



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 30 411 T2 2007.04.12**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 150 156 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 27/09 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 30 411.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 830 807.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.12.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.10.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **30.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.04.2007**

(30) Unionspriorität:

**RM000229 28.04.2000 IT**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**Enea Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e  
l'Ambiente, Rom/Roma, IT**

(72) Erfinder:

**Murra, Daniele, 00155 Roma, IT; Bollanti, Sarah,  
00178 Roma, IT; Di Lazzaro, Paolo, 00044  
Grottaferrata (RM), IT**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Maxton Langmaack & Partner,  
50968 Köln**

(54) Bezeichnung: **Optisches System zur Homogenisierung von Lichtstrahlen mit variablem Ausgangs-Querschnitt**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

**[0001]** Diese Erfindung bezieht sich weitgehend auf Systeme für räumliche Homogenisierung von Lichtstrahlen und insbesondere auf Systeme, um solche Strahlen wie zum Beispiel Laserstrahlen zu homogenisieren, während zur gleichen Zeit ein Output mit variablem Querschnitt erhalten wird.

**[0002]** Es ist weithin bekannt, dass bei vielen Anwendungen, bei denen hochintensive Lichtstrahlen verwendet werden, wie zum Beispiel für Thermal- und/oder Ablativbehandlungen von Oberflächen ausgelegte Laserstrahlen, auf dem Arbeitspunkt eine präzise Energiedichte (oder Leistungsdichte) sowie eine sehr hohe räumliche Gleichförmigkeit erforderlich ist, um Intensitätsschwankungen innerhalb einer Grenze von 10% aufrechtzuerhalten. Die von jeder Lichtquelle emittierte Strahlung weist eine intrinsische Punkt-zu-Punkt Ungleichförmigkeit auf, insbesondere wenn eine Laserstrahlung involviert ist, aufgrund der Tatsache, dass der von den meisten Laserquellen emittierte Lichtstrahl ein räumliches Intensitätsprofil aufweist, welches entlang einer transversalen Richtung aufgrund der mit den Quellen dieses Typs verbunden physikalischen Prinzipien nicht konstant ist. Das einzige System, das dazu ausgelegt ist, ohne Gefährdung der ausgestrahlten Energie die räumliche Homogenität einer Lichtquelle zu Erhöhen, stellt für eine optische Manipulierung der betroffenen Lichtstrahlung Mittel eines Linse- und/oder Spiegelsystems zur Verfügung.

**[0003]** Viele gewerblich verfügbare optische Systeme sind dazu angepasst, einen Lichtstrahl abzufangen, welcher bekannte Dimensionen aufweist, und seine derzeitige Dimensionen in andere Dimensionen zuvor festgelegter Werte umzuwandeln, während zur gleichen Zeit eine hohe räumliche Gleichförmigkeit gewährleistet wird, das heißt niedrige Punkt-zu-Punkt Schwankungen der Lichtintensität.

**[0004]** Die meisten der vorhandenen optischen Systeme, welche dazu angepasst sind, auf solche Weise zu funktionieren, die Intensitätsverteilung des Lichtstrahls gleichförmiger zu bilden, haben den Nachteil, dass, wenn die von der Quelle ausgestrahlte Energie (oder Leistung) festgelegt wird, die Enddimensionen des Strahls und folglich der ausbeutbaren Energiedichte (oder Leistungsdichte) genau vorgegeben sind. Als Konsequenz daraus erfordern die verschiedenen Anwendungen von Lichtstrahlen mit gleichförmiger Intensitätsverteilung verschiedene dedizierte optische Systeme in Abhängigkeit von den gewünschten Enddimensionen der Lichtstrahlen.

**[0005]** In diesem Sinn ist die gegenwärtige Erfindung im Hinblick auf seine Flexibilität innovativ (auf Grund der Tatsache, dass selbst wenn die Parameter seiner Komponenten festgelegt werden, es diese ermöglicht, die Dimensionen des Endstrahls in einem großen Wertebereich zu verändern, so dass dies bei Anwendungen, welche räumlich homogene Lichtstrahlen variabler Dimensionen und willkürlich wählbare Energiedichte (oder Leistungsdichte) aufweisen, ausgenutzt werden kann) sowie auch im Hinblick auf seine Einfachheit (da es die kleinste Anzahl von Linsen erfordert um das obengenannte Resultat zu erreichen).

**[0006]** Dokument US 6014260 offenbart eine optische Vorrichtung zum Homogenisieren eines Laserstrahls. Solch eine Vorrichtung wird üblicherweise bei der Oberflächenbehandlung eines Objektes verwendet. Die Vorrichtung besteht aus zusammengebundenen Vorderlinsen um eine Anordnung von Linsen zu bilden, welche das Laserlicht in mehrere Strahlen bricht. Dies resultiert in der Homogenisierung des gaußschen Profils der Strahlintensität rechtwinklig zur Ausbreitung des Strahls gesehen.

**[0007]** Im Folgenden wird gezeigt, dass das vorliegende System die Korrektur von einem lokalem Mangel an Gleichförmigkeit der Energiedichte optimieren kann und auf diese Weise eine bessere Gleichförmigkeit in Bezug auf die unter Verwendung von Homogenisierern erreichte, welche nur den durchschnittlichen Mangel an Gleichförmigkeit korrigieren.

**BESCHREIBUNG DES GEGENSTANDS**

**[0008]** Diese Erfindung beruht auf dem Prinzip, dass der einfallende Lichtstrahl in eine Anzahl von  $n$  Teilen rechteckigen Querschnitts mittels eines optischen Systems geteilt werden kann und solche Teile in einer geeigneten Ebene – der sogenannten Brennebene – rekombiniert werden können, wo die Größe jedes individuellen Strahlenteils mit den gewünschten Enddimensionen mittels zwei weiterer optischer Komponenten für jede von zwei Querrichtungen zusammenfällt. Dieser Prozess arbeitet so, dass jeder Punkt des Strahls auf der Brennebene das Ergebnis der Kombination von  $n$  verschiedenen Punkten des Eingangsstrahls ist und dadurch die anfänglichen Intensitätsschwankungen reduziert. Die Verwendung von drei optischen Komponenten für jede Richtung ermöglicht zusätzlich, die Enddimensionen des Lichtstrahls unabhängig von den Anfangsdimensionen durch einfaches Modifizieren der relativen Entfernungen der obengenannten Komponenten beliebig

festzulegen.

**[0009]** Die Hauptanwendungen eines räumlichen Homogenisierers für Lichtstrahlung sind diejenigen, welche auf dem Wechselwirkungsprozess zwischen Strahlung und Material beruhen, bei welchen eine unveränderliche Energiedichte (oder Leistungsdichte) auf der zu bestrahlenden Oberfläche gewünscht ist, unter denen beispielsweise die Prozesse für die Behandlung von Metallen (einschließlich Oberflächenreinigung und/oder Härtingseffekte) und Plastiken (einschließlich Schreiben, Ablation und Formung), Mikrolithographieprozesse auf großen Flächen, Metallummantelung und auch alle zum Umwandeln der Struktur eines Materials (so wie die Kristallisation von amorphem Silizium für nachfolgende Anwendung in photovoltaischen Anwendungen und Mikroelektronik) erwähnt werden können. Die letztere Anwendung hat die rigidesten Anforderungen hinsichtlich der Charakteristika der räumlichen Gleichförmigkeit in Bezug auf die Lichtenergiedichte (oder Leistungsdichte): Intensitätsschwankungen unter 5% sind tatsächlich erforderlich.

**[0010]** Die vorteilhaftesten Haupteigenschaften dieser Erfindung bestehen einerseits in der Möglichkeit, die Dimensionen des Lichtstrahls auf der Brennebene kontinuierlich zu verändern, um es zu ermöglichen, die gewünschte Energiedichte (oder Leistungsdichte) (diese ist umgekehrt proportional zu den Dimensionen des Lichtstrahls) präzise zu bestimmen oder um die Dimensionen an das bestrahlte Material anzugleichen, sowie andererseits in der Möglichkeit, die lokalen Intensitätsschwankungen des Eingangsstrahls zu korrigieren, um eine bessere Gleichförmigkeit in Bezug auf die durch Verwendung von vorhandenen Homogenisierern erreichte, welche nur den Mangel an über den gesamten Strahl gemittelte Gleichförmigkeit korrigieren.

### ZUSAMMENFASSUNG

**[0011]** Die gegenwärtige Erfindung betrifft ein optisches System gemäß Anspruch 1.

**[0012]** Das kombinierte optische System kann sechs Komponenten umfassen, umfassend eine Anzahl von Linsen, welche dazu angepasst sind, die Querschnittsform eines Lichtstrahls in eine andere Form umzuformen, welche variable Dimensionen sowie eine erhöhte räumliche Gleichförmigkeit der Lichtenergie (oder Leistungsdichte) aufweist, so dass es ermöglicht wird, in allen Prozessen verwendet zu werden, welche begrenzte Intensitätsschwankungen in einem zuvor festgelegten Bereich erfordern, oder um einen Lichtstrahl zu realisieren, welcher eine konstante Intensität innerhalb eines Gebiets variabler Dimensionen aufweist. Die obengenannten sechs optischen Komponenten wirken auf die zwei Querrichtungen mit drei Komponenten für jede Achse des Lichtstrahls ein, wobei diese so definiert sind: Die erste Komponente wird als Horizontaler Kondensator (Vertikaler Kondensator für die andere Richtung) definiert, die zweite Komponente wird als Horizontaler Kondensator (Vertikaler Kondensator für die andere Richtung) definiert und der dritte Bestandteil wird als Horizontaler Zoom (Vertikaler Zoom für die andere Richtung) definiert. Die erste Komponente umfasst mehrere Linsen (zum Beispiel zylindrische Linsen), deren Anzahl, Größe und die Brennweite als eine Funktion der gewünschten Ergebnisse festgelegt werden müssen, während sowohl die zweite als auch die dritte Komponente einzelne Linsen sind (zum Beispiel zylindrische Linsen).

**[0013]** Lassen Sie uns den einfachen Fall in Betracht ziehen, bei dem der Horizontale (Vertikale) Teiler aus einer Anzahl von gleichen Linsen besteht. Durch Bezeichnen der Brennweite der Linsen der ersten Komponente mit  $f_1$ , die Brennweite der zweiten Komponente mit  $f_2$ , die Brennweite der dritten Komponente mit  $f_3$ , die Entfernung zwischen der zweiten und dritten Komponente mit  $d$ , die Anzahl der Linsen, welche die erste Komponente bilden, mit  $n$  und die Dimension solcher Linsen in Richtung entlang derer der Fokussierungseffekt ausgenutzt wird mit  $s$ , bewirkt das optische System, dass die Anfangsdimension des Lichtstrahls  $n \times s$  in der betrachteten Richtung in eine Dimension  $D$  umgewandelt wird, wobei  $D$  durch die folgende Formel definiert wird:

$$D = \frac{s \left| \frac{f_2' f_3'}{f_3' + f_2' - d} \right|}{f_1}$$

**[0014]** Die Dimension des Strahls erreicht einen Wert  $D$  in einer Entfernung  $z > 0$  von der dritten Komponente gemäß der folgenden Formel:

$$z = \frac{f_3'(f_2' - d)}{f_3' + f_2' - d}$$

wobei die Werte von  $f_2'$ ,  $f_3'$  und  $d$  auf solche Art gewählt werden müssen, um einen positiven Wert von  $z$  zu ermitteln.

**[0015]** Auf dieser Ebene für eine Länge gleich  $D$  betrachtet erreicht der Strahl eine räumliche Gleichförmigkeit der Energiedichte (oder Leistungsdichte), welche zur Anzahl  $n$  der Linsen proportional ist, welche die erste Komponente bilden.

**[0016]** Das oben skizzierte System repräsentiert eine ausgedehnte Anordnung, welche eine Anzahl von besonderen Fällen umfasst, unter denen es möglich ist anzuführen:

- ein Fall, bei dem die Linsen den Horizontalen und/oder Vertikalen Teiler bilden, nicht gleich sind, das heißt, sie weisen verschiedene Größen  $s_i$  ( $i = 1, 2, \dots n$ ) auf. In diesem Fall muss jede Linse des Horizontalen und/oder Vertikalen Teilers eine Brennweite  $f$  aufweisen, so dass das Verhältnis  $s_i/f_i$  konstant ist für alle  $i = 1, 2, \dots n$ .
- ein Fall, bei dem die Linsen, welche den Horizontalen Teiler und den Vertikalen Teiler bilden, Teile eines einzelnen Systems von torischen Linsen sind, oder wenn die mit den zwei Richtungen verbundenen Brennweiten identisch sind, sphärische Linsen sind (die letzte optische Komponente wird generell als "Fliegenauge" definiert),
- ein Fall, bei dem die Linsen, welche den Horizontalen Kondensator und den Vertikalen Kondensator bilden, Teile eines einzelnen Systems von torischen oder sphärischen Linsen sind,
- ein Fall, bei dem die Linsen, welche den Horizontalen Zoom und den Vertikalen Zoom bilden, Teile eines einzelnen Systems von torischen oder sphärischen Linsen sind,
- ein Fall, bei dem die oben genannten Fälle gleichzeitig mit sphärischen Linsen auftreten: Unter diesen Umständen wirkt das optische System in solcher Weise, dass die Enddimensionen des Lichtstrahls eine zuvor festgelegte Proportionalitätsbeziehung zwischen den zwei Richtungen erfüllen.

**[0017]** Weitere Details und Vorteile dieser Erfindung werden aus der folgenden Spezifizierung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen offensichtlich, wobei die bevorzugte Ausgestaltung veranschaulichend und nicht beschränkend gezeigt wird.

**[0018]** In den Figuren:

**[0019]** [Fig. 1](#) zeigt ein Diagramm einer möglichen Anordnung gemäß dieser Erfindung, welche in einem Homogenisierungseffekt auf der horizontalen Ebene des Blattes resultiert,

**[0020]** [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer möglichen Anordnung gemäß dieser Erfindung, in welcher die räumliche Homogenisierung in beiden Richtungen mit Ausgangsstrahlen, welche variable Querschnitte aufweisen, bewirkt wird.

**[0021]** Durch ausdrückliche Bezugnahme auf die Zeichnungen kann nun festgestellt werden, dass die vorliegende Erfindung drei optische Komponenten für jede der zwei orthogonalen Richtungen transversal zur Ausbreitungsrichtung des Lichtstrahls umfasst. Die folgende Beschreibung wird das Funktionsprinzip erläutern, welches für die X-Richtung gilt, in welcher der betroffene Strahl eine Dimension  $d_x$  aufweist und zur Y-Richtung erweitert werden kann, in welcher der Strahl eine Dimension  $d_y$  durch geeignetes Austauschen der X- und Y-Variablen aufweist. [Fig. 1](#) zeigt eine Draufsicht einer schematischen Ansicht einer Anordnung gemäß dieser Erfindung, wobei sich der Lichtstrahl von der linken zu rechten Richtung ausbreitet und in horizontaler Richtung homogenisiert wird, und zwar in einer Richtung parallel zum Blatt. [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer möglichen Anordnung gemäß dieser Erfindung, in welcher die räumliche Homogenisierung in beide Richtungen erfolgt. In diesem besonderen Fall umfasst die erste optische Komponente  $n$  zylindrischen Seite-an-Seite angeordnete Linsen, von denen jede eine Höhe  $d_y$  und eine Breite  $s$  aufweist, wobei  $s = d_x/n$  (in den Figuren ist  $n = 4$ ). Die globalen Dimensionen der ersten Komponente sind deshalb gleich den Dimensionen des Lichtstrahls, auf welchen die Anordnung gemäß dieser Erfindung einwirkt und seine Lage derart sein wird, dass sein mittlerer Punkt mit der Ausbreitungsachse des Lichtstrahls zusammenfällt. Diese Linsen sind in Bezug aufeinander gleich und weisen eine Brennweite  $f_1$  auf. Dieses erste System von  $n$  Linsen ist auf das Teilen des Lichtstrahls in  $n$  Teile gerichtet und wird als Teiler bezeichnet (horizontaler oder vertikaler gemäß der Richtung, entlang dieser einwirkt). Die sekundären Lichtstrahlen, welche aus diesem ersten optischen System austreten, werden auf dem zweiten optischen System einfallen, welches eine einzelne zylindrische Linse umfasst, dessen optische Achse mit der Ausbreitungsachse des Lichtstrahls zusammenfällt und deren Dimensionen derart sind, um das gesamte aus den Linsen der ersten optischen Komponente austretende Licht zu sammeln. Diese einzelne Linse wird als Kondensator bezeichnet. Die Brennweite dieser Linse beträgt  $f_2'$  und die Entfernung zwischen dieser Linse und der Teiler-Komponente beträgt  $d_{oc}$ . Die dritte optische Komponente besteht aus einer weiteren zylindrischen Linse, deren optische Achse mit der optischen Achse der Kondensator-Komponente zusammenfällt sowie geeignete Dimensionen aufweist, um das Licht, welches aus der Kondensator-Komponente austritt, aufzunehmen sowie eine Brennweite  $f_3'$  aufweist. Diese wird als Zoom bezeichnet und seine

Entfernung von der Kondensor-Komponente beträgt  $d_{zc}$ . In den oben festgelegten Bedingungen, in einer Entfernung  $z$  von der Zoom-Komponente, welche unten definiert wird, werden die obengenannten aus der Teiler-Komponente austretenden sekundären Strahlen gleichzeitig dieselbe Dimension  $D$  innerhalb zweier Enden, welche für alle dieselbe ist, erreichen. Die Ebene in einer Entfernung  $z$  von dieser Zoom-Komponente wird als Brennebene bezeichnet. Diese Entfernung  $z$  wird durch die folgende Formel definiert:

$$z = \frac{f_3' (f_2' - d_{zc})}{f_3' + f_2' - d_{zc}}$$

(wobei  $z > 0$ ) und die durch den Lichtstrahl erreichte Dimension ist gleich

$$D = \frac{s}{f_1} \left| \frac{f_2' f_3'}{f_3' + f_2' - d_{zc}} \right|$$

**[0022]** Aus den obengenannten Formeln ist offensichtlich, dass durch das Festlegen der Werte der Brennweiten der drei optischen Komponenten durch geeignetes Modifizieren der Entfernung  $d_{zc}$  zwischen Kondensor- und Zoom-Komponenten es möglich ist, die Dimensionen des Lichtstrahls auf der Brennebene kontinuierlich zu variieren, wobei die obengenannten  $n$  sekundären Strahlen sich selbst rekombinieren und deshalb die Intensitätsschwankungen des Anfangslichtstrahls dämpfen, um die Raumverteilung gleichförmig zu machen.

**[0023]** Da die Entfernung  $z$  von der Zoom-Komponente variiert indem  $d_{zc}$  variiert wird, wenn es gewünscht ist, dass die Brennebene des gesamten optischen Systems in der selben Entfernung von der Teiler-Komponente aufrechterhalten wird, ist es ausreichend, die Entfernung  $d_{dc}$  derart zu modifizieren, um an einem konstanten Wert  $L = d_{dc} + d_{zc} + z$  aufrechtzuerhalten, welcher als die Länge des Homogenisierers definiert wird.

**[0024]** Der Fachmann wird natürlich im Stande sein, mehrere Variationen anzufertigen, um die Anforderungen bestimmter Verwendungszwecke oder bestimmter Bedürfnisse zu erfüllen.

**[0025]** Zum Beispiel ist es im allgemeinen Fall von Strahlen, welche eine hoch asymmetrische Ungleichförmigkeit aufweisen, zweckmäßig, eine relativ kleine Größe  $s$  der Horizontalen (Vertikalen) Teiler-Linsen entsprechend der Ähnlichkeit zur weniger gleichförmigen Energieverteilung zu verwenden, sowie Linsen mit einer relativ großen Größe  $s'$  ( $s' > s$ ) entsprechend der Ähnlichkeit zum Bereich gleichförmigerer Energieverteilung zu verwenden. Auf diese Weise können wir die Größe  $s$  in Abhängigkeit vom lokalen Grad der Ungleichförmigkeit lokal optimieren, um somit eine bessere Gleichförmigkeit in Bezug auf die unter Verwendung eines bestehenden Homogenisierersystems erhaltene Gleichförmigkeit, welches die Größe  $s$  gemäß der durchschnittlichen Strahlungsungleichförmigkeit anpasst. Diese Modifizierung beeinflusst weder die Gleichung, welche die Entfernung  $z$  zwischen der Zoomlinse und der Brennebene voraussagt, noch die Gleichung, welche die Strahldimension  $D$  auf der Brennebene voraussagt, unter der Voraussetzung, dass jede Linse des Horizontalen und/oder Vertikalen Teilers eine Brennweite  $f_i$  aufweist, so dass das Verhältnis  $s_i/f_i$  für jedes  $i = 1, 2, \dots, n$  konstant ist.

**[0026]** In einer anderen Ausgestaltung können alle horizontalen und vertikalen Teiler-Komponenten durch ein einzelnes Element gebildet werden, welches dazu angepasst ist, gleichzeitig in beide Richtungen einzuwirken sowie aus torischen oder sphärischen Linsen mit einer Anzahl größer 1 für jede Richtung besteht. Entsprechend können die horizontalen und vertikalen Kondensor-Komponenten sowie die horizontalen und vertikalen Zoom-Komponenten jeweils durch eine einzelne torische beziehungsweise sphärische Linse gebildet werden.

**[0027]** Der Fachmann wird sofort verstehen, dass einige Komponenten durch negative Brennweiten oder Zerstreuungslinsen gebildet werden können.

**[0028]** In einer anderen Ausgestaltung können einige optische Komponenten eher reflektierende als lichtbrechende Komponenten sein und in diesem Fall kann die optische Achse der Kondensor- und Zoom-Komponenten auch nicht mit der Ausbreitungsachse des Lichtstrahls übereinstimmend sein, welcher auf der Teiler-Komponente einfällt.

**[0029]** In einer weiteren anderen Ausgestaltung kann eine Dämpfungs-Komponente, welche dazu angepasst ist, die Lichtleistung kontinuierlich zu variieren, zu den brechenden Komponenten (Linsen) und/oder reflektierenden Komponenten (Spiegel) hinzugefügt werden, um es dem optischen System zu ermöglichen, die Dimensionen des Lichtstrahls zu variieren, während seine Energiedichte (oder Leistungsdichte) durch geeignetes Be-

treiben dieses Dämpfers aufrechterhalten wird.

**[0030]** In einer weiteren anderen Ausgestaltung kann sich ein räumliches Filtersystem, welches zum Beispiel Schlitze oder Löcher im Falle eines Fliegenauge-Teilers umfasst, in den Ebenen befinden, wo die sekundären Strahlen, welche aus dem horizontalen und/oder vertikalen Teiler heraustreten, möglicherweise fokussiert werden, wobei ein solches räumliches Filtersystem angepasst ist, um sämtliche Brechungs- oder Interferenzeffekte auf der Brennebene des Homogenisierers zu verhindern.

**[0031]** Für einen Nachweis der Effizienz dieses optischen Systems wurde ein eindimensionaler Prototyp realisiert und seine Performance wurde mittels geeigneter Messinstrumente analysiert. Dieser Prototyp wird durch eine zwei Linsen umfassende Teiler-Komponente gebildet, welche eine Gesamtbreite von 2,5 cm aufweist (so dass jede Linse des Teilers eine Breite von 1,25 cm aufweist). Die Brennweite der Linsen, welche die Teiler-Komponente bilden, beträgt 50 cm, die Brennweite der Kondensor-Komponente beträgt 45 cm und die Brennweite der Zoom-Komponente beträgt 8 cm.

**[0032]** Das betroffene optische System ist mit dem durch einen He-Ne Laser generierten Licht mit einem gaußschen Raumintensitätsprofil beleuchtet worden, welches eine halbe Breite von ungefähr 3 cm aufweist. Durch Anwendung der oben beschriebenen Gleichungen ist es möglich gewesen, die Linsen der Kondensor- und Zoom-Komponenten derart zu positionieren, um einen homogenen Strahl zu erhalten, welcher eine variable Breite in einem Bereich von 6 bis 45 mm mit einem Vergrößerungsfaktor von 7,5 aufweist.

**[0033]** Die Entfernung zwischen der Kondensor- und der Zoom-Komponente wurde ein erstes Mal auf einen Wert von 68 cm justiert, um eine Fokussierung bei ungefähr 12 cm von der Zoom-Komponente mit einer Strahlbasisbreite von 6 mm zu erhalten sowie ein zweites Mal auf einen Wert von 55 cm, um eine Brennebene in einer Entfernung von 40 cm von der Zoom-Komponente sowie eine Endstrahlbasisbreite von 45 mm zu erhalten. Die gesamte Dimension der Prototypvorrichtung, von der Teiler-Komponente bis zur Brennebene gemessen, ist innerhalb einer Entfernung von ungefähr 1 m aufrechterhalten worden.

**[0034]** Die Messung der Enddimensionen des homogenisierten Strahls erfolgte mittels eines Halbleiter-Photodetektors, welcher auf einem fernbedienten Schlitten angeordnet war. Der Schlitten wird von einem Personalcomputer gesteuert, welcher zur gleichzeitigen Erfassung der Position des Detektors und seines elektrischen Signals, welches zur Intensität des einfallenden Lichts proportional ist, zur Verfügung steht. Durch Bewegen des Photodetektors entlang eines Pfades, welcher sich in die Richtung erstreckt, in welcher der Lichtstrahl homogenisiert wird, kann eine Kurve (Lichtintensität versus Position) gezeichnet werden, von welcher die räumliche Intensitätsverteilung des Strahls und folglich seine Dimension abgeleitet werden kann.

**[0035]** Das so realisierte optische System formt daher den 25 mm breiten Hauptteil eines gaußschen Strahls in einen Strahl um, welcher ein ebenes Profil (mit einer Intensitätsschwankung von weniger als 10%) mit einer variablen Basisweite im Bereich von 6 bis 45 mm aufweist. Darüber hinaus wurde im Fall von 45 mm ein Simulationsprogramm mit der Absicht realisiert, diese optischen Systemvorhersagen theoretisch zu studieren, welche sich durch Bewegen der Messebene außerhalb der Brennebene aus den Gleichungen ergeben, wobei der Strahl noch homogen sein sollte sowie eine größere Ausdehnung aufweisen. Solch eine Vorhersage ist durch die obengenannte Prototypvorrichtung bestätigt worden. Wenn die Entfernung zwischen den Kondensor- und Zoom-Komponenten auf einen Wert von 55 cm justiert wird und die Messebene bis zu 56 cm von der Zoom-Komponente, und zwar 16 cm, außerhalb der theoretischen Brennebene versetzt wird, bleibt der Strahl in der Tat gleichförmig und hat eine Basisbreite von ungefähr 70 mm (mit einem Vergrößerungsfaktor von ungefähr 12).

**[0036]** Der obige Prototypapparat bestätigt deshalb vollkommen die theoretischen Daten, welche die Effizienz solch einer optischen Vorrichtung bestimmen.

**[0037]** Die Eigenschaften des Prototypapparats sind nur in Bezug auf einen beschränkten Teil seiner Fähigkeit überprüft worden, auf Grund dessen, dass nur eine Zoomlinse von kleinen Dimensionen verfügbar war (ungefähr 3 cm Breite). Mit den anderen unveränderten optischen Komponenten und einer Zoom-Komponentenlinse von mindestens 5 cm könnte der homogenisierte Strahl auf der Basis von 2,3 mm bis zu 18 cm mit einem Vergrößerungsfaktor von 78 variieren. Durch die Verwendung des Simulationsprogramms ist es auch möglich sich zu vergewissern, dass in der Konfiguration, in welcher der Strahl eine Dimension von 18 cm erreicht, durch Versetzen der Messebene außerhalb der Brennebene ein homogener Strahl von mehr als 30 cm mit einem Vergrößerungsfaktor von mehr als 130 erhalten werden könnte.

**[0038]** Die unten dargelegten Beispiele zeigen den Betrieb dieser Erfindung, wenn die Parameter des zu bearbeitenden Lichtstrahls bestimmt werden.

#### BEISPIEL 1:

**[0039]** Es wird angenommen, dass ein Lichtstrahl mit einer Dimension von 6 cm in der horizontalen Richtung zur Verfügung steht, und dass dieser in einen Strahl von 10 cm in eine Brennebene transformiert werden soll, welche von der Teiler-Komponente nicht mehr als 100 cm beabstandet ist. Auf diese Weise werden  $D = 10$  cm als Minimum und  $L = 100$  cm als Maximum definiert. Unter der Annahme, dass die Raumintensität des betreffenden Lichtstrahls eine niedrige Schwankung aufweist, kann die Teiler-Komponente  $n = 3$  Linsen umfassen und es kann  $s = 2$  cm definiert werden. An diesem Punkt sollen die Brennweiten der Linsen, welche zu vielen Freiheitsgraden führen, festgelegt werden. Mit den folgenden Parametern  $f_1 = 10$  cm,  $f_2' = 100$  cm,  $f_3' = 100$  cm und  $d_{zc} = 2$  cm kann zum Beispiel erhalten werden

$$z = \frac{f_3'(f_2' - d_{zc})}{f_3' + f_2' - d_{zc}} = \frac{100 \cdot (100 - 2)}{100 + 100 - 2} = 49,5 \text{ cm}$$

sowie

$$D = \frac{s}{f_1} \left| \frac{f_2' f_3'}{f_3' + f_2' - d_{zc}} \right| = \frac{1}{10} \cdot \frac{100 \cdot 100}{100 + 100 - 2} = 10,1 \text{ cm.}$$

**[0040]** Bei einer festgelegten Entfernung  $d_{dc} = 48,5$  cm scheint die Länge des Homogenisierers ( $d_{dc} + d_{zc} + z$ ) = 100 cm zu betragen. Diese Ergebnisse können auch mit einem konventionellen Homogenisierer erhalten werden, welcher nur zwei optische Komponenten (Teiler und Kondensator) umfasst, aber diese Erfindung ermöglicht, dass durch einfaches Festlegen von  $d_{dc} = 2$  cm und  $d_{zc} = 85$  cm die Enddimension  $D$  bis zu einem Maximalwert von 17,4 cm variiert werden kann. In diesem Fall ist  $z = 13$  cm und infolgedessen bleibt die Länge des Homogenisierers unverändert.

**[0041]** Sollte andererseits eine Dimension auf der Brennebene eines Maximalwertes von 10 cm erforderlich sein, es jedoch auch gewünscht ist, zum Verringern anstelle zum Vergrößern in der Lage zu sein, würden wir mit den folgenden Parametern  $f_1 = 18$  cm,  $f_2' = 98$  cm,  $f_3' = 80$  cm durch Festlegen von  $d_{dc} = 2$  cm und  $d_{zc} = 96$  cm  $D = 10,6$  cm erhalten, während wir  $D = 4,95$  cm durch Festlegen von  $d_{dc} = 54,4$  cm und  $d_{zc} = 2$  cm erhalten würden, selbst wenn die Gesamtlänge des Homogenisierers von 100 cm aufrechterhalten wird.

#### BEISPIEL 2:

**[0042]** Es werden nochmals ein Lichtstrahl von 6 cm, eine Teiler-Komponente, welche drei Linsen umfasst sowie eine von der Teiler-Komponente 100 cm beabstandete Brennebene angenommen. Durch Festlegen der Brennweiten  $f_1$ ,  $f_2'$  und  $f_3'$  auf 8 cm, 100 cm beziehungsweise 45 cm beträgt die auf der Brennebene erreichbare minimale Dimension 8 cm und die erreichbare maximale Dimension 24 cm, was bedeutet, dass ein optisches System gemäß diesem Beispiel eine Variabilität von 300% für die linearen Enddimensionen des Lichtstrahls und folglich eine Variabilität von bis zu 900% für die Energiedichte (oder Leistungsdichte) gewährleistet.

#### BEISPIEL 3:

**[0043]** Es wird ein Lichtstrahl einer Dimension von 6 cm und eine drei Linsen umfassende Teiler-Komponente betrachtet. Es wird angenommen, dass die Brennweiten der drei Linsen  $f_1 = 12$  cm,  $f_2' = 20$  cm und  $f_3' = -10$  cm betragen, wobei die Letztere eine Zerstreulinse ist. Die minimal erreichbare Dimension in einer Entfernung von 1 m von der Teiler-Komponente beträgt 4 cm, während die maximale Dimension ungefähr 32 cm mit einem Vergrößerungsfaktor von 800% beträgt.

**[0044]** Die obigen Beispiele sind in allen Beispielen unter der Annahme eines Strahls identischer Dimension und einer drei Linsen umfassenden Teiler-Komponente erläutert worden, aber dieselben Betrachtungen treffen in jeder anderen Situation zu. Diese Beispiele zeigen die Vielseitigkeit des optischen Systems gemäß dieser Erfindung, da es eine erkennbar zu erreichende Freiheit beim Auswählen der Enddimension des Lichtstrahls ermöglicht.

**[0045]** Die Fähigkeit dieser Erfindung, die Intensitätsverteilung der Lichtstrahlung gleichförmig auf der Brennebene zu bilden wird durch ihr Funktionsprinzip gewährleistet, welches auf einer Subdivision des Strahls in eine Anzahl mehrerer Teile und deren nachfolgenden Rekombination beruht. Wenn der im Beispiel 1 dargelegte Parametersatz, nämlich  $f_1 = 10$  cm,  $f_2' = 100$  cm,  $f_3' = 100$  cm und  $s = 2$  cm, in einer Situation verwendet wird, in welcher der auf das optische System einfallende Lichtstrahl eine Intensitätsverteilung eines gaußschen Typs mit einer Breite größer oder gleich 6 cm aufweist, würde der resultierende Strahl auf der Brennebene eine Intensitätsverteilung aufweisen, welche sich durch Schwankungen mit einer Abweichung von weniger als 2% charakterisieren lässt. Sollte das Intensitätsprofil nicht sehr regelmäßig sein, ist es jedenfalls möglich, die Intensitätsschwankungen durch geeignetes Vergrößern der Anzahl von Linsen, welche die Teiler-Komponenten bilden, zu verringern und folglich durch Auswählen der Brennweiten der erläuterten drei optischen Komponenten gemäß dieser Erfindung.

**[0046]** Die oben erläuterten Beispiele, welche mit einer einzigen Querrichtung einhergehen, können auch zur anderen Richtung erweitert werden, so dass durch geeignetes Justieren der Entfernungen  $d_{dc}$  und  $d_{zc}$  der optischen Komponenten, welche unabhängig entlang der zwei orthogonalen Richtungen wirksam sind, die Dimensionen des rekombinierten Strahls auf der Brennebene sowohl horizontal als auch vertikal mit festgelegter Gesamtlänge des optischen Systems variieren können.

**[0047]** Die bevorzugten Ausgestaltungen dieser Erfindung wurden beschrieben und eine Anzahl von Variationen wurden oben vorgeschlagen. Es versteht sich, dass der Fachmann andere Variationen und Änderungen durchführen kann, ohne so vom Geltungsbereich abzuweichen, welcher durch die folgenden Ansprüche definiert wird.

### Patentansprüche

1. Ein optisches System zum Umformen und räumlichen Homogenisieren eines Lichtstrahls, der, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Strahls gesehen, eine ungleichmäßige Intensität hat, umfassend zwei Sätze optischer Elemente (DO, CO, ZO; DV, CV, ZV), wobei diese Sätze auf wechselseitig orthogonalen Querrichtungen wirken und jeder Satz durch drei optische Komponenten gebildet wird, und:

– die erste Komponente

– den Strahl in  $n$  sekundäre Strahlen mit Hilfe von  $n$  nebeneinander angeordneter optischer Elemente  $D_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $n > 1$  teilt und Teiler (D; DO, DV) genannt wird,

– die optischen Elemente  $D_i$ ,  $i = 1, \dots, n > 1$ , die jeweilig unterschiedliche Größen  $s_i$  haben, die umgekehrt mit dem Grad der Ungleichförmigkeit des Lichtes variieren, das durch die entsprechenden optischen Elemente gesammelt wird,

– die optischen Elemente mit Brennweiten  $f_i$  ein konstantes Größe-zu-Brennweite-Verhältnis  $s_i/f_i$  für alle  $i = 1, 2, \dots, n$  haben,

– eine Gesamtabmessung hat, die nicht größer als die entsprechende Abmessung des Lichtstrahls entlang der betrachteten Querrichtung ist,

– den Mittelpunkt hat, der auf der optischen Achse des Lichtstrahls liegt;

– die zweite Komponente:

– durch ein optisches Element gebildet wird, das im Wesentlichen das gesamte aus der ersten optischen Komponente austretende Licht sammelt und Kondensator (C; CO, CV) genannt wird,

– eine Brennweite  $f_2$  und eine Entfernung  $d_{dc}$  vom Teiler hat;

– die dritte Komponente:

– durch ein optisches Element gebildet wird, das im Wesentlichen das gesamte aus der zweiten optischen Komponente austretende Licht sammelt und Zoom (Z; ZO, ZV) genannt wird,

– eine Brennweite  $f_3$  und eine Entfernung  $d_{zc}$  vom Kondensator hat;

das System derart gestaltet ist, dass durch Variieren der Entfernung  $d_{zc}$  die aus dem Teiler austretenden sekundären Strahlen gleichzeitig dieselbe Dimension  $D$  erreichen und sich auf einer Brennebene in einer Entfernung  $z$  vom Zoom überlagern.

2. Ein optisches System gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass diese Brennebene in einer festen Entfernung  $L = d_{dc} + d_{zc} + z$  vom Teiler durch geeignetes Variieren der Entfernung  $d_{dc}$  gehalten wird.

3. Ein optisches System gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Elemente von Teiler, Kondensator und Zoom von diesen zwei Sätzen separat in beide orthogonale Querrichtungen wirken und durch zylindrische Linsen ausgebildet werden.

4. Ein optisches System gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass beide Teiler beider Sät-

ze als ein einzelnes Element gebildet werden, das gleichzeitig in beide Querrichtungen wirkt, wobei dieses Element für jede Richtung mehrere torische oder sphärische Linsen in einer Anzahl von mehr als 1 umfasst.

5. Ein optisches System gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Kondensoren von diesen zwei Sätzen durch eine einzelne torische oder sphärische Linse gebildet werden, die gleichzeitig in beide Querrichtungen wirkt.

6. Ein optisches System gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zwei Zooms von diesen zwei Sätzen durch eine einzige torische oder sphärische Linse gebildet werden, die gleichzeitig in beide Querrichtungen wirkt.

7. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass einige Komponenten durch divergierende Linsen gebildet werden, die negative Brennweite haben.

8. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Achsen beider, sowohl Kondensator (C; CO, CV) als auch Zoom (Z; ZO, ZV), mit der einfallenden Ausbreitungsachse des Lichtstrahls auf dieser Teiler-Komponente übereinstimmen.

9. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass einige oder alle optischen Komponenten spiegelnde Komponenten sind, wobei die optischen Achsen beider, sowohl Kondensator (C; CO, CV) als auch Zoom (Z; ZO, ZV), mit der einfallenden Ausbreitungsachse des Lichtstrahls auf dieser Teiler-Komponente nicht übereinstimmen.

10. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner eine zu den Brechungs-Komponenten (Linsen) und/oder zu den Reflexions-Komponenten (Spiegel) hinzugefügte Dämpfungs-Komponente zum stufenlosen Variieren der Lichtleistung umfasst, um solch einem optischen System zu ermöglichen, die Dimension des Lichtstrahls zu variieren, während seine Energie- (oder Leistungs-) Dichte durch Steuern dieses Dämpfers geeignet aufrecht gehalten wird.

11. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein räumliches Filtersystem, zum Beispiel Schlitze oder Löcher im Falle einer Fliegenauge-Teiler-Komponente umfasst, das sich in Ebenen befinden kann, in denen die sekundären Strahlen aus der horizontalen und/oder vertikalen Teiler-Komponente austreten und unter Umständen scharf eingestellt werden, um Beugungs- oder Interferenz-Effekte auf der Brennebene des Homogenisierers zu verhindern.

12. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass diese Entfernung  $z$  durch die folgende Formel definiert wird:

$$z = \frac{f_3(f_2 - d_{cz})}{f_3 + f_2 - d_{cz}} > 0 \quad .$$

13. Ein optisches System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass diese Dimension  $D$  durch die folgende Formel definiert wird:

$$D = \frac{s_i \left| \frac{f_2 f_3}{f_3 + f_2 - d_{cz}} \right|}{f_i},$$

wobei  $s_i/f_i$  konstant ist für alle  $i = 1, 2 \dots n$ .

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

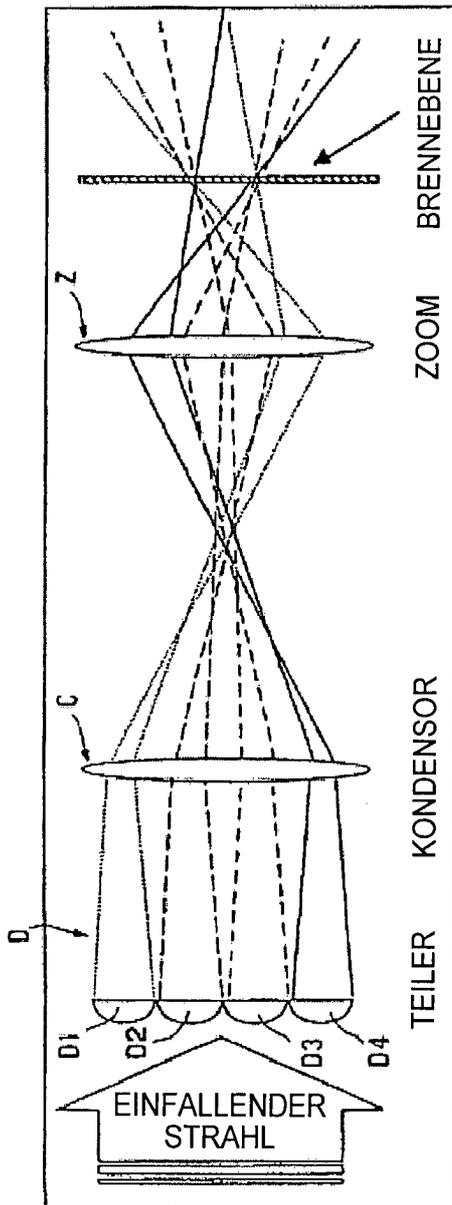


FIG. 1

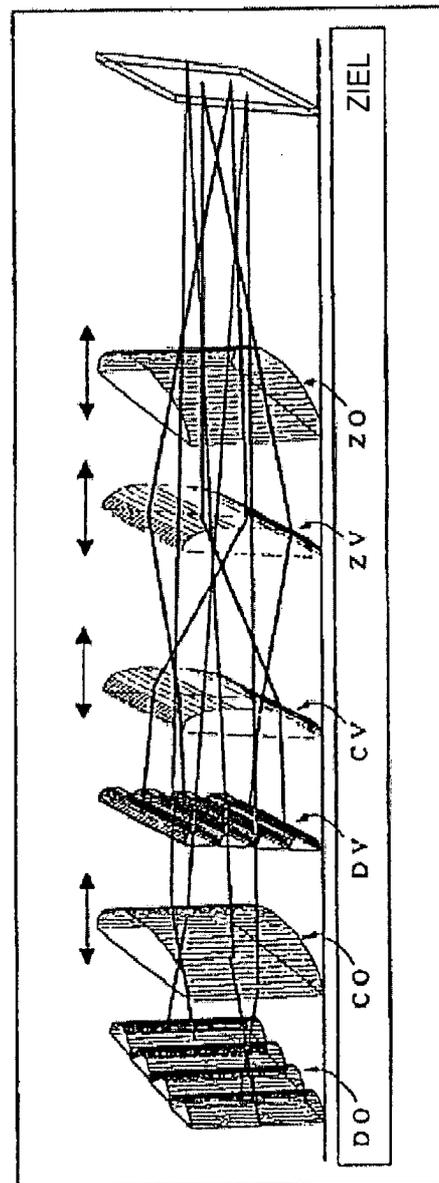


FIG. 2