



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 105 092.8**
 (22) Anmeldetag: **28.02.2019**
 (43) Offenlegungstag: **03.09.2020**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **09.02.2023**

(51) Int Cl.: **F21V 5/00 (2018.01)**
G02B 3/06 (2006.01)
G02B 3/08 (2006.01)
G02B 5/02 (2006.01)
G02B 5/04 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Green Building R&D GmbH, 40545 Düsseldorf, DE

(74) Vertreter:
**COHAUSZ & FLORACK Patent- und
 Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB,
 40211 Düsseldorf, DE**

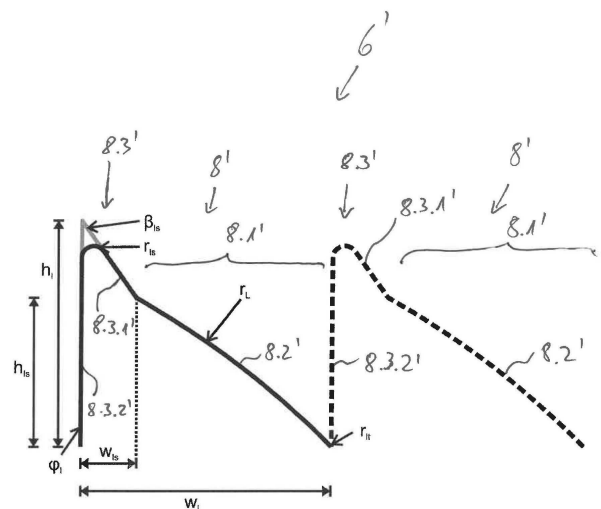
(72) Erfinder:
**Neyer, Andreas, 58638 Iserlohn, DE; Müller,
 Helmut Frank Ottomar, Prof., 40625 Düsseldorf,
 DE; Weitere(r) Erfinder auf Antrag nicht genannt.**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2008 055 857	A1
GB	1897 / 11 072	A
US	2015 / 0 184 817	A1
CA	2 598 729	A1

(54) Bezeichnung: **Optimiertes Linsendesign für die Lichtumlenkung**

(57) Hauptanspruch: Lichtumlenkvorrichtung (1) mit
 - einer Lichteintrittsseite (2), welche eine Oberflächenstruktur (6', 6'') mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen (8', 8'') aufweist, und
 - einer der Lichteintrittsseite (2) gegenüberliegenden Lichtaustrittsseite (10), welche eine Oberflächenstruktur (12) mit stabprismenförmigen Strukturelementen (14) aufweist, wobei die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente (8', 8'') im Querschnitt gesehen jeweils einen Abschnitt (8.1', 8.1'') mit einem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente (8', 8'') jeweils eine sich an den Abschnitt (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') anschließende Erhöhung (8.3', 8.3'') aufweisen, wobei die Breite des Abschnitts (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') im Wesentlichen gleichgroß oder größer ist als die Breite (w_{is}) der Erhöhung (8.3', 8.3'').



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Lichtumlenkvorrichtung mit einer Lichteintrittsseite, welche eine Oberflächenstruktur mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen aufweist, und einer der Lichteintrittsseite gegenüberliegenden Lichtaustrittsseite, welche eine Oberflächenstruktur mit stabprismenförmigen Strukturelementen aufweist, wobei die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente im Querschnitt gesehen jeweils einen Abschnitt mit einem konvexen Linsenprofil aufweisen. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Lichtumlenkvorrichtung. Schließlich betrifft die Erfindung eine vorteilhafte Verwendung einer Lichtumlenkvorrichtung.

[0002] Gattungsgemäße Lichtumlenkvorrichtungen werden für eine möglichst blendfreie Innenbeleuchtung von Räumen unter optimierter Ausnutzung des auf eine Fensterfassade einfallenden Tageslichts verwendet. Hauptaufgabe derartiger Lichtumlenkvorrichtungen ist stets, das einfallende Tageslicht bei seitenbelichteten Räumen derart umzulenken, dass eine bessere Ausleuchtung der Raumtiefe erreicht wird. Vorteile der Tageslichtnutzung zur Raum- und Gebäudebeleuchtung sind zum einen die physiologisch vorteilhafte Wirkung von Tageslicht auf das menschliche Befinden und zum anderen der Energiespareffekt, der bis zu 40% der für die Raumbeleuchtung aufgewendeten Energie betragen kann.

[0003] Unterschiedliche Varianten derartiger Lichtumlenkvorrichtungen sind aus dem Stand der Technik bekannt. Eine gattungsgemäße Lichtumlenkvorrichtung ist beispielsweise aus der DE 10 2008 055 857 A1 bzw. B4 bekannt. Hierin wird eine Lichtumlenkvorrichtung beschrieben, die auf der dem Lichteinfall zugewandten Seite eine zylinderlinsenförmige Oberflächenstruktur und auf der dem Lichtaustritt zugewandten Seite eine stabprismenförmige Oberflächenstruktur aufweist. Eine solche Lichtumlenkvorrichtung weist durch die Geometrie ihrer Oberflächenstrukturen spezielle optische Eigenschaften auf, sodass eine kompakte und effiziente Lichtumlenkvorrichtung bereitgestellt werden kann.

[0004] Dies gilt insbesondere im Vergleich zu rein prismatischen Systemen, wie sie beispielsweise in der DE 103 38 378 A1 oder der US 4,557,565 A beschrieben sind, die typischerweise eine relativ geringe Lichtumlenkeffizienz für kleine (das heißt zum vertikal verlaufenden Fenster nahe horizontale) Einfallswinkel zeigen und zur Entstehung von Farbsäumen und Schlagschatten führen. Für flache Einfallswinkel unter 30° kann hier häufig keine ausreichende Umlenkung von Tageslicht an die Raumdecke erreicht werden. Während für Winkel größer als 30° zwar eine nahezu vollständige Umlen-

kung erreicht werden kann, erfolgt diese in ein sehr enges Winkelspektrum, was die beschriebene starke Schlagschattenwirkung hervorruft. Ein weiterer Nachteil solcher prismatischen Systeme ist, dass für eine ordnungsgemäße Lichtumlenkung häufig eine exakte Ausrichtung der prismatischen Strukturen zueinander erforderlich ist, was den Herstellungsprozess deutlich erschwert.

[0005] Weitere Lichtumlenkvorrichtungen sind in der CA 2 598 729 A1, der US 2015/0184817 A1 und der GB 1897 11,072 A beschrieben.

[0006] Zwar konnten viele dieser Nachteile durch gattungsgemäße Lichtumlenkvorrichtungen mit einer lichteintrittsseitigen Oberflächenstruktur mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen und einer lichtaustrittsseitigen Oberflächenstruktur mit stabprismenförmigen Strukturelementen vermindert oder beseitigt werden, da insbesondere eine Winkelauflösung des abgelenkten Lichts und eine gewünschte Ablenkung auch bei flachen (das heißt nahezu horizontalen) Einfallswinkeln erzielt wird. Es hat sich allerdings gezeigt, dass derartige Strukturen in bestimmten Winkelbereichen unerwünschte optische Eigenschaften aufweisen. So hat sich jedoch bei den nach diesen Maßgaben tatsächlich gefertigten Strukturen gezeigt, dass bei einem Einfallswinkel des Tageslichts von etwa 55° gegenüber der Horizontalen (das heißt gegenüber der Normalen der Lichteintrittsseite der Lichtumlenkvorrichtung) eine deutlich reduzierte Ablenkung oder Transmission nach oben in Richtung der Raumdecke erfolgt. Stattdessen wird das Tageslicht in diesem Winkelbereich nach unten gelenkt, was dazu führt, dass Personen unerwünscht geblendet werden. Ein Diagramm mit der relativen Transmission nach oben bzw. unten eines gefertigten Systems in Abhängigkeit vom horizontalen Einfallswinkel ist in **Fig. 2** gezeigt, wobei die beschriebene unerwünschte Transmission nach unten im Bereich von 55° erkennbar ist.

[0007] Vor diesem Hintergrund stellt sich der Erfindung die Aufgabe, eine optimierte Lichtumlenkvorrichtung, ein vorteilhaftes Herstellungsverfahren und eine vorteilhafte Verwendung vorzuschlagen, mit denen die beschriebenen Nachteile von rein prismatischen Strukturen weiterhin vermieden werden, aber gleichzeitig bei den gefertigten Strukturen sowohl die zur Blendung führende, unerwünschte Lichtumlenkung als auch eine spektrale Farberlegung vermieden wird. Zudem soll die Lichtumlenkvorrichtung möglichst in typische Fensterverglasung integriert und kostengünstig hergestellt werden können.

[0008] Die Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung bei einer gattungsgemäßen Lichtumlenkvorrichtung mit einer Lichteintrittsseite, welche eine Oberflächenstruktur mit zylinderlinsen-

förmigen Strukturelementen aufweist, und einer der Lichteintrittsseite gegenüberliegenden Lichtaustrittsseite, welche eine Oberflächenstruktur mit stabprismenförmigen Strukturelementen aufweist, wobei die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente im Querschnitt gesehen jeweils einen Abschnitt mit einem konvexen Linsenprofil aufweisen, dadurch gelöst, dass die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente jeweils eine sich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließende Erhöhung aufweisen, wobei die Breite des Abschnitts mit dem konvexen Linsenprofil im Wesentlichen gleichgroß oder größer ist als die Breite der Erhöhung.

[0009] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe zudem durch ein Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Lichtumlenkvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt gelöst, wobei die Oberflächenstruktur der Lichteintrittsseite und/oder Lichtaustrittsseite durch Heißprägen, UV-Prägen, Lithografie, insbesondere Nanolithografie, Gießen, Spritzgießen, Tiefziehen oder Extrudieren erzeugt wird.

[0010] Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe auch durch eine Verwendung einer erfindungsgemäßen Lichtumlenkvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt zur Umlenkung von Tageslicht, insbesondere in einem Fenster, gelöst.

[0011] Es hat sich gezeigt, dass sich die erfindungsgemäß vorgesehene Erhöhung, die sich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließt, vorteilhaft auf die Umlenkung bzw. Transmission im Bereich des Einfallswinkels gegenüber der Horizontalen von etwa 55° auswirkt. Der zuvor als unerwünscht identifizierte Einbruch der Lichtumlenkung nach oben bei Einfallswinkeln des Tageslichts von etwa 55° gegenüber der Horizontalen kann praktisch komplett beseitigt werden. Der Einbruch bei den Strukturen des Stands der Technik wird darauf zurückgeführt, dass die tatsächliche Geometrie der gefertigten Strukturen gemäß dem Stand der Technik von den idealen Geometrievorgaben aufgrund von Fertigungsfehlern und Grenzen der Fertigungsgenauigkeit abweichen, insbesondere durch Abflachung und Abrundung der Strukturen. Mit anderen Worten konnten in den Herstellungsverfahren die vorgegebenen Geometrien des Stands der Technik nicht hinreichend genau reproduziert werden, um die gewünschten Eigenschaften aufzuweisen. Die erfindungsgemäß vorgesehene Struktur wirkt diesen Effekten vorteilhaft entgegen. Ebenfalls hat sich gezeigt, dass dieser vorteilhafte Effekt nicht nur für eine spezifische Größe der Oberflächenstrukturen erreicht wird, sondern der beschriebene Ansatz auch skalierbar ist, das heißt auch bei Oberflächenstrukturen, die eine Dimensionierung im Bereich einer anderen Größenordnung aufweisen, realisierbar ist.

[0012] Die Lichtumlenkvorrichtung ist beispielsweise im Wesentlichen flächig ausgebildet. Die Lichtumlenkvorrichtung besteht zumindest im Bereich der Lichteintrittsseite und der Lichtaustrittsseite aus einem für sichtbares Licht zumindest teilweise transparenten Medium. Beispielsweise sind die lichteintrittsseitigen und lichtaustrittsseitigen Oberflächenstrukturen auf einem Glas- oder Kunststoffträger, etwa eine Platte oder Folie, aufgebracht. Dabei ist es grundsätzlich möglich, dass die Oberflächenstrukturen direkt auf dem Träger gefertigt werden oder jeweils zunächst separat gefertigt und anschließend beidseitig auf den Träger aufgebracht werden. Beispielsweise liegt die Dicke des Trägers (insbesondere ohne die Oberflächenstruktur) im Bereich von 1mm bis 5mm, beispielsweise bei 2mm oder 3,6mm. Vorzugsweise wird die Dicke des Trägers mindestens so groß gewählt, dass der Brennpunkt der zylinderlinsenförmigen Strukturelemente noch vor der lichtaustrittsseitigen Oberflächenstruktur mit stabprismenförmigen Strukturelementen (also noch innerhalb des Trägers oder der Struktur) liegt.

[0013] Als besonders vorteilhafte Verfahren zur Herstellung einer derartigen Oberflächenstruktur haben sich Heißprägen, UV-Prägen, Lithografie, insbesondere Nanolithografie, Gießen, Spritzgießen, Tiefziehen oder Extrudieren erwiesen, wobei insbesondere Heißprägen und die Lithographie (etwa UV-Imprint-Verfahren) bevorzugt sind. Es hat sich zwar gezeigt, dass derartige Verfahren zwar bei der Abformung einer spezifischen Geometrie gewisse Ungenauigkeiten oder Abweichungen von der angestrebten Geometrie produzieren, die dann beispielsweise in unerwünschten Verrundungen oder Abflachungen der Strukturelemente münden. Allerdings wird gerade diesen Ungenauigkeiten vorteilhaft durch das neue Design der zylinderlinsenförmigen Strukturelemente der Oberflächenstruktur der Lichteintrittsseite entgegengewirkt, sodass die beschriebene Lichtumlenkvorrichtung vorteilhaft mit diesen Verfahren hergestellt werden kann.

[0014] Grundsätzlich ist es möglich, dass die beschriebene Lichtumlenkvorrichtung noch weitere oder zusätzliche Strukturelemente aufweist. Vorteilhaft sind jedoch lichteintrittsseitig und lichtaustrittsseitig ausschließlich die beschriebenen Strukturelemente vorgesehen.

[0015] Darunter, dass die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente jeweils eine sich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließende Erhöhung aufweisen, wird die Höhe des Strukturelements über die Höhe des Abschnitts mit dem konvexen Linsenprofil hinaus erhöht. Mit anderen Worten ragt die Erhöhung über den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil hinaus. Vorteilhaft schließt sich die Erhöhung im oberen Bereich des konvexen Linsenprofils an dieses an. An die Erhöhung kann sich dann bevor-

zugt das nächste Strukturelement anschließen, sodass eine periodische Oberflächenstruktur entsteht.

[0016] Die Dimensionierung der Oberflächenstruktur, das heißt der einzelnen Strukturelemente, ist vorzugsweise im Mikrometerbereich angesiedelt. Das heißt, dass eine charakteristische Größe der Strukturelemente (beispielsweise die Breite und/oder Höhe der Strukturelemente) im Bereich von 1 µm bis 1.000 µm liegt.

[0017] Die stabprismenförmigen Strukturelemente auf der Lichtaustrittsseite weisen im Querschnitt gesehen an ihrer Prismenspitze vorzugsweise einen Winkel im Bereich von 20° bis 50°, vorzugsweise von 30° bis 40°, beispielsweise 35° auf. Die Dimensionen der stabprismenförmigen Strukturelemente (beispielsweise deren Höhe und/oder Breite) liegt vorzugsweise im Bereich der zylinderlinsenförmigen Strukturelemente.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten umfasst die Erhöhung eine sich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließende steigende Flanke und eine sich an die steigende Flanke anschließende fallende Flanke.

[0019] Die Geometrie eines Strukturelements wird somit vorzugsweise im Wesentlichen aus dem Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil einerseits und der sich hieran (insbesondere unmittelbar) anschließenden Erhöhung aus einer steigenden Flanke und einer fallenden Flanke andererseits gebildet. Die steigende Flanke kann als dem entsprechenden konvexen Linsenprofil zugewandt angesehen werden, die fallende Flanke als dem entsprechenden konvexen Linsenprofil abgewandt. Da die steigende Flanke sich im oberen Bereich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließt bzw. dieses nach oben hin verlängert, ist die als steigende Flanke bezeichnete Flanke typischerweise kürzer als die als fallende Flanke bezeichnete Flanke. Diese Ausgestaltung ermöglicht eine einfache und besonders verlässlich reproduzierbare Geometrie, die die eingangs dargestellten Probleme überwinden kann.

[0020] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten ist die sich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließende steigende Flanke der Erhöhung ohne Krümmung ausgebildet.

[0021] Eine derartige Geometrie hat sich insbesondere bei vergleichsweise großen Strukturelementen, beispielsweise bei Strukturelementen mit einer Breite von mehr als 500 µm, einer Höhe von mehr

als 500 µm und/oder bei Erhöhungen mit einer Breite von mehr als 100 µm, als vorteilhaft erwiesen, um eine zur Blendung führende, unerwünschte Lichtumlenkung zu reduzieren oder sogar ganz zu vermeiden. Nichtsdestotrotz kann bei dieser Ausgestaltung beispielsweise der Übergang vom Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil zur steigenden Flanke und/oder der Übergang von der steigenden Flanke zur fallenden Flanke der Erhöhung mit einem Radius versehen bzw. abgerundet sein.

[0022] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten ist die sich an den Abschnitt mit dem konvexen Linsenprofil anschließende steigende Flanke der Erhöhung mit einer Krümmung, insbesondere mit einer konkaven Krümmung ausgebildet.

[0023] Eine derartige Geometrie hat sich insbesondere bei vergleichsweise kleinen Strukturelementen, beispielsweise bei Strukturelementen mit einer Breite von weniger als 500 µm (insbesondere sogar weniger als 100 µm), einer Höhe von weniger als 500 µm (insbesondere sogar weniger als 100 µm), und/oder bei Erhöhungen mit einer Breite von weniger als 100 µm, als vorteilhaft erwiesen, um eine zur Blendung führende, unerwünschte Lichtumlenkung zu reduzieren oder sogar ganz zu vermeiden. Auch in diesem Fall kann insbesondere der Übergang von der steigenden Flanke zur fallenden Flanke der Erhöhung konvex abgerundet sein.

[0024] Vorteilhaft ist in diesem Fall gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten der Krümmungsradius der steigenden Flanke geringer als der Krümmungsradius des konvexen Linsenprofils. So ist der Krümmungsradius des konvexen Linsenprofils vorzugsweise zumindest um den Faktor 2, vorzugsweise zumindest um den Faktor 3 größer als der Krümmungsradius der steigenden Flanke.

[0025] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten schließen die steigende Flanke und die fallende Flanke der Erhöhung einen Winkel von mindestens 20° und/oder höchstens 50°, bevorzugt von mindestens 25° und/oder höchstens 40° ein. Geometrien mit einer derartigen Neigung der Flanken der Erhöhung zueinander haben sich als eine verlässlich reproduzierbare Geometrie erwiesen, um die eingangs beschriebene unerwünschte Blendung insbesondere bei einem Einfallswinkel Winkel von etwa 55° gegenüber der Horizontalen zu reduzieren oder sogar ganz zu vermeiden.

[0026] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten schließt die fallende

Flanke der Erhöhung mit der Normalen der Lichteintrittsseite einen Winkel von mehr als 0° , bevorzugt von mindestens $0,1^\circ$ und/oder von höchstens 5° , weiter bevorzugt von höchstens 3° ein. Diese Verkipfung führt dazu dass die fallende Flanke leicht in Richtung der fallenden Flanke gekippt ist. Die auf diese Weise vergleichsweise steile fallende Flanke stellt eine vorteilhafte Planfläche für eine Lichtstrahlreflexion durch eine Totalreflexion zur Verfügung.

[0027] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten ist der Übergang zwischen der steigenden Flanke und der fallenden Flanke abgerundet. Der Radius der Rundung des Übergangsbereichs ist dabei typischerweise insofern von der Strukturgröße der Strukturelemente abhängig, dass je kleiner die Strukturgröße ist, desto kleiner ist auch der Radius. So kann der Radius der Rundung des Übergangsbereichs bei vergleichsweise großen Strukturelementen (etwa mit einer Breite größer als $500\ \mu\text{m}$) beispielsweise im Bereich von $20\ \mu\text{m}$ bis $60\ \mu\text{m}$, bevorzugt im Bereich von $40\ \mu\text{m}$ bis $45\ \mu\text{m}$ liegen. Bei vergleichsweise kleinen Strukturelementen (etwa mit einer Breite kleiner als $500\ \mu\text{m}$) kann der Radius der Rundung des Übergangsbereichs aber beispielsweise auch lediglich im Bereich von $1\ \mu\text{m}$ bis $20\ \mu\text{m}$, bevorzugt im Bereich von $5\ \mu\text{m}$ bis $10\ \mu\text{m}$ liegen. Weist die Erhöhung beim Übergang von der steigenden Flanke zur fallenden Flanke also keine Spitze sondern eine wie beschriebene Rundung auf, lassen sich entsprechende Strukturelemente, insbesondere mit den zuvor beschriebenen Verfahren, reproduzierbar herstellen.

[0028] Erfindungsgemäß ist die Breite des Abschnitts mit dem konvexen Linsenprofil im Wesentlichen gleichgroß oder größer als die Breite der Erhöhung. Insbesondere im Falle von vergleichsweise großen Strukturelementen (etwa mit einer Breite größer als $500\ \mu\text{m}$) ist die Breite des Abschnitts mit dem konvexen Linsenprofil größer als die Breite der Erhöhung, beispielsweise zumindest um den Faktor 2 oder sogar 3. Im Falle von vergleichsweise kleinen Strukturelementen (etwa mit einer Breite kleiner als $500\ \mu\text{m}$) liegt die Breite des Abschnitts mit dem konvexen Linsenprofil vorzugsweise im Bereich der Breite der Erhöhung.

[0029] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten ist der Abstand zwischen der Oberflächenstruktur mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen und der Oberflächenstruktur mit stabprismenförmigen Strukturelementen größer ist als die Brennweite des konvexen Linsenprofils.

[0030] Auf diese Weise bewirken die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente auf der dem Lichteinfall

zugewandten Seite zunächst eine Bündelung der einfallenden Strahlen und hinter dem Fokuspunkt eine anschließende winkelmäßige Aufweitung. Das so winkelmäßig aufgeweitete Licht wird auf der Lichtaustrittsseite durch die stabprismenförmigen Strukturelemente gezielt abgelenkt. Durch die Winkelaufweitung des austretenden Lichts wird der Schlagschatten aufgeweicht und eine Farbmischung der beim Durchtritt durch die Prismen erzeugten Spektralfarben erzielt, sodass die Bildung eines Farbsaumes unterdrückt wird.

[0031] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Lichtumlenkvorrichtung gemäß den unterschiedlichen Aspekten stellt das konvexe Linsenprofil im Querschnitt gesehen im Wesentlichen ein 90° -Segment dar. Beispielsweise wird hierfür ein 90° -Ausschnitt einer plankonvexen Linse (insbesondere einer sphärischen Linse) gewählt. Bevorzugt ist dabei gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Krümmungsradius des konvexen Linsenprofils größer als die Schenkellängen des 90° -Segments. Hierdurch wird die bereits beschriebene Winkelaufweitung begünstigt, eine Abschattung vermieden und im Ergebnis eine Steigerung des Umlenkungswirkungsgrades insbesondere bei flacher Lichteinstrahlung erreicht.

[0032] Die zuvor in dieser Beschreibung beschriebenen beispielhaften Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sollen auch in allen Kombinationen miteinander offenbart verstanden werden. Insbesondere sollen beispielhafte Ausgestaltungen in Bezug auf die unterschiedlichen Aspekte als offenbart verstanden werden.

[0033] Weitere vorteilhafte beispielhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der folgenden detaillierten Beschreibung einiger beispielhafter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, insbesondere in Verbindung mit den Figuren, zu entnehmen. Die Figuren sollen jedoch nur dem Zwecke der Verdeutlichung, nicht aber zur Bestimmung des Schutzbereiches der Erfindung dienen. Insbesondere sollen Merkmale, die in den Figuren enthalten sind, keineswegs als notwendiger Bestandteil der vorliegenden Erfindung erachtet werden.

[0034] In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer gattungsgemäßen Lichtumlenkvorrichtung aus dem Stand der Technik im Querschnitt;

Fig. 2 ein Diagramm, welches die relative Transmission von einfallendem Licht nach oben (gestrichelt) und nach unten (durchgezogen) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel zeigt;

Fig. 3A ein erstes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer lichteintrittsseitigen Oberflä-

chenstruktur mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen;

Fig. 3B ein zweites erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer lichteintrittsseitigen Oberflächenstruktur mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen;

Fig. 4 ein Diagramm, welches die relative Transmission von einfallendem Licht nach oben (gestrichelt) und nach unten (durchgezogen) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel bei Verwendung der lichteintrittsseitigen Oberflächenstrukturen aus den **Fig. 3A** und **Fig. 3B** zeigt; und

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur beispielhaften Erzeugung der Geometrie eines Abschnitts mit einem konvexen Linsenprofil.

[0035] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer gattungsgemäßen Lichtumlenkvorrichtung 1 aus dem Stand der Technik im Querschnitt. Die auf eine Lichteintrittsseite 2 einfallenden Lichtstrahlen 4 (Einfallswinkel etwa 30° gegenüber der Horizontalen) werden zunächst durch eine lichteintrittsseitige Oberflächenstruktur 6 mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen 8 fokussiert. Im weiteren Verlauf werden die Lichtstrahlen 4 winkelmäßig aufgeweitet und verlassen die Lichtumlenkvorrichtung 1 über eine Lichtaustrittsseite 10, welche eine Oberflächenstruktur 12 mit stabprismenförmigen Strukturelementen 14 aufweist. Die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente 8 weisen im Querschnitt gesehen jeweils ein konvexes Linsenprofil auf.

[0036] Wie bereits eingangs dargestellt, beseitigt eine derartige Lichtumlenkvorrichtung zwar Nachteile bisheriger Lichtumlenkvorrichtungen und insbesondere von rein prismatischen Strukturen. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass ein derartiges Design bei den tatsächlich hergestellten Systemen aufgrund der Beschränkungen der Fertigungsverfahren hinsichtlich der Fertigungsgenauigkeit in bestimmten Winkelbereichen unerwünschte optische Eigenschaften aufweist. Bei Einfallswinkeln um etwa 55° erfolgt nämlich eine deutlich reduzierte Ablenkung oder Transmission nach oben in Richtung der Raumdecke.

[0037] So zeigt **Fig. 2** beispielhaft ein Diagramm 20, welches die (simulierte) relative Transmission in % von einfallenden Lichtstrahlen durch eine auf Basis der (idealen) Vorgaben von **Fig. 1** tatsächlich gefertigte Lichtumlenkvorrichtung 1 nach oben (gestrichelte Kurve) und nach unten (durchgezogene Kurve) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel in Grad gegenüber der Horizontalen zeigt. Aufgrund von Abweichungen von den in **Fig. 1** gezeigten idealen Geometrievorgaben bei der Fertigung führt das Design bei einer Sonnenhöhe von ca. 55° erkennbar zu einem Einbruch der Transmission an die Decke und zu einer erhöhten, blendenden Transmission

nach unten. Der Grund für die Abweichung von der erwarteten Transmission gründet in Abformproblemen der linsenartigen Mikrostruktur, was zu einer Verrundung führt und die Höhe der Strukturen reduziert. Dies bedingt wiederum, dass Sonnenstrahlen auf andere Bereiche der Linsenstrukturen treffen, als eigentlich vorgesehen. Die gegenseitige Verschattung der Linsenstrukturen unterscheidet sich somit in der Vorgabe und der Praxis.

[0038] Um den Einbruch der Transmission an die Decke und die erhöhte, blendende Transmission zu reduzieren oder zu vermeiden, wird das in **Fig. 1** gezeigte Design der Strukturelemente 8 der lichteintrittsseitigen Oberflächenstruktur 6 durch das in **Fig. 3A** und **Fig. 3B** gezeigte Design ersetzt bzw. gemäß diesem abgewandelt.

[0039] So zeigt **Fig. 3A** ein erstes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer lichteintrittsseitigen Oberflächenstruktur 6' mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen 8', wie sie beispielsweise anstelle der Oberflächenstruktur 6 in der Lichtumlenkvorrichtung 1 aus **Fig. 1** verwendet werden kann. Die Strukturelemente 8' sind ein Beispiel für vergleichsweise große Strukturelemente (Gesamtbreite w_1 der Strukturelemente 8' etwa $891 \mu\text{m}$). Die Oberflächenstruktur 6' bzw. eine entsprechende Lichtumlenkvorrichtung ist beispielsweise durch Heißprägen hergestellt. Vorzugsweise liegen dabei aber im Unterschied zu der Darstellung in **Fig. 1** jedem zylinderlinsenförmigen Strukturelement 8' zwei stabprismenförmige Strukturelemente gegenüber.

[0040] Die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente 8' weisen im Querschnitt gesehen jeweils einen Abschnitt 8.1' mit einem konvexen Linsenprofil 8.2' auf. Die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente 8' weisen jeweils eine sich an den Abschnitt 8.1' mit dem konvexen Linsenprofil 8.2' anschließende Erhöhung 8.3' auf. Der Krümmungsradius r_L des konvexen Linsenprofils 8.2' beträgt in diesem Fall etwa $2595 \mu\text{m}$ und ist damit größer als die Dimensionierung des Strukturelements 8' (etwa dessen Breite oder Höhe). Die Höhe h_{1s} des konvexen Linsenprofils 8.2' alleine beträgt etwa $530 \mu\text{m}$. Die Höhe der Erhöhung 8.3' (unter Vernachlässigung der Abrundung mit Radius r_{1s}) beträgt etwa $806 \mu\text{m}$. Die Erhöhung 8.3' wird aus einer sich an den Abschnitt 8.1' mit dem konvexen Linsenprofil 8.2' anschließenden steigenden Flanke 8.3.1' und einer sich an die steigende Flanke 8.3.1' anschließenden fallenden Flanke 8.3.2' gebildet. In diesem Fall ist die steigende Flanke 8.3.1' der Erhöhung 8.3' ohne Krümmung ausgebildet. Die steigende Flanke 8.3.1' und die fallende Flanke 8.3.2' der Erhöhung 8.3' schließen in diesem Ausführungsbeispiel einen Winkel β_{1s} von etwa $35,4^\circ$ ein. Die fallende Flanke 8.3.2' der Erhöhung 8.3' schließt mit der Normalen der Lichteintrittsseite 2 einen Winkel φ_1 von etwa $0,3^\circ$ ein, wobei es

hier jedoch lediglich darauf ankommt, dass eine vergleichsweise steile Flanke gebildet wird. Der Übergang zwischen der steigenden Flanke 8.3.1' und der fallenden Flanke 8.3.2' ist mit einem Radius von etwa 43 μm abgerundet. Die Breite des Abschnitts 8.1' mit dem konvexen Linsenprofil 8.2' ist mit etwa 691 μm in diesem Fall deutlich größer als die Breite w_{1s} der Erhöhung 8.3' mit etwa 200 μm . Wie in **Fig. 3A** gestrichelt angedeutet setzt sich das beschriebene Strukturelement 8' periodisch fort, um die Oberflächenstruktur 6' zu bilden. Dabei gehen zwei benachbarte Strukturelemente mit einem geringen Radius r_{1t} (hier von etwa 1,7 μm) ineinander über.

[0041] **Fig. 3B** zeigt nun ein zweites erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel einer lichteintrittsseitigen Oberflächenstruktur 6'' mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen 8'', die ebenfalls anstelle der Oberflächenstruktur 6 in der Lichtumlenkvorrichtung 1 aus **Fig. 1** verwendet werden kann. Die Strukturelemente 8'' sind ein Beispiel für vergleichsweise kleine Strukturelemente (Gesamtbreite w_1 der Strukturelemente 8'' etwa 89,14 μm). Die Oberflächenstruktur 6'' bzw. eine entsprechende Lichtumlenkvorrichtung ist beispielsweise durch ein UV-Imprint-Verfahren hergestellt. Auch in diesem Fall liegen dabei vorzugsweise im Unterschied zu der Darstellung in **Fig. 1** jedem zylinderlinsenförmigen Strukturelement 8'' zwei stabprismenförmige Strukturelemente gegenüber.

[0042] Die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente 8'' weisen im Querschnitt gesehen jeweils einen Abschnitt 8.1'' mit einem konvexen Linsenprofil 8.2'' auf. Die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente 8'' weisen jeweils eine sich an den Abschnitt 8.1'' mit dem konvexen Linsenprofil 8.2'' anschließende Erhöhung 8.3'' auf. Der Krümmungsradius r_{L1} des konvexen Linsenprofils 8.2'' beträgt in diesem Fall etwa 316 μm und ist damit auch in diesem Fall größer als die Dimensionierung des Strukturelements 8'' (etwa dessen Breite oder Höhe). Die Höhe h_{1s} des konvexen Linsenprofils 8.2'' alleine beträgt etwa 37 μm . Die Höhe der Erhöhung 8.3'' (unter Vernachlässigung der Abrundung mit Radius r_{1s}) beträgt etwa 92 μm . Die Erhöhung 8.3'' wird aus einer sich an den Abschnitt 8.1'' mit dem konvexen Linsenprofil 8.2'' anschließenden steigenden Flanke 8.3.1'' und einer sich an die steigende Flanke 8.3.1'' anschließenden fallenden Flanke 8.3.2'' gebildet. In diesem Fall ist die steigende Flanke 8.3.1'' der Erhöhung 8.3'' mit einer konkaven Krümmung ausgebildet, deren Krümmungsradius r_{L2} etwa 98 μm beträgt und damit kleiner ist als der Krümmungsradius r_{L1} . Die steigende Flanke 8.3.1'' und die fallende Flanke 8.3.2'' der Erhöhung 8.3'' schließen in diesem Ausführungsbeispiel einen Winkel β_{1s} von etwa 31° ein. Die fallende Flanke 8.3.2'' der Erhöhung 8.3'' schließt mit der Normalen der Lichteintrittsseite 2 einen Winkel φ_1 von etwa 2° ein, wobei es auch hier lediglich darauf

ankommt, dass eine vergleichsweise steile Flanke gebildet wird. Der Übergang zwischen der steigenden Flanke 8.3.1'' und der fallenden Flanke 8.3.2'' ist mit einem Radius von etwa 8 μm abgerundet. Die Breite des Abschnitts 8.1'' mit dem konvexen Linsenprofil 8.2'' ist mit etwa 44,57 μm in diesem Fall so groß wie die Breite w_{1s} der Erhöhung 8.3'' mit ebenfalls etwa 44,57 μm . Wie in **Fig. 3B** gestrichelt angedeutet setzt sich das beschriebene Strukturelement 8'' periodisch fort, um die Oberflächenstruktur 6'' zu bilden. Dabei gehen zwei benachbarte Strukturelemente mit einem geringen Radius r_{1t} (hier ebenfalls etwa 1,7 μm) ineinander über.

[0043] Der ebenfalls in **Fig. 3B** eingezeichnete Krümmungsmittelpunkt des Krümmungsradius r_{L1} liegt, wie durch die eingezeichneten Maße h_1 (hier 221,07 μm) und d_1 (hier 137,15 μm) ersichtlich, seitlich unterhalb des Strukturelements 8''. Der Krümmungsmittelpunkt des Krümmungsradius r_{L2} liegt, wie durch die eingezeichneten Maße h_2 (hier 117,23 μm) und d_2 (100,82 μm) ersichtlich, seitlich oberhalb des Strukturelements 8''.

[0044] **Fig. 4** zeigt nun ähnlich zu **Fig. 3** ein Diagramm 40, welches die (simulierte) relative Transmission in % von einfallendem Licht nach oben (gestrichelte Kurven) und nach unten (durchgezogene Kurven) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel in Grad bei Verwendung der erfindungsgemäßen lichteintrittsseitigen Oberflächenstrukturen 6' bzw. 6'' aus den **Fig. 3A** (dick gezeichnete Kurven) und **3B** (dünn gezeichnete Kurven) zeigt. Wie zu erkennen ist, ist der Einbruch der relativen Transmission nach oben (in Richtung Raumdecke) bzw. der Anstieg der relativen Transmission nach unten (Blendung) bei etwa 55° Einfallswinkel der Lichtstrahlen gegenüber der Horizontalen, die bei dem System gemäß dem Stand der Technik noch vorhanden waren (siehe **Fig. 2**), praktisch beseitigt oder jedenfalls merklich reduziert.

[0045] Zwar tritt ein solcher Einbruch bzw. Anstieg nun im Bereich von etwa 75° bzw. 80° auf. Dies ist allerdings nicht sonderlich nachteilig, da die Sonne diese Höhenwinkel in vielen Breitengraden (so etwa im europäischen Raum) nie erreicht.

[0046] Schließlich zeigt **Fig. 5** eine schematische Darstellung zur beispielhaften Erzeugung der Geometrie eines Abschnitts mit einem konvexen Linsenprofil, etwa Linsenprofil 8.2' oder 8.2''. Das Profil der konvexen linsenförmigen Struktur wird hier durch einen 90°-Ausschnitt 50 aus einer plankonvexen Linse 52 erzeugt. Der Krümmungsradius 54 der Linse 52 ist dabei für eine optimale Lichtumlenkwirkung größer als die Schenkellängen 56, 58 des 90°-Ausschnittes 50 (hier ein Kreisabschnitt).

Patentansprüche

1. Lichtumlenkvorrichtung (1) mit

- einer Lichteintrittsseite (2), welche eine Oberflächenstruktur (6', 6'') mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen (8', 8'') aufweist, und
- einer der Lichteintrittsseite (2) gegenüberliegenden Lichtaustrittsseite (10), welche eine Oberflächenstruktur (12) mit stabprismenförmigen Strukturelementen (14) aufweist, wobei die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente (8', 8'') im Querschnitt gesehen jeweils einen Abschnitt (8.1', 8.1'') mit einem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zylinderlinsenförmigen Strukturelemente (8', 8'') jeweils eine sich an den Abschnitt (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') anschließende Erhöhung (8.3', 8.3'') aufweisen, wobei die Breite des Abschnitts (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') im Wesentlichen gleichgroß oder größer ist als die Breite (w_{ls}) der Erhöhung (8.3', 8.3'').

2. Lichtumlenkvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Erhöhung (8.3', 8.3'') eine sich an den Abschnitt (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') anschließende steigende Flanke (8.3.1', 8.3.1'') und eine sich an die steigende Flanke (8.3.1', 8.3.1'') anschließende fallende Flanke (8.3.2', 8.3.2'') umfasst.

3. Lichtumlenkvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die sich an den Abschnitt (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') anschließende steigende Flanke (8.3.1', 8.3.1'') der Erhöhung (8.3', 8.3'') ohne Krümmung ausgebildet ist.

4. Lichtumlenkvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die sich an den Abschnitt (8.1', 8.1'') mit dem konvexen Linsenprofil (8.2', 8.2'') anschließende steigende Flanke (8.3.1', 8.3.1'') der Erhöhung (8.3', 8.3'') mit einer Krümmung, insbesondere einer konkaven Krümmung ausgebildet ist.

5. Lichtumlenkvorrichtung nach Anspruch 4, wobei der Krümmungsradius (r_{L2}) der steigenden Flanke (8.3.1', 8.3.1'') geringer ist als der Krümmungsradius (r_{L1} , 54) des konvexen Linsenprofils (8.2', 8.2'').

6. Lichtumlenkvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei die steigende Flanke (8.3.1', 8.3.1'') und die fallende Flanke (8.3.2', 8.3.2'') der Erhöhung (8.3', 8.3'') einen Winkel (β_{ls}) von mindestens 20° und/oder höchstens 50° , bevorzugt von mindestens 25° und/oder höchstens 40° einschließen.

7. Lichtumlenkvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die fallende Flanke

(8.3.2', 8.3.2'') der Erhöhung (8.3', 8.3'') mit der Normalen der Lichteintrittsseite (2) einen Winkel (φ_1) von mehr als 0° , bevorzugt von mindestens $0,1^\circ$ und/oder von höchstens 5° , weiter bevorzugt von höchstens 3° einschließt.

8. Lichtumlenkvorrichtung nach einem Ansprüche 2 bis 7, wobei der Übergang zwischen der steigenden Flanke (8.3.1', 8.3.1'') und der fallenden Flanke (8.2.1', 8.2.1'') abgerundet ist.

9. Lichtumlenkvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand zwischen der Oberflächenstruktur (6', 6'') mit zylinderlinsenförmigen Strukturelementen (8', 8'') und der Oberflächenstruktur (12) mit stabprismenförmigen Strukturelementen (14) größer ist als die Brennweite des konvexen Linsenprofils (8.2', 8.2'').

10. Lichtumlenkvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das konvexe Linsenprofil (8.2', 8.2'') im Querschnitt gesehen im Wesentlichen ein 90° -Segment (50) darstellt.

11. Lichtumlenkvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Krümmungsradius (r_{L1} , 54) des konvexen Linsenprofils (8.2', 8.2'') größer ist als die Schenkellängen (56, 58) des 90° -Segments (50).

12. Verfahren zur Herstellung einer Lichtumlenkvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Oberflächenstruktur (6', 6'') der Lichteintrittsseite (2) und/oder Lichtaustrittsseite (10) durch

- Heißprägen;
- UV-Prägen;
- Lithografie, insbesondere Nanolithografie;
- Gießen;
- Spritzgießen;
- Tiefziehen; oder
- Extrudieren erzeugt wird.

13. Verwendung einer Lichtumlenkvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11 zur Umlenkung von Tageslicht, insbesondere in einem Fenster.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

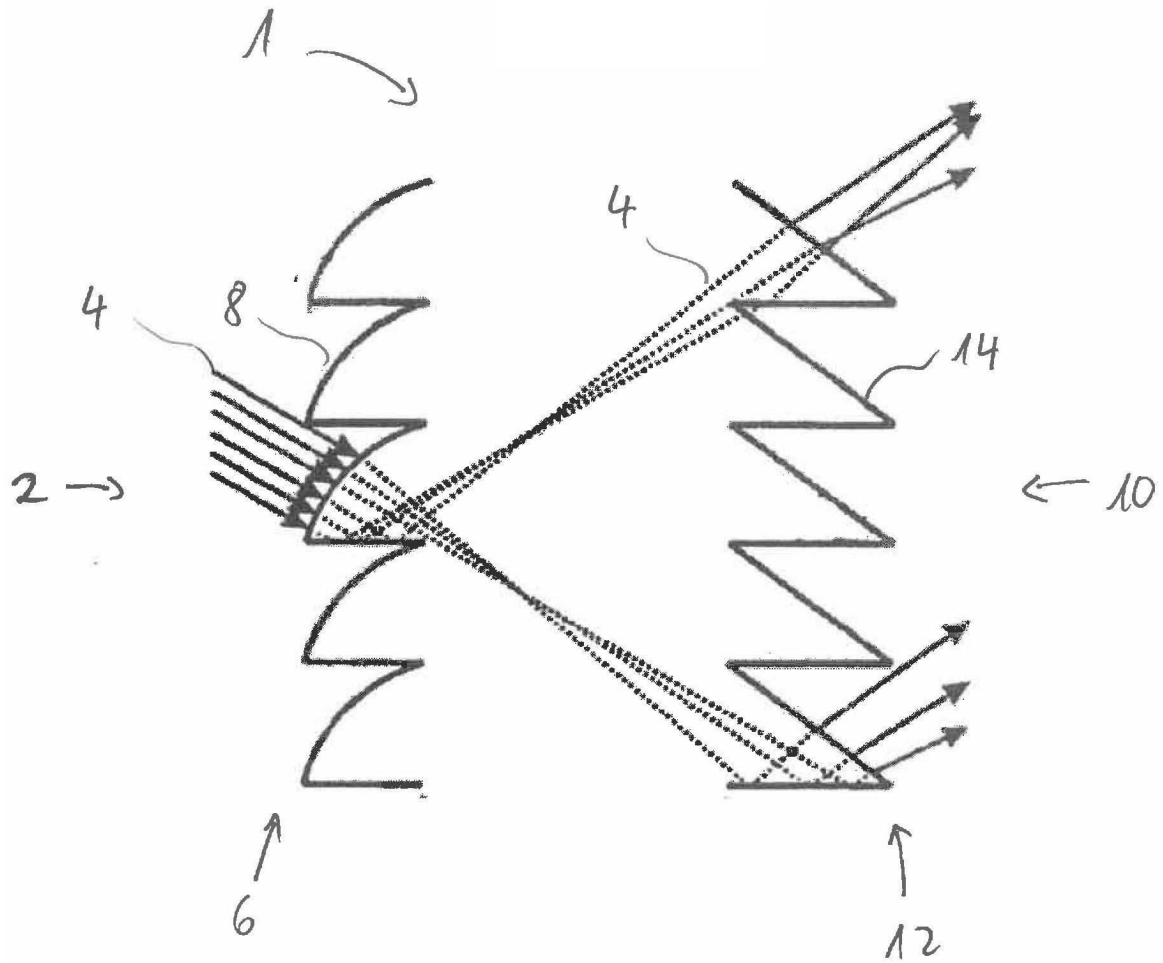


Fig. 1 (Stand der Technik)

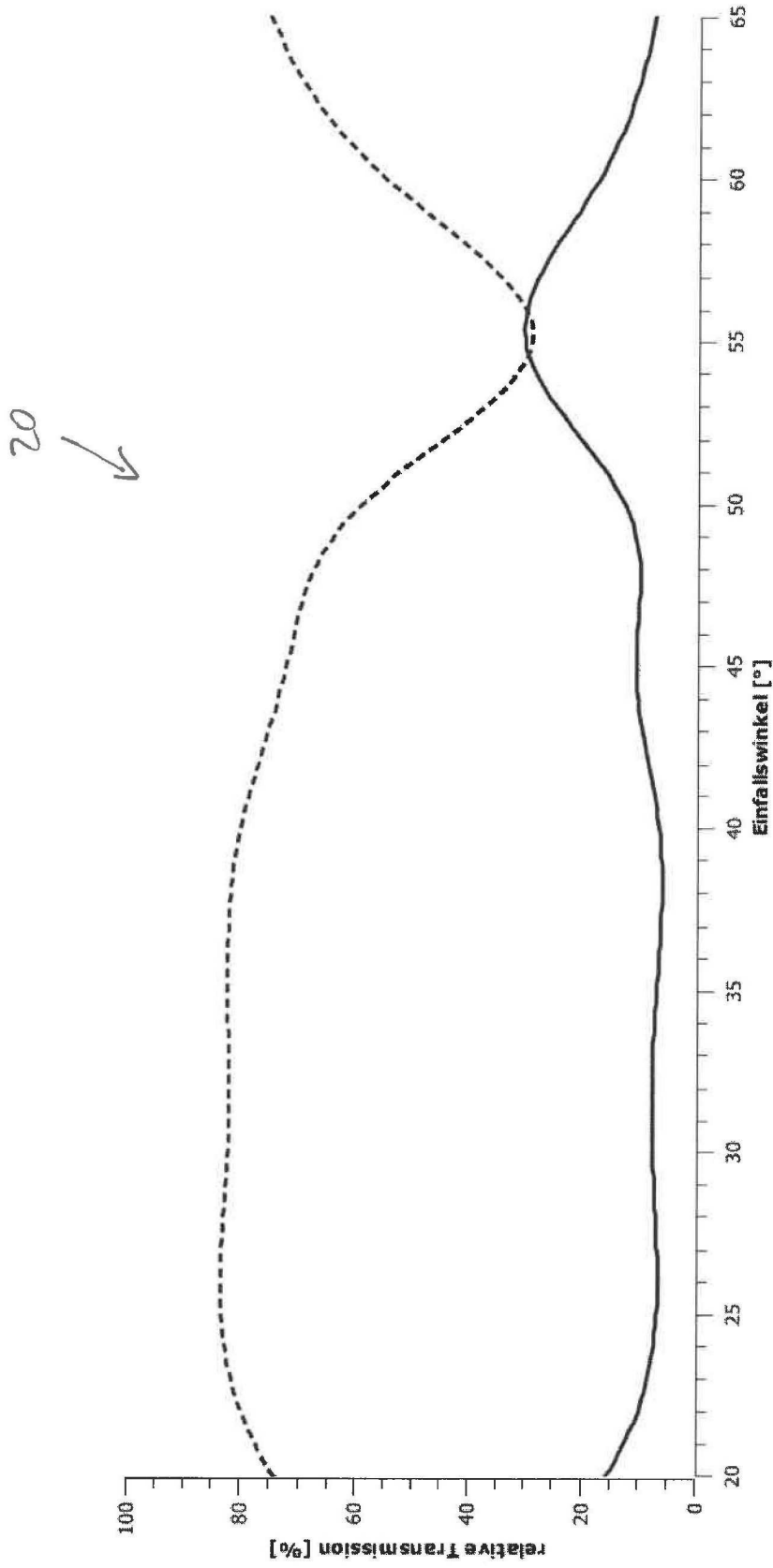


Fig. 2

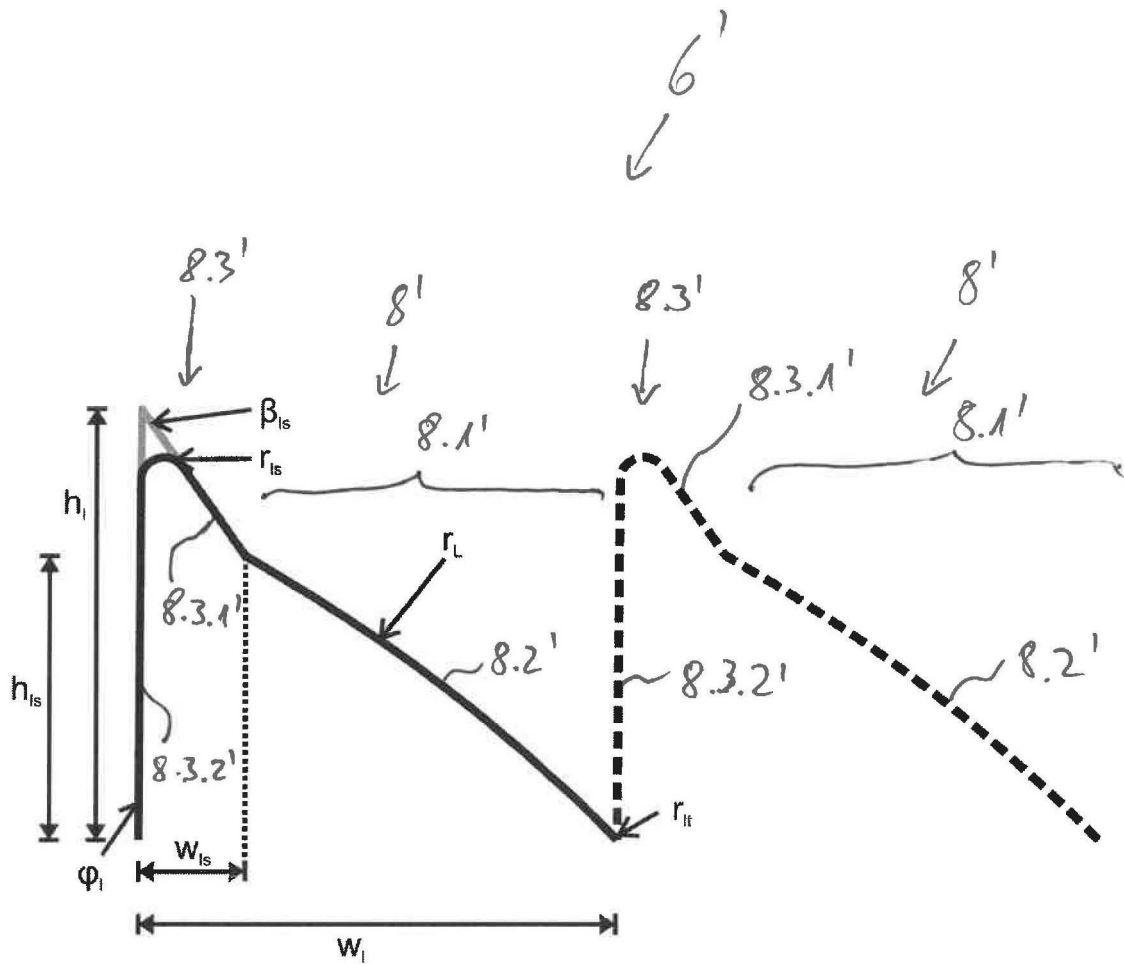


Fig. 3A

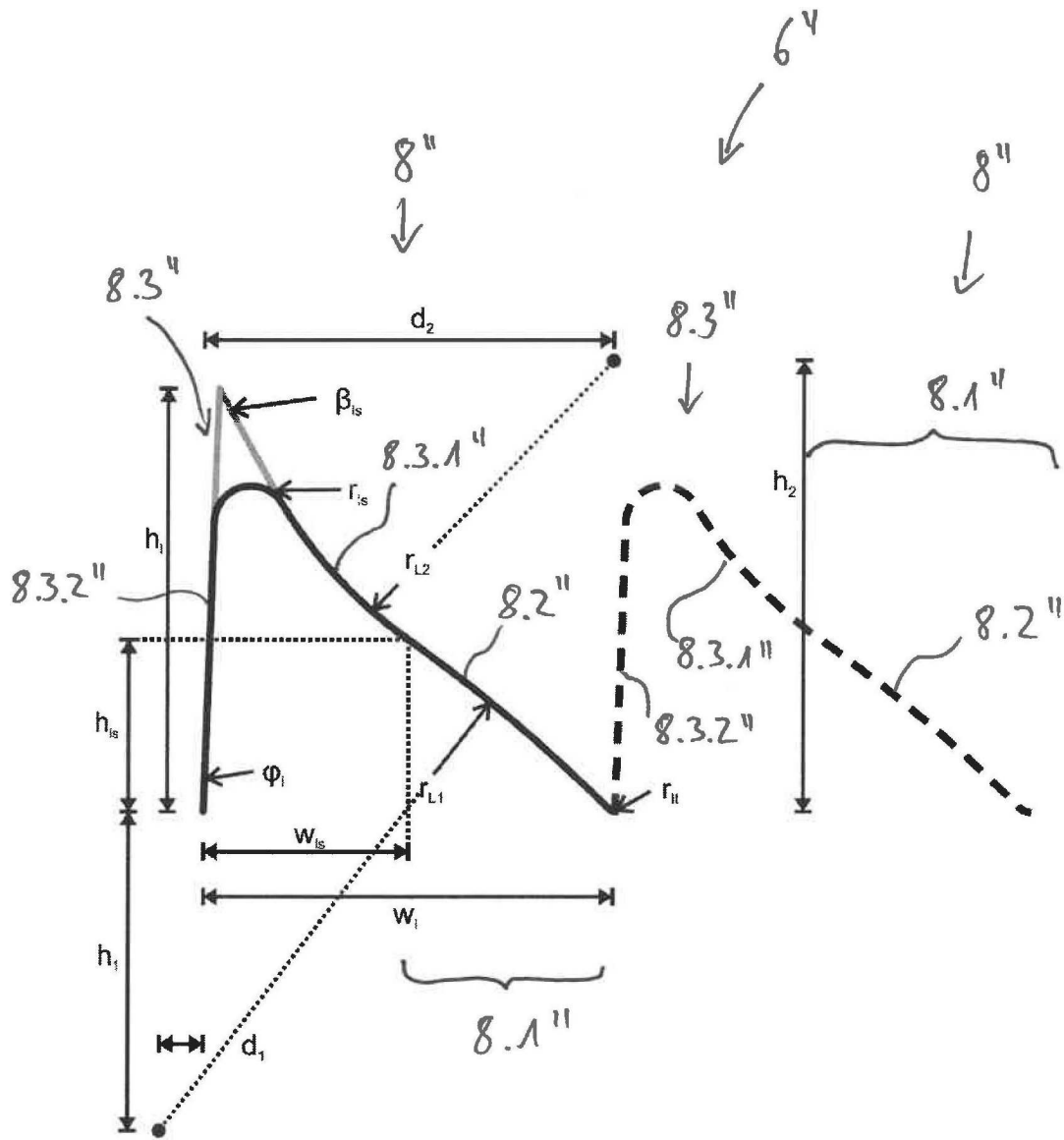


Fig. 3B

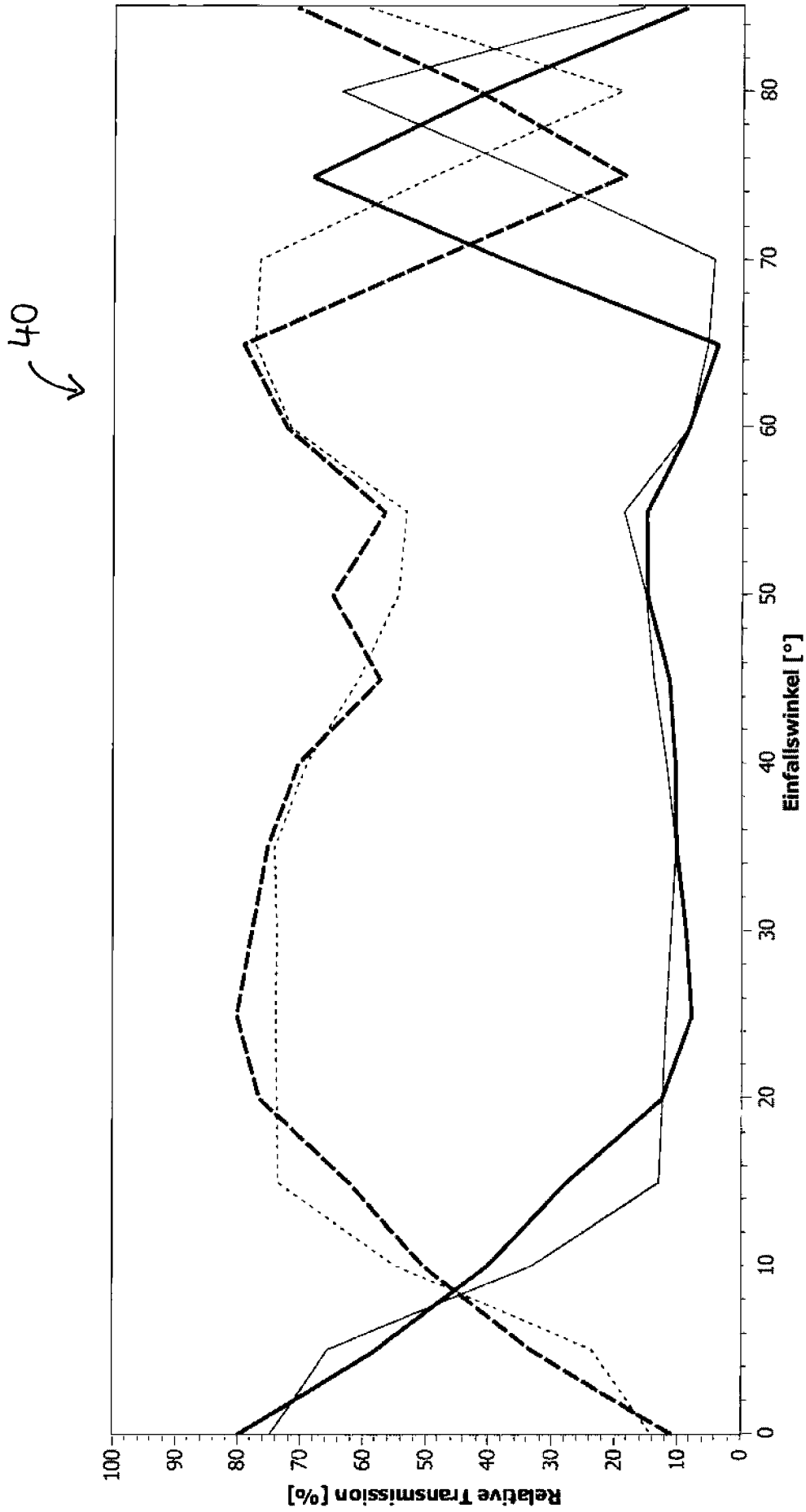


Fig. 4

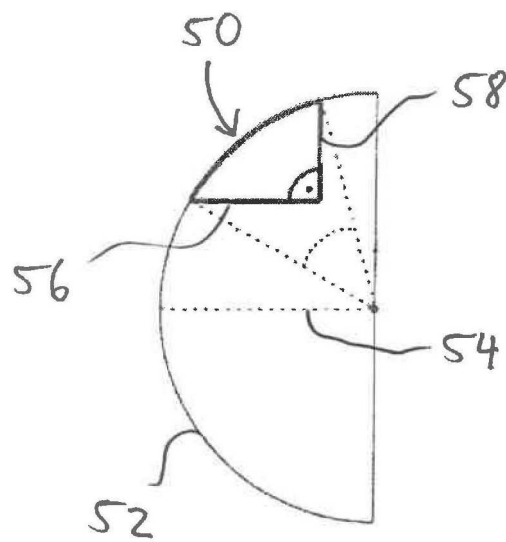


Fig. 5