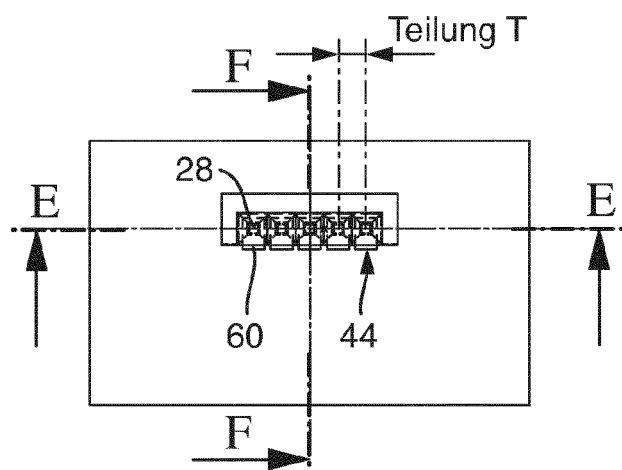


Fig. 5c

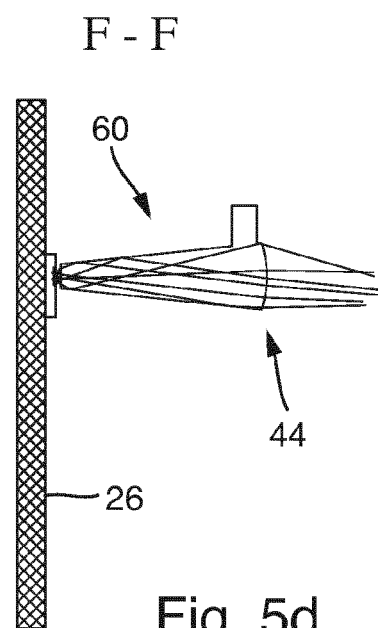


Fig. 5d

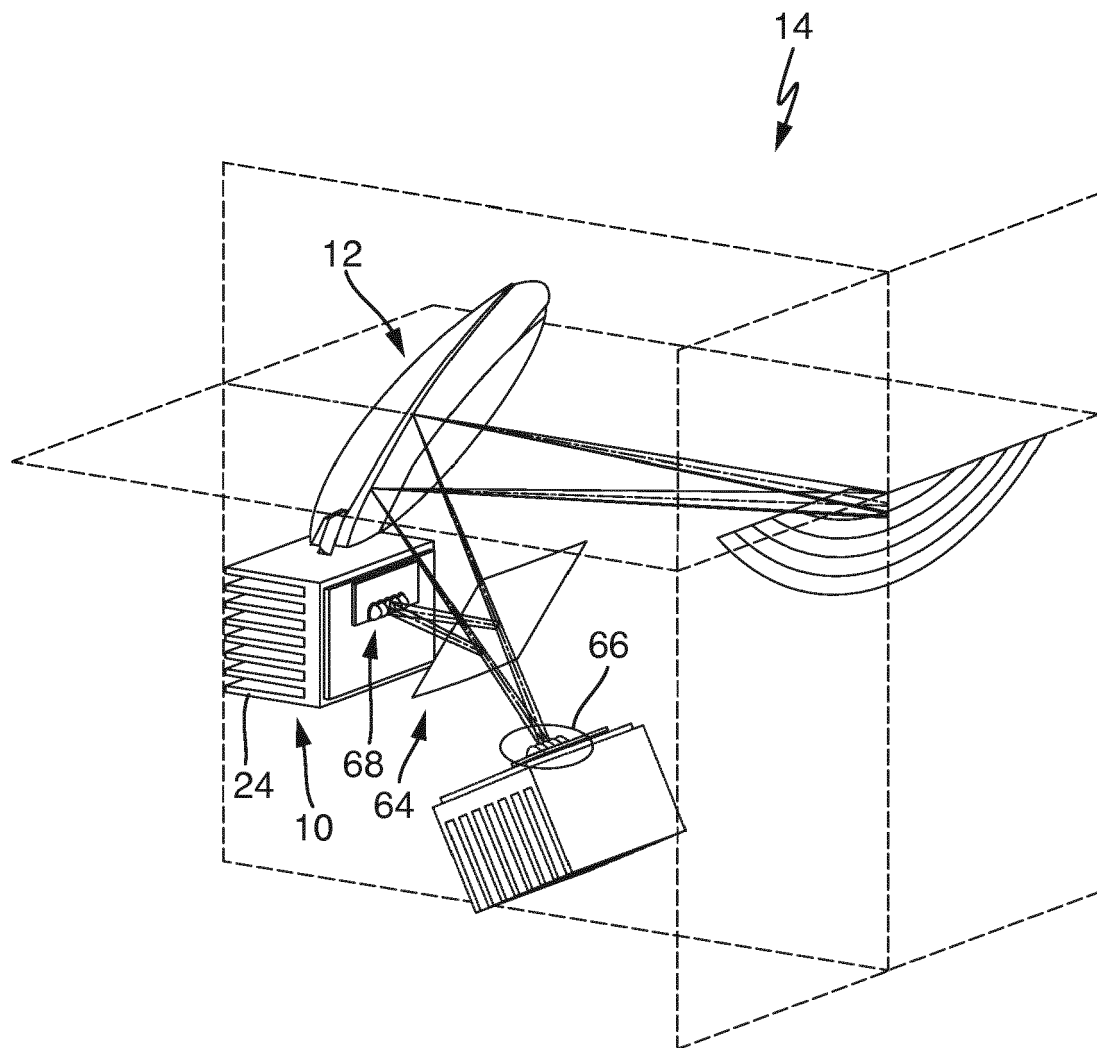


Fig. 6a

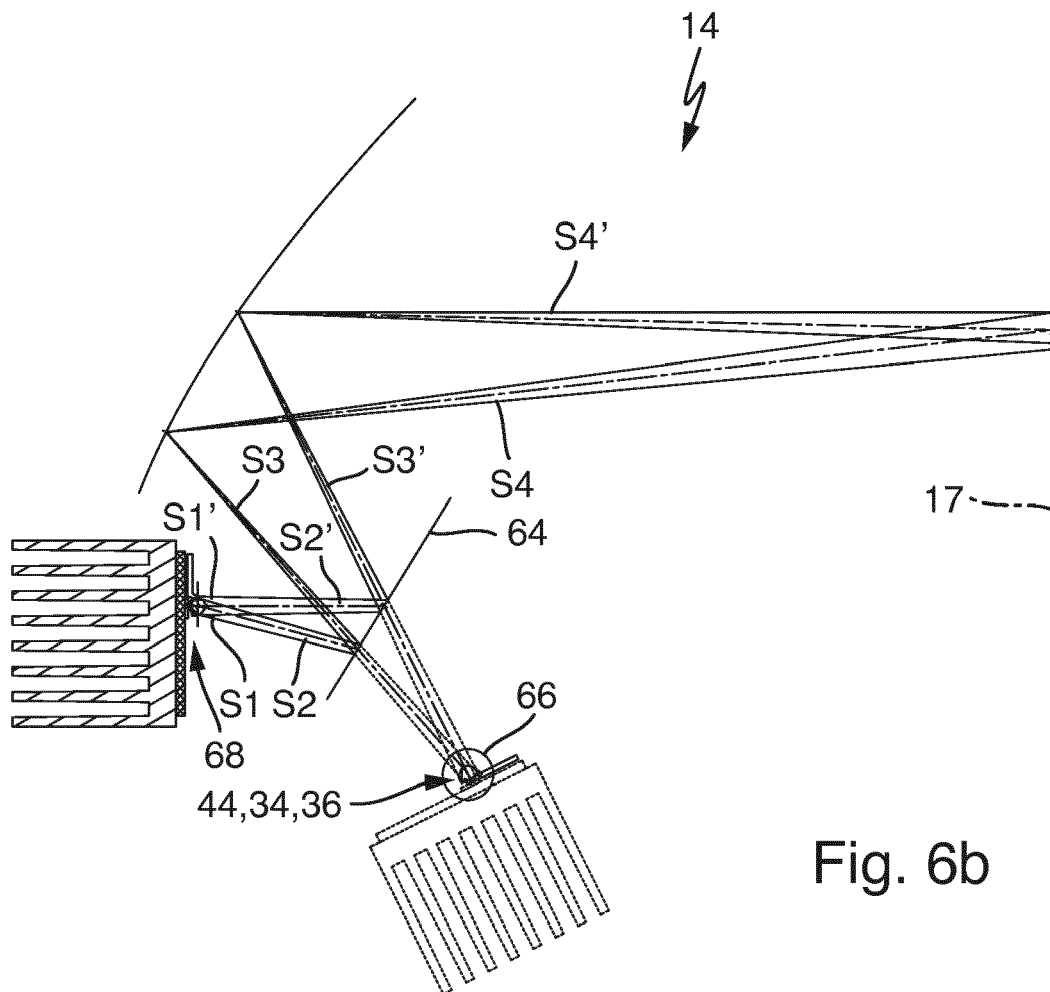
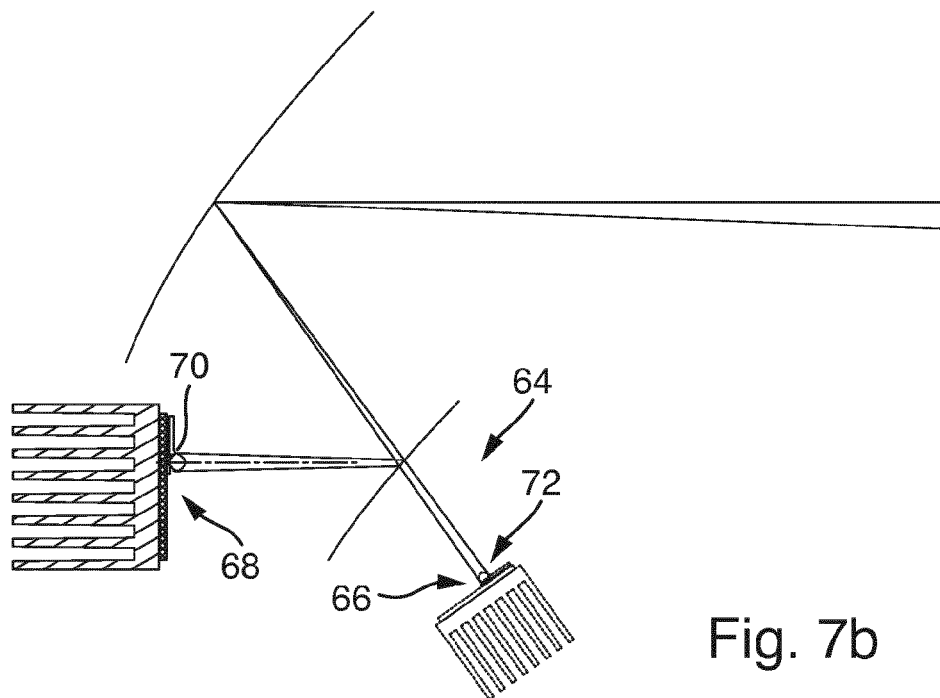
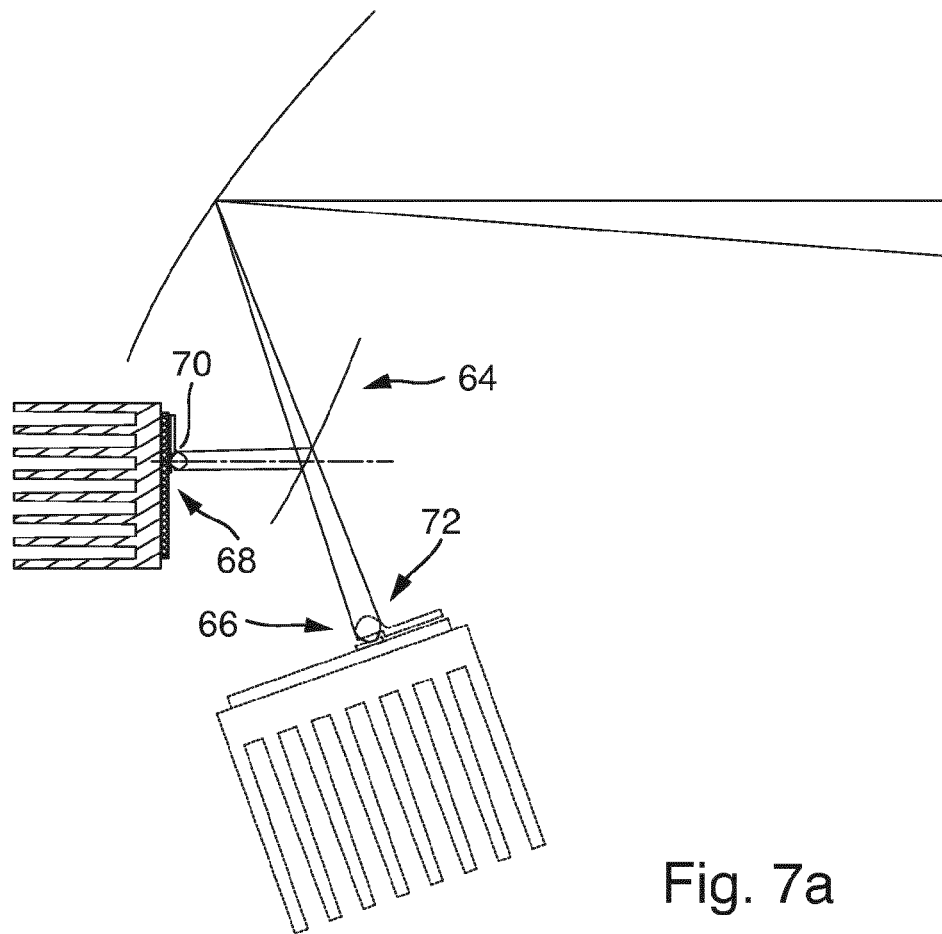
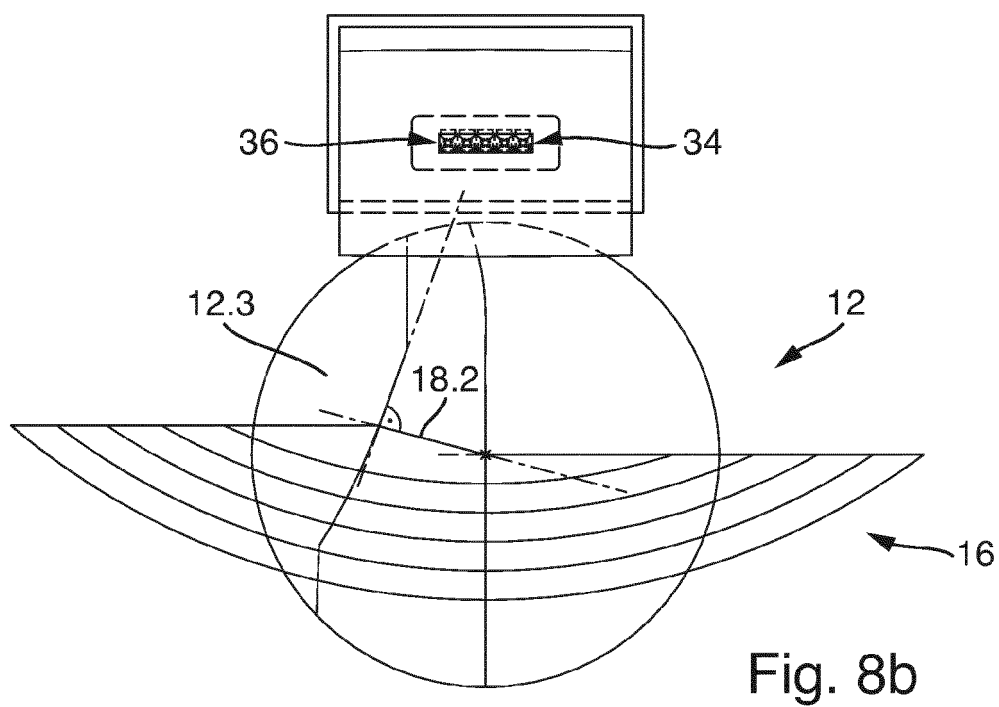
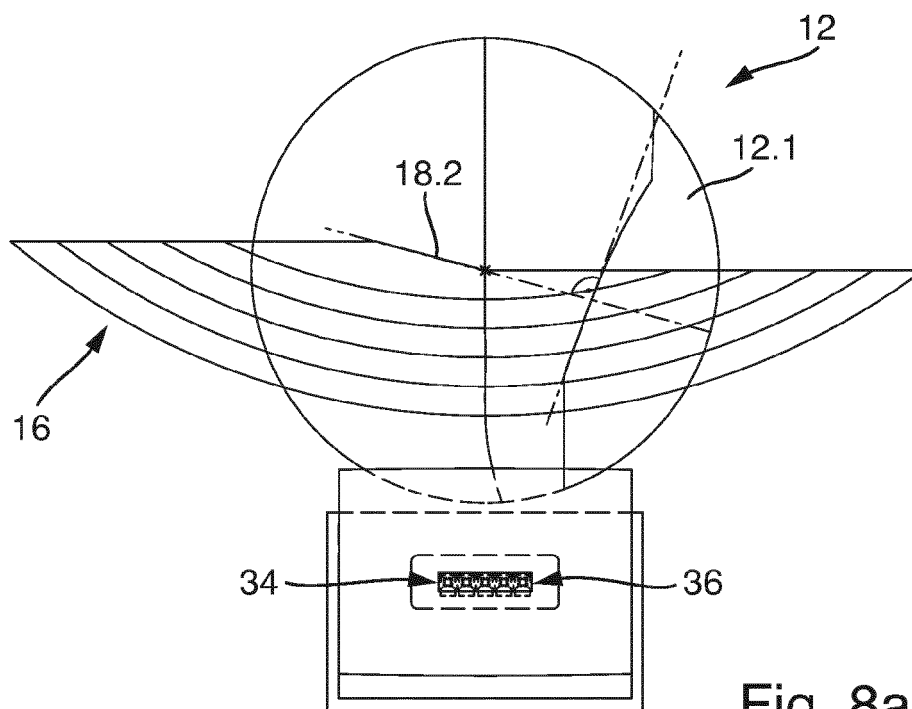


Fig. 6b





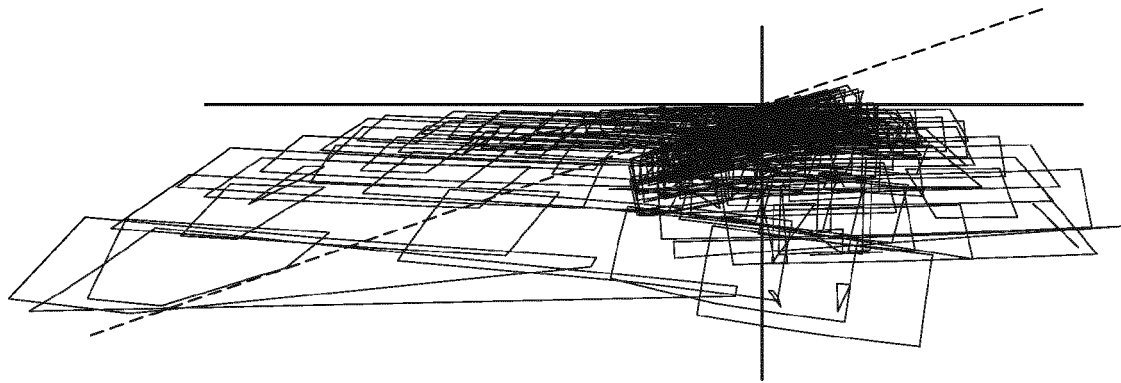


Fig. 9a

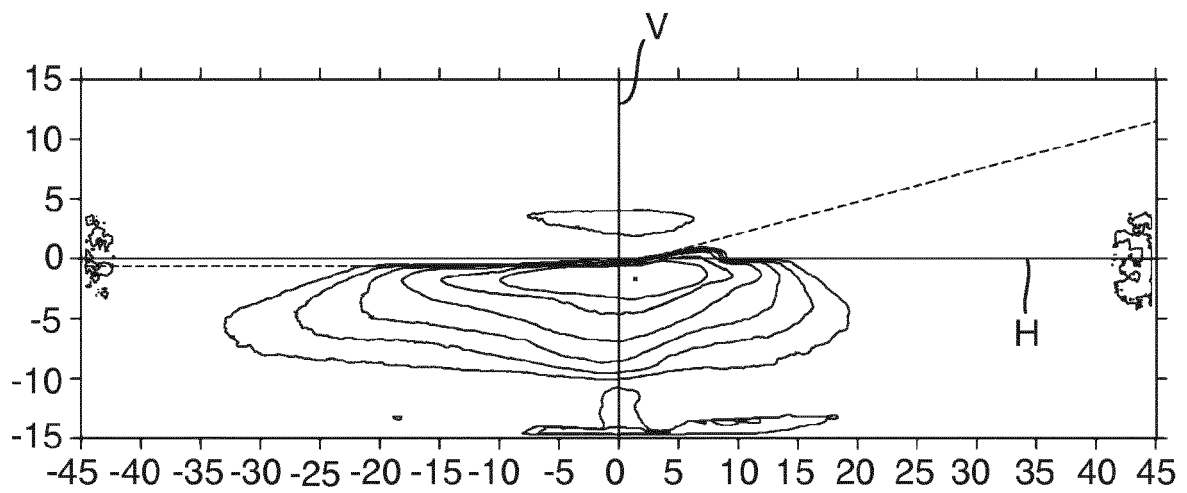


Fig. 9b