(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Juli 2016 (28.07.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/116424 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 21/00 (2006.01) *G02B 21/02* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/050975

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Januar 2016 (19.01.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 100 695.2
19. Januar 2015 (19.01.2015) DE

(71) Anmelder: **CARL ZEISS AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 22, 73447 Oberkochen (DE). **CARL ZEISS MICROSCOPY GMBH** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: **NOBIS, Thomas**; Sankt-Jacob-Strasse 18, 07743 Jena (DE). **WITTIG, Lars-Christian**; Am Hirschberge 3, 07745 Jena (DE).

(74) Anwalt: **SCHWARZ, Markku**; Kraus & Weisert, Thomas-Wimmer-Ring 15, 80539 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

(54) Title: OPTICAL ARRANGEMENT FOR A LASER SCANNER SYSTEM

(54) Bezeichnung : OPTISCHE ANORDNUNG FÜR EIN LASER-SCANNER-SYSTEM

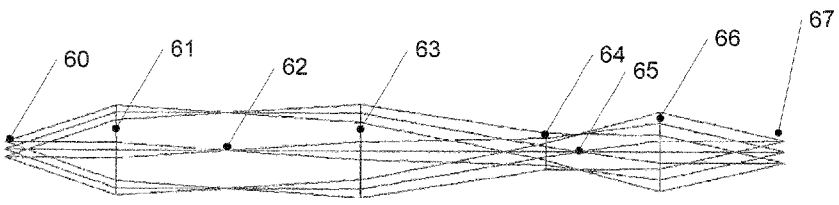


Fig. 6

(57) Abstract: The invention relates to an optical arrangement for a laser scanner system having a relatively short overall length. To achieve this, for example, a third lens group (64) with a negative focal length can be provided between a first lens group (62) and a second lens group (66).

(57) Zusammenfassung: Es wird eine optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System bereitgestellt, welches eine vergleichsweise kurze Baulänge aufweist. Hierzu kann beispielsweise zwischen einer ersten Linsengruppe (62) und einer zweiten Linsengruppe (66) eine dritte Linsengruppe (64) mit negativer Brennweite bereitgestellt werden.

WO 2016/116424 A2

Beschreibung

Optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System

Ein Laser-Scanning-Mikroskop ist im Wesentlichen ein Lichtmikroskop, bei dem ein fokussierter Laserstrahl eine Probe abrastert. Diese Abrasterung kann beispielsweise vorgenommen werden, indem der Laserstrahl durch einen Scanner-Spiegel waagrecht und/oder senkrecht abgelenkt wird, bevor er durch eine Optikanordnung auf einen Anregungspunkt auf oder in der Probe fokussiert wird. Durch eine derartige Bestrahlung mit einem Laserstrahl kann dann beispielsweise Fluoreszenz in der Probe angeregt werden, welche dann detektiert wird. Derartige Laser-Scanning-Mikroskope (LSM) sind in der Mikroskopie weit verbreitet und haben sich als Instrument zur Erzeugung hochaufgelöster optischer Schnitte etabliert.

Häufig werden Laser-Scanning-Mikroskope als Aufsatz oder Ergänzung für ein bestehendes Mikroskopsystem, welches ein Stativ umfassen kann, implementiert. Derartige Systeme nutzen beispielsweise ein korrigiertes Zwischenbild eines Weitfeldmikroskops als optische Schnittstelle. Der oben erwähnte Scanner-Spiegel wird bei derartigen Anordnungen in einer zu einer Austrittspupille eines verwendeten Mikroskopobjektivs konjugierten Ebene angeordnet.

Bei Mikroskopobjektiven hoher Apertur liegt dabei diese Austrittspupille im Inneren des Objektivs. Daher wird bei derartigen Anwendungen eine sogenannte Tubuslinse oder Tubuslinsenanordnung und ein zusätzliches Scan-Objektiv zur Abbildung der Austrittspupille des Mikroskopobjektivs auf den Scanner-Spiegel oder andere Scanner-Einrichtung verwendet.

In Fig. 1 ist schematisch ein Aufbau einer derartigen optischen Anordnung gezeigt.

Mit 10 ist dabei ein Ort bezeichnet, an dem ein Laserstrahl auf eine Probe fokussiert wird. 11 bezeichnet ein Mikroskopobjektiv, beispielsweise ein hochaperturiges Mikroskopobjektiv, und 12 bezeichnet eine Austrittspupille des Mikroskopobjektivs 11. 13 bezeichnet eine sogenannte Tubuslinse, 14 ein Zwischenbild und 15 ein Scan-Objektiv. Die Tubuslinse 13 kann insbesondere in einem Tubus des Mikroskops angeordnet sein. Mit 16 ist ein Ort des Scanner-Spiegels bezeichnet, welcher in einer konjugierten Ebene zu der Austrittspupille 12 liegt.

Das Mikroskopobjektiv 11 kann beispielsweise ein zehnfach vergrößerndes Objektiv sein, und ein Durchmesser der Austrittspupille 12 kann in der Größenordnung 10 mm sein. Eine Sehfeldzahl des Zwischenbilds 14 kann beispielsweise ungefähr 20 betragen. Eine Brennweite der Tubuslinse 13 kann beispielsweise in der Größenordnung von 165 mm liegen, und eine Brennweite des Scan-Objektivs 15 kann in der Größenordnung von 50 mm liegen.

Während das Mikroskopobjektiv 11, die Tubuslinse 13 und das Scan-Objektiv 15 in Fig. 1 jeweils als ein einzelner Strich dargestellt sind, kann jedes dieser Elemente ein oder mehrere Linsen oder auch andere optische Elemente wie diffraktive Elemente und/oder Spiegel umfassen.

Für einen derartigen Aufbau, wie er als Aufsatz für ein bestehendes Mikroskop mit dem Mikroskopobjektiv 11 verwendbar ist, gelten bei vielen Anordnungen folgende Randbedingungen:

i) Der Abstand zwischen der Austrittspupille 12 und der Tubuslinse 13 ist in der Regel etwas kleiner als die Brennweite der Tubuslinse, damit eine obere Bündelbegrenzung des Lichtstrahlbündels zumindest näherungsweise achsparallel verläuft und den Innendurchmesser eines Tubus des Mikroskops minimiert.

ii) Das Zwischenbild 14 ist von der Tubuslinse 13 entsprechend der Brennweite der Tubuslinse 13 beabstandet, da Mikroskopobjektive wie das Mikroskopobjektiv 11 in der Regel für eine Abbildung nach unendlich korrigiert sind.

iii) Ein Abstand zwischen dem Zwischenbild 14 und dem Scan-Objektiv 15 beträgt ungefähr die Brennweite des Scan-Objektivs, da der für die Abbildung genutzte Laserstrahl in der Regel kollimiert aus einer vorangehenden Optik austritt. Diese Randbedingung ist jedoch nicht zwingend.

iv) Der Abstand des Scan-Objektivs 15 zum Ort des Scanner-Spiegels 16 beträgt ebenfalls ungefähr die Brennweite des Scan-Objektivs, da die Pupillenlage im Zwischenbild 14 nahezu telezentrisch ist.

v) die Brennweite des Scan-Objektivs 15 wird durch die Größe eines verwendeten Scanner-Spiegels vorgegeben. Insbesondere bildet das Brennweitenverhältnis zwischen Tubuslinse 13 und Scan-Objektiv 15 den Abbildungsmaßstab für die Abbildung des

Scanner-Spiegels auf die Austrittspupille 12 des Mikroskopobjektivs 11. Für einen kompakten Aufbau ist ein kleiner Scanner-Spiegel oder andere Scanner-Einrichtung mit großem Kippwinkelbereich bevorzugt, was die Brennweite des Scan-Objektivs 15 verkürzt.

Die Brennweite der Tubuslinse 13 ist bei Anwendungen, bei welchen das Laser-Scanner-System als Aufsatz oder Ergänzung für ein bestehendes Mikroskopstativ implementiert ist, vom Stativ vorgegeben und liegt typischerweise zwischen 140 mm und 200 mm. Minimale Spiegelgrößen des Scanner-Spiegels liegen typischerweise zwischen 2 mm und 4 mm. Dies bedingt, dass die gesamte Baulänge des Systems zwischen der Austrittspupille 12 und dem Scanner-Spiegel relativ groß ist, typischerweise zwischen 300 mm und 500 mm.

Dies ist in Fig. 2 durch ein sogenanntes Delano-Diagramm nochmals verdeutlicht. In einem Delano-Diagramm sind in einem $y\bar{y}$-Diagramm für jede brechende Fläche (z.B. die idealisiert dargestellten Linsen 11, 13, 15 in Fig. 1) die Randstrahlhöhe y des Lichtstrahlbündels durch die optische Anordnung über der Hauptstrahlhöhe $\bar{y}$ aufgetragen. Fig. 2 zeigt ein Delano-Diagramm für die optische Anordnung der Fig. 1. Die Elemente 12 bis 15 der Fig. 1 sind dabei in Fig. 2 ebenfalls mit 12 bis 15 bezeichnet. Das Diagramm wird im Uhrzeigersinn umlaufen. Richtungsänderungen werden durch brechende Elemente verursacht. Start- und Endpunkt (Austrittspupille 12 und Scanner-Spiegel 16) sind durch die oben beschriebenen Randbedingungen festgelegt.

Eine Linie 20 in Fig. 2 entspricht dem Strahlengang von der Austrittspupille (AP) 12 zu der Tubuslinse (TL) 13, eine Linie 21 entspricht dem Strahlengang von der Tubuslinse 13 zu dem Zwischenbild (ZWB) 14, eine Linie 22 entspricht dem Strahlengang von dem Zwischenbild 14 zu der Scan-Optik (SO) 15 (da das Zwischenbild kein brechendes Element ist, ist die Linie 22 eine Fortsetzung der Linie 21), und eine Linie 23 entspricht dem Strahlengang von der Scan-Optik 15 zu dem Scanner-Spiegel 16.

Die Baulänge des Systems ist direkt proportional zur Fläche der sich ergebenden Kurve, wobei die auf die einzelnen Strahlen entfallenden Flächen durch Verbindung der den jeweiligen Elementen entsprechenden Punkte mit dem Koordinatenursprung entspricht. Dies ist durch Linien 24 und 25 in Fig. 2 angedeutet. Bei dem dargestellten Beispiel ist somit die Länge von der Austrittspupille 12 zu der Tubuslinse 13 100 mm, von der Tubuslinse 13 zum Zwischenbild 14 165 mm, vom Zwischenbild 14 zu dem Scan-Objektiv 15 50 mm und von der Scan-Optik 15

zu dem Scanner-Spiegel 16 55 mm. Diese Zahlenwerte sind jedoch nur als Beispiel zu verstehen.

Neben den oben beschriebenen Laser-Scanner-Systemen, welche als Aufsatz zu einem bestehenden Stativ, beispielsweise einem Weitfeldmikroskop, implementiert sind, sind jedoch auch Laser-Scanner-Mikroskope möglich, welche als Stand-Alone-Geräte unabhängig von bestehenden Stativen implementiert sind. Für derartige Laser-Scanner-Mikroskope wäre es wünschenswert, kürzere Baulängen als oben beschrieben für eine optische Anordnung zu erreichen, um kompaktere Geräte realisieren zu können.

Es ist somit eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, optische Anordnungen für Laser-Scanner-Systeme mit verkürzter Baulänge bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine optische Anordnung gemäß Anspruch 1 oder 9. Die Unteransprüche definieren weitere Ausführungsbeispiele sowie ein Laser-Scanner-System mit einer derartigen optischen Anordnung.

Gemäß einem ersten Aspekt wird eine optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System bereitgestellt, umfassend eine erste Linsengruppe mit einer positiven Brennweite, eine zweite Linsengruppe mit einer positiven Brennweite zum Empfangen von Licht von einer Scanner-Einrichtung und eine zwischen der ersten Linsengruppe und der zweiten Linsengruppe angeordnete dritte Linsengruppe mit einer negativen Brennweite.

Der Begriff „Linsengruppe“ bezeichnet dabei im Rahmen dieser Anmeldung allgemein eine Anordnung von einer oder mehreren zusammengehörigen Linsen. Umgekehrt wird bei der vorliegenden Beschreibung manchmal zur Vereinfachung einfach der Begriff „Linse“ (beispielsweise Tubuslinse, Negativlinse) verwendet, wobei derartige Linsen auch durch eine Gruppe mehrerer Einzellinsen implementiert sein können. Bei manchen Ausführungsbeispielen können diese Linsengruppen zusätzlich oder alternativ zu herkömmlichen Linsen auch andere abbildende Elemente umfassen, wie beispielsweise Spiegel oder diffraktive Elemente.

Durch die Einfügung einer Linsengruppe mit negativer Brennweite kann dabei eine weitere Verkürzung der Baulänge erreicht werden. Zudem kann bei manchen Ausführungsbeispielen ausgenutzt werden, dass bei Stand-Alone-Systemen manche der eingangs diskutierten Randbedingungen wegfallen, wodurch eine Verkürzung der Baulänge erreicht werden kann.

Die optische Anordnung kann eingerichtet sein, ein Zwischenbild zwischen der zweiten Linsengruppe und der dritten Linsengruppe zu erzeugen.

Dabei kann das Zwischenbild näherungsweise in der Mitte zwischen der zweiten Linsenanordnung und der dritten Linsenanordnung liegen.

Die optische Anordnung kann weiter ein Mikroskopobjektiv umfassen, wobei die erste Linsengruppe zwischen dem Mikroskopobjektiv und der dritten Linsengruppe angeordnet ist.

Die optische Anordnung kann derart eingerichtet sein, dass die Scanner-Einrichtung in einer konjugierten Ebene zu einer Austrittspupille des Mikroskopobjektivs angeordnet ist.

Das Mikroskopobjektiv kann eine Austrittspupille von 3 mm bis 20 mm, bevorzugt z.B. zwischen 8 mm und 12 mm, z.B. ungefähr 10 mm, aufweisen.

Eine Brennweite der ersten Linsengruppe kann zwischen 25 und 200 mm, z.B. zwischen 25 und 100 mm, liegen. Eine Brennweite der zweiten Linsengruppe kann zwischen 5 und 50 mm, z.B. zwischen 5 und 20 mm, liegen. Eine Brennweite der dritten Linsengruppe kann zwischen -15 mm und -200 mm, z.B. zwischen -15 mm und -100 mm, liegen.

Die erste Linsengruppe kann eine Tubuslinse sein. Die zweite Linsengruppe kann ein Scan-Objektiv sein.

Gemäß einem zweiten Aspekt wird eine optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System bereitgestellt, umfassend: ein Mikroskopobjektiv, eine erste Linsengruppe mit einer Brennweite kleiner 70 mm, eine zweite Linsengruppe mit einer Brennweite kleiner 20 mm, wobei die erste Linsengruppe zwischen dem Mikroskopobjektiv und der zweiten Linsengruppe angeordnet ist, wobei die zweite Linsengruppe eingerichtet ist, Licht von einer Scanner-Einrichtung zu empfangen, wobei die Scanner-Optik in einer konjugierten Ebene zu einer Austrittspupille des Mikroskopobjektivs liegt.

Eine Baulänge der optischen Anordnung kann kleiner als 150 mm sein.

Bei dem ersten oder zweiten Aspekt kann die optische Anordnung weiter ein Strahlteilerelement zum Bereitstellen eines ersten Strahlengangs und eines zweiten Strahlengangs umfassen,

wobei der erste Strahlengang einen Strahlengang zwischen einer Position eines Objekts und einer Position der Scanner-Einrichtung umfasst, und wobei der zweite Strahlengang einen Strahlengang zwischen der Position des Objekts und einer Kameraeinrichtung umfasst.

Hierdurch kann eine Laserscanneruntersuchung mit einer Weitfeldaufnahme durch die Kameraeinrichtung kombiniert werden. Da mit den optischen Anordnungen gemäß dem ersten oder zweiten Aspekt kleine Zwischenbilder erzeugbar sind, kann ein kleiner und somit kostengünstiger Bildsensor in der Kameraeinrichtung verwendet werden.

Die optische Anordnung kann dabei gemäß dem ersten Aspekt ausgebildet sein. Dann kann das Strahlteilerelement zwischen der ersten Linsengruppe und der dritten Linsengruppe bereitgestellt sein, da dort im Regelfall genügend Platz für das Strahlteilerelement ist.

Die optische Anordnung kann weiter ein Korrekturelement zum zumindest teilweisen Korrigieren von Abbildungsfehlern durch das Strahlteilerelement umfassen.

Der erste Strahlengang kann durch das Strahlteilerelement abgewinkelt und der zweite Strahlengang kann durch das Strahlteilerelement (100) gerade sein. Dies ist bevorzugt, wenn für ein Laserscannen eine höhere Abbildungsqualität als für eine Aufnahme mit der Kameraeinrichtung erforderlich ist.

Alternativ kann der erste Strahlengang durch das Strahlteilerelement gerade und der zweite Strahlengang durch das Strahlteilerelement abgewinkelt sein. Dies ist bevorzugt, wenn für eine Aufnahme mit der Kameraeinrichtung eine höhere Abbildungsqualität als für ein Laserscannen erforderlich ist.

Zudem wird ein Laser-Scanner-System bereitgestellt, umfassend: eine Laserlichtquelle, eine Scanner-Einrichtung und eine zwischen der Scanner-Einrichtung und einer Position einer Probe bereitgestellte optische Anordnung wie oben beschrieben.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 2 ein Delano-Diagramm der optischen Anordnung der Fig. 1,

Fig. 3 ein Blockdiagramm eines Laser-Scanner-Systems gemäß einem Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung für ein Laser-Scanner-System gemäß einem Ausführungsbeispiel,

Fig. 5 ein Delano-Diagramm der optischen Anordnung der Fig. 4,

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung für ein Laser-Scanner-System gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel,

Fig. 7 ein Delano-Diagramm für die optische Anordnung der Fig. 6,

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung für ein Laser-Scanner-System gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel,

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung für ein Laser-Scanner-System gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel,

Fig. 10 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, und

Fig. 11 eine schematische Darstellung einer optischen Anordnung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel.

Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung detailliert erläutert. Diese Ausführungsbeispiele dienen lediglich der Veranschaulichung und sind nicht als einschränkend auszulegen. Dies gilt insbesondere auch für Zahlenwerte, welche zur Veranschaulichung bestimmter Implementierungen und Ausführungsbeispiele gegeben werden.

Fig. 3 zeigt ein Laser-Scanner-System gemäß einem Ausführungsbeispiel. Das Laser-Scanner-System der Fig. 3 umfasst eine Laserlichtquelle 30 zum Erzeugen eines Laserstrahls 36. Der Laserstrahl 36 wird über eine optionale erste optische Anordnung 31 zu einem Scanner-Spiegel 32 gelenkt, welcher wie durch einen Pfeil 33 angedeutet beweglich ist. Die erste optische

Anordnung 31 kann beispielsweise in Fällen weggelassen werden, in welchen die Laserlichtquelle 30 bereits einen Laserstrahl 36 erzeugt, dessen Eigenschaften beispielsweise hinsichtlich der Kollimierung den Ansprüchen des Laser-Scanner-Systems genügen. Der so durch den Scanner-Spiegel 32 abgelenkte Laserstrahl wird dann durch eine zweite optische Anordnung 34 auf eine Probe 35 fokussiert. Die erste optische Anordnung 31 und die zweite optische Anordnung 34 können jeweils insbesondere eine oder mehrere Gruppe von Linsen und/oder andere optische Elemente aufweisen. Bei erfindungsgemäßen Ausführungsbeispielen weist insbesondere die zweite optische Anordnung 34 eine verkürzte Baulänge verglichen mit herkömmlichen Anordnungen auf. Konkrete Ausführungsbeispiele derartiger optischer Anordnungen werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 4 bis 9 näher erläutert.

Durch Bewegen des Scanner-Spiegels 32, beispielsweise durch Verkippen in zwei Raumrichtungen, kann dann ein gewünschter Bereich der Probe 35 mit dem Laserstrahl abgerastert werden.

Das Laser-Scanner-System der Fig. 3 kann zusätzlich (nicht dargestellt) noch Elemente zum Detektieren von Licht von der Probe aufweisen, beispielsweise eine Kamera oder andere Einrichtung zur Detektion von Fluoreszenzlicht in Antwort auf die Bestrahlung mit dem Laserstrahl 36. Derartige Detektionseinrichtungen können wie bei herkömmlichen Laser-Scanner-Systemen implementiert sein.

Nunmehr werden unter Bezugnahme auf die Fig. 4 bis 9 verschiedene Implementierungsmöglichkeiten für eine optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System, beispielsweise die zweite optische Anordnung 34 der Fig. 3, diskutiert. Ein erstes Ausführungsbeispiel ist in Fig. 4 dargestellt.

Bei der optischen Anordnung der Fig. 4 ist mit 40 eine Position eines mit dem Laserstrahl zu beleuchtenden Objekts (beispielsweise die Probe 35 der Fig. 3) bezeichnet. 41 bezeichnet ein Mikroskopobjektiv, 42 eine Austrittspupille des Mikroskopobjektivs 41, 43 eine erste Linsengruppe in Form einer Tubuslinse, 44 ein Zwischenbild, 45 eine zweite Linsengruppe in Form eines Scan-Objektivs und 46 eine Position eines Scanner-Spiegels oder einer anderen Scanner-Einrichtung. Das Mikroskopobjektiv 41 kann beispielsweise eine zehnfache Vergrößerung bieten. Ein Durchmesser der Austrittspupille 42 kann größer 8 mm sein, beispielsweise in der Größenordnung von 10 mm liegen. Grundsätzlich sind in Fig. 4 ähnliche optische Komponenten wie in der Fig. 1 verwendet. Allerdings sind die Brennweiten insbesondere der Tubuslinse 43 und des Scan-Objektivs 45 gegenüber der herkömmlichen

Anordnung der Fig. 1 verringert, wodurch die Baulänge gleichfalls verringert werden kann. Dies ist insbesondere bei Stand-Alone-Lösungen möglich.

So beträgt beispielsweise die Brennweite der Tubuslinse 43 weniger als 70 mm, z.B. ungefähr 55 mm, beispielsweise zwischen 45 und 65 mm, und die Brennweite des Scan-Objektivs 45 ist weniger als 20 mm, z.B. ungefähr 16,5 mm, beispielsweise zwischen 15 und 20 mm. Eine gesamte Baulänge kann somit in der Größenordnung von 111 mm verglichen mit beispielsweise ungefähr 370 mm im Falle der Fig. 1 sein.

In Fig. 5 ist ein entsprechendes Delano-Diagramm für die optische Anordnung der Fig. 4 dargestellt. Eine Linie 50 repräsentiert den Lichtstrahl von der Austrittspupille 42 zu der Tubuslinse 43, eine Linie 51 entspricht dem Lichtstrahl von der Tubuslinse 43 zu dem Zwischenbild 44, eine Linie 52 (in Verlängerung der Linie 51) entspricht dem Lichtstrahl von dem Zwischenbild 44 zu dem Scan-Objektiv 45, und eine Linie 53 entspricht dem Lichtstrahl von dem Scan-Objektiv 45 zu der Position des Scanner-Spiegels 46. 54 und 55 sind Hilfslinien zum Unterteilen der Gesamtfläche. Dementsprechend ist bei einer beispielhaften Implementierung der Abstand zwischen der Austrittspupille 42 und der Tubuslinse 43 ungefähr 20 mm, der Abstand zwischen Tubuslinse 43 und dem Zwischenbild 44 ungefähr 65 mm, der Abstand zwischen dem Zwischenbild 44 und dem Scan-Objektiv 45 ungefähr 16,5 mm und der Abstand zwischen dem Scan-Objektiv 45 und dem Scanner-Spiegel 46 ungefähr 19,5 mm. Zum Vergleich sind in Fig. 5 zudem die Linien 20, 21 und 22 und 23 der Fig. 2 sowie die Punkte 13, 14 und 15 nochmals dargestellt, um so die Verringerung der umlaufenden Fläche entsprechend einer Verkürzung der Baulänge zu veranschaulichen.

Für manche Anwendungen und Implementierungen ist eine noch weitere Verkürzung der Baulänge wünschenswert. Für die optische Anordnung der Fig. 4 würden sich jedoch aus einer weiteren Verkürzung der Baulänge ohne weitere optische Elemente gegebenenfalls Nachteile ergeben. Beispielsweise kann der Abstand zwischen der Tubuslinse 43 und der Austrittspupille 42 häufig nicht weiter verkürzt werden als dargestellt (beispielsweise etwa 20 mm), da sich die Austrittspupille bei typischen Objektiven, insbesondere Objektiven, welche eine große Austrittspupille aufweisen, im Inneren der Objektive befindet. Somit ist es wegen der Ausdehnung des Objektivs 41 häufig nicht möglich, die Tubuslinse 43 näher am Objektiv 41 anzuordnen.

Auch der Abstand zwischen Scan-Objektiv 45 und Scanner-Spiegel 46 ist schwer weiter zu verringern, da andernfalls der Einfallswinkel des am Scanner-Spiegel einfallenden Lichtstrahls

zu groß wird, was zu einer Bildfeldverzeichnung führen kann. Dies kann insbesondere für Einfallswinkel größer als 20° der Fall sein.

Zur weiteren Verkürzung der Baulänge wird daher bei weiteren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung eine Negativlinse, d.h. eine Linse oder Linsengruppe mit negativer Brennweite, zwischen Tubuslinse und Scan-Objektiv angeordnet.

Ein entsprechendes Ausführungsbeispiel ist schematisch in Fig. 6 dargestellt. In Fig. 6 bezeichnet 60 eine Position eines zu untersuchenden Objekts, 61 bezeichnet ein Mikroskopobjektiv, beispielsweise ein Zehnfachobjektiv, 62 bezeichnet eine Austrittspupille des Objektivs 61 (beispielsweise mit einem Durchmesser größer 8 mm, z.B. in der Größenordnung von 10 mm), und 63 bezeichnet eine Tubuslinse (erste Linsengruppe). Die Tubuslinse 63 kann beispielsweise in diesem Fall eine Brennweite zwischen 25 und 65 mm, beispielsweise ungefähr 32 mm, aufweisen. Mit 64 ist eine Negativlinse (dritte Linsengruppe) bezeichnet, welche beispielsweise eine Brennweite zwischen -15 und -75 mm, beispielsweise ungefähr -19 mm, aufweisen kann. 65 bezeichnet ein Zwischenbild, und 66 ein Scan-Objektiv (zweite Linsengruppe), welches beispielsweise im Falle der Fig. 6 eine Brennweite zwischen 5 und 15 mm, beispielsweise ungefähr 12 mm, aufweisen kann. Mit 67 ist eine Position des Scanner-Spiegels bezeichnet.

In Fig. 7 ist ein entsprechendes Delano-Diagramm für das Ausführungsbeispiel der Fig. 6 mit den oben genannten Beispielbrennweiten angegeben. Zum Vergleich sind auch Linien aus den Diagrammen der Fig. 2 und 5 angegeben. Eine Linie 70 entspricht dem Lichtstrahl von der Austrittspupille 62 zu der Tubuslinse 63, eine Linie 71 entspricht dem Lichtstrahl von der Tubuslinse 63 zu der Negativlinse 64, eine Linie 72 entspricht dem Lichtstrahl von der Negativlinse 64 zu dem Zwischenbild 65, eine Linie 73 (Fortsetzung der Linie 72) entspricht dem Lichtstrahl von dem Zwischenbild 65 zu dem Scan-Objektiv 66, und eine Linie 74 entspricht dem Lichtstrahl von Scan-Objektiv 66 zu dem Scanner-Spiegel oder anderer Scan-Einrichtung 67. Mit 75 bis 77 sind wiederum Hilfslinien zur Veranschaulichung der einzelnen Baulängen- bzw. Flächenanteile gegeben. Bei dem dargestellten Beispiel beträgt ein Abstand von der Austrittspupille 62 zu der Tubuslinse 63 etwa 20 mm, ein Abstand von der Tubuslinse 63 zu der Negativlinse 64 beträgt etwa 28 mm, ein Abstand von der Negativlinse 64 zum Zwischenbild 65 etwa 5 mm, ein Abstand von dem Zwischenbild 65 zu dem Scan-Objektiv 66 etwa 11,5 mm und ein Abstand von dem Scan-Objektiv 66 zu dem Scanner 77 etwa 19,5 mm. Verglichen mit dem Beispiel der Fig. 5 wird somit die Baulänge von 111 mm auf 84 mm

implementiert. Zu beachten ist, dass in realen Implementierungen teilweise eine Dicke der verwendeten Linsen oder Linsengruppen die Länge vergrößern kann.

Fig. 7 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer optischen Anordnung, welche als Implementierungsbeispiel der Fig. 6 angesehen werden kann. In Fig. 8 bezeichnet 80 eine Austrittspupille eines Mikroskopobjektivs. 81 bezeichnet eine Tubuslinse, welche im Beispiel der Fig. 8 aus drei Einzellinsen zusammengesetzt ist und in dem dargestellten Beispiel eine Brennweite von 61 mm aufweist. 82 bezeichnet eine Negativlinse, welche im Fall der Fig. 8 als Linsengruppe mit zwei Einzellinsen implementiert ist. Eine Brennweite der Negativlinse 82 kann beispielsweise -75 mm betragen. 83 bezeichnet ein Zwischenbild und 84 bezeichnet ein Scan-Objektiv, welches in dem Beispiel der Fig. 8 ebenso als Linsengruppe mit mehreren Linsen implementiert ist. Mit 85 ist ein Scanner-Spiegel bezeichnet, welcher beispielsweise einen Durchmesser der Größenordnung 2 mm aufweisen kann. Über den Scanner-Spiegel 85 wird ein einfallender Laserstrahl über die diskutierten Optikelemente zu einer Probe hingelenkt, um diese abzurastern.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 8 beträgt mit den oben angegebenen Zahlenwerten die Übertragungslänge zwischen der Austrittspupille 80 und dem Scanner-Spiegel 85 112 mm. Der Durchmesser des Strahls am Scanner-Spiegel beträgt 2 mm. Zur Verringerung von Abbildungsfehlern wurden bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 8 die Tubuslinse 81 und die Negativlinse 82 mit moderater und nicht mit betragsmäßig minimal möglicher Brennweite gewählt.

Um den Laserstrahl 86 am Scan-Objektiv 84 vorbei zum Scanner-Spiegel 85 führen zu können, ist es dabei hilfreich, wenn der Abstand zwischen Scan-Objektiv 84 und Scanner-Spiegel 85 ausreichend groß ist.

Bei manchen Ausführungsbeispielen liegt das Zwischenbild (beispielsweise 83 in Fig. 8) näherungsweise mittig zwischen dem Scan-Objektiv 84 und der Negativlinse 82, beispielsweise in einem Bereich von ± 10% oder in einem Bereich von ± 5% um die Mitte (± 10% bedeutet in diesem Fall, dass die Aufteilung des Abstands zwischen Negativlinse und Scan-Objektiv durch das Zwischenbild in einem Bereich zwischen 60:40 und 40:60 liegt). Somit kann bei manchen Ausführungsbeispielen ein schädlicher Einfluss von Verschmutzungen und dergleichen auf Linsenflächen verringert werden. Zudem kann dies den Betrieb in einem defokussierten Zustand ermöglichen. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel kann durch Änderung einer Kollimationszustands des einfallenden Strahls (beispielsweise 86) in der Probe fokussiert

werden. Dies verschiebt das Zwischenbild, wofür es hilfreich ist, den Abstand zwischen dem Zwischenbild und den angrenzenden Linsen 82 bzw. 84 nicht zu klein zu wählen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen optischen Anordnung ist in Fig. 9 dargestellt. In Fig. 9 bezeichnet 90 eine Austrittspupille eines Mikroskopobjektivs, 91 eine Tubuslinse, welche wiederum als Gruppe mehrerer Linsen implementiert ist, 92 eine Negativlinse, welche ebenfalls als Gruppe mehrerer Einzellinsen implementiert ist, 93 ein Zwischenbild und 94 ein Scan-Objektiv, welches auch als Gruppe mehrerer Einzellinsen implementiert ist. Mit 95 ist eine Position eines Scanner-Spiegels oder anderen Scanner-Einrichtung bezeichnet. Verglichen mit dem Ausführungsbeispiel der Fig. 8 weisen nun beispielsweise die Tubuslinse 91 und das Scan-Objektiv 94 mehr Linsen auf. Dies verdeutlicht, dass es hier eine Vielzahl verschiedener Implementierungsmöglichkeiten gibt. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 9 beträgt eine Brennweite der Tubuslinse ungefähr 39 mm, eine Brennweite der Negativlinse 92 ungefähr -36 mm und eine Brennweite des Scan-Objektivs ungefähr 9 mm. Die gesamte Übertragungslänge zwischen der Austrittspupille 90 und der Position des Scanner-Spiegels 95 beträgt in diesem Ausführungsbeispiel nur 89 mm.

Wie aus den obigen Beispielen ersichtlich, ist eine Vielzahl von Variationen beispielsweise hinsichtlich Brennweiten der einzelnen Linsengruppen möglich. Die dargestellten Beispiele sind daher lediglich als veranschaulichend und nicht als einschränkend zu verstehen.

In den obigen Ausführungsbeispielen wurden optische Anordnungen für Laserscannersysteme und entsprechende Laserscannersysteme erläutert. Derartige Laserscanner Systeme können mit Weitfeldaufnahmen, d.h. im Wesentlichen herkömmlichen optischen Mikroskopaufnahmen, mittels einer Kamera kombiniert werden. Entsprechende Ausführungsbeispiele werden nunmehr unter Bezugnahme auf die Figuren 10 und 11 näher erläutert. Die Figuren 10 und 11 stellen dabei Abwandlungen des Ausführungsbeispiels der Fig. 6 dar, und Elemente, welche bereits in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 auftreten, tragen die gleichen Bezugszeichen und werden nicht nochmals detailliert erläutert. Auch wenn das Bereitstellen einer Kamera für Weitfeldaufnahmen anhand einer Abwandlung des Ausführungsbeispiels der Fig. 6 dargestellt wird, sind entsprechende Abwandlungen auch für die anderen oben erläuterten Ausführungsbeispiele möglich.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 10 ist zwischen der Tubuslinse 63 und der Negativlinse 64 ein Strahlteilerelement 100, beispielsweise ein teildurchlässiger Spiegel, bereitgestellt, welches Licht von dem zu untersuchenden Objekt bei der Position 60 zu einer

Kameraeinrichtung 102 lenkt. Mit dieser Kameraeinrichtung unter 2 sind dann Weitfeldaufnahmen (beispielsweise Übersichtsaufnahmen) des Objekts bei der Position 60 möglich. Die Art der Weitfeldaufnahmen ist dabei nicht besonders eingeschränkt und kann je nach bereitgestellter Beleuchtung (nicht dargestellt) variieren. So können zum Beispiel je nach Beleuchtung Hellfeldaufnahmen, Dunkelfeldaufnahmen, Phasenkontrastaufnahmen und/oder Fluoreszenzaufnahmen erstellt werden. Zu bemerken ist, dass bei herkömmlichen Auskopplungen ein Strahlteilerelement zwischen dem Mikroskopobjektiv 61 und der Tubuslinse 63 angeordnet wäre. Da durch die erfindungsgemäße Anordnung die Tubuslinse 63 sehr nah an das Mikroskopobjektiv 61 rücken kann, ist eine derartige Anordnung bei Ausführungsbeispielen häufig nicht praktikabel. Daher ist wie in Fig. 10 dargestellt das Strahlteilerelement 100 zwischen der Tubuslinse 63 und der Negativlinse 64 angeordnet.

Wie in der Querschnittsansicht der Fig. 10 zu sehen ist, ist das Strahlteilerelement 100 relativ zu der optischen Achse des Systems geneigt. Der Neigungswinkel kann dabei wie in Fig. 10 dargestellt ungefähr 45° betragen, es sind jedoch auch andere Winkel möglich. Durch die endliche Decke des Strahlteilerelements 100 werden dabei auch die durchgehenden Strahlen, das heißt die Strahlen vom Scannerspiegel 67 zu der Position 60 des Objektes hin, beeinflusst. Um derartige Einflüsse zumindest teilweise zu kompensieren, ist ein Korrekturelement 101 bereitgestellt, welches im Wesentlichen dem Strahlteilerelement 100 entspricht und ebenfalls geneigt ist, jedoch in einer anderen Ebene. Bei der Querschnittsansicht der Fig. 10 würde das Korrekturelement 101 dann geneigt aus der Zeichenebene herausragen bzw. in die Zeichenebene hineinragen. Die Bereitstellung derartiger Korrekturelemente ist für sich genommen bekannt und wird daher nicht näher erläutert. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel kann statt des dargestellten in Wesentlichen plattenförmigen Strahlteilerelements 100 ein Strahlteilerwürfel als Strahlteilerelement verwendet werden. In diesem Fall kann auf das Korrekturelement 101 verzichtet werden.

Wie bereits erläutert wird durch die optische Anordnung der Fig. 6 wie auch bei anderen Ausführungsbeispielen ein vergleichsweise kleines Zwischenbild erzeugt. Dies ermöglicht es, in der Kameraeinrichtung 102 einen entsprechend kleinen Bildsensor zu verwenden, was die Kosten verglichen mit großen Bildsensoren verringert. Beispielsweise können Bildsensoren, wie sie serienmäßig in Smartphones verwendet werden, zur Implementierung der Kameraeinrichtung 102 bereitgestellt werden.

In Fig. 11 ist eine Abwandlung des Ausführungsbeispiels der Fig. 10 bereitgestellt, wobei gleiche Elemente die gleichen Bezugszeichen tragen. Während bei dem Ausführungsbeispiel

der Fig. 10 der Strahlengang zwischen Objektposition 60 und Scanner Spiegel 67 gerade durch die Komponenten 100,101 hindurch geht und der Strahlengang zu der Kameraeinrichtung unter 2 abgelenkt ist, ist es im Fall der Fig. 11 gerade umgekehrt, sodass hier der Strahlengang zu der Kameraeinrichtung 102 gerade hindurch geht und der Strahlengang vom Scannerspiegel 67 abgelenkt ist.

Im Allgemeinen wird durch den Durchgang durch das Strahlteilerelement 100 und das Korrekturelement 101 die Abbildungsqualität verschlechtert. Daher ist es vorteilhaft, für denjenigen Strahlengang, für den die bessere Abbildungsqualität gewünscht wird, den abgewinkelten Strahlengang zu verwenden. Wenn also für die Weitfeldaufnahme mittels der Kameraeinrichtung unter 2 die bessere Abbildungsqualität gewünscht wird, ist das Ausführungsbeispiel der Fig. 10 bevorzugt, während, wenn für das Laser Scannen die bessere Abbildungsqualität gewünscht wird, das Ausführungsbeispiel der Fig. 11 bevorzugt ist.

Die Ausführungsbeispiele der Figuren 10 und 11 geben lediglich ein Beispiel für eine Erweiterung des Laserscannersystems bzw. der optischen Anordnung der Figuren 1-9, und das Laserscannersystem bzw. die optische Anordnung der Figuren 1-9 kann auch mit anderen optischen Vorrichtungen kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System, umfassend:
eine erste Linsengruppe (63; 81; 91) mit einer positiven Brennweite,
eine zweite Linsengruppe (66; 84; 94) mit einer positiven Brennweite zum Empfangen von Licht von einer Scanner-Einrichtung (32; 85) und
eine zwischen der ersten Linsengruppe (63; 81; 91) und der zweiten Linsengruppe (66; 84; 94) angeordnete dritte Linsengruppe (64; 82; 92) mit einer negativen Brennweite.

2. Optische Anordnung nach Anspruch 1, wobei die optische Anordnung eingerichtet ist, ein Zwischenbild (65; 83; 93) zwischen der zweiten Linsengruppe (66; 84; 94) und der dritten Linsengruppe (64; 82; 92) zu erzeugen.

3. Optische Anordnung nach Anspruch 2, wobei das Zwischenbild (65; 83; 93) näherungsweise in der Mitte zwischen der zweiten Linsenanordnung (66; 84; 94) und der dritten Linsenanordnung (64; 82; 92) liegt.

4. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1-3, weiter umfassend ein Mikroskopobjektiv (61), wobei die erste Linsengruppe (63; 81; 91) zwischen dem Mikroskopobjektiv (61) und der dritten Linsengruppe (64; 82; 92) angeordnet ist.

5. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die optische Anordnung derart eingerichtet ist, dass die Scanner-Einrichtung (82; 85) in einer konjugierten Ebene zu einer Austrittspupille (62; 80; 90) des Mikroskopobjektivs angeordnet ist.

6. Optische Anordnung nach Anspruch 4 oder 5, wobei das Mikroskopobjektiv eine Austrittspupille (62; 80; 90) zwischen 3 mm und 20 mm aufweist.

7. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei eine Brennweite der ersten Linsengruppe (63; 81; 91) zwischen 25 und 200 mm liegt und/oder eine Brennweite der zweiten Linsengruppe (66; 84; 94) zwischen 5 und 50 mm liegt und/oder eine Brennweite der dritten Linsengruppe (64; 82; 92) zwischen -15 mm und -200 mm liegt.

8. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die erste Linsengruppe (63; 81; 91) eine Tubuslinse ist und/oder die zweite Linsengruppe (66; 84; 94) ein Scan-Objektiv ist.

9. Optische Anordnung für ein Laser-Scanner-System, umfassend:
ein Mikroskopobjektiv,
eine erste Linsengruppe mit einer Brennweite kleiner 70 mm,
eine zweite Linsengruppe (45) mit einer Brennweite kleiner 20 mm,
wobei die erste Linsengruppe (43) zwischen dem Mikroskopobjektiv (41) und der zweiten Linsengruppe (45) angeordnet ist, wobei die zweite Linsengruppe (45) eingerichtet ist, Licht von einer Scanner-Einrichtung (46) zu empfangen, wobei die Scanner-Optik (46) in einer konjugierten Ebene zu einer Austrittspupille (42) des Mikroskopobjektivs (41) liegt.

10. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei eine Baulänge der optischen Anordnung kleiner als 150 mm ist.

11. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, weiter umfassend ein Strahlteilerelement (100) zum Bereitstellen eines ersten Strahlengangs und eines zweiten Strahlengangs, wobei der erste Strahlengang einen Strahlengang zwischen einer Position (60) eines Objekts und einer Position der Scanner-Einrichtung (67) umfasst, und wobei der zweite Strahlengang einen Strahlengang zwischen der Position (60) des Objekts und einer Kameraeinrichtung (102) umfasst.

12. Optische Anordnung nach Anspruch 11, wobei die optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1-8 ausgebildet ist, und wobei das Strahlteilerelement (100) zwischen der ersten Linsengruppe (63) und der dritten Linsengruppe (64) bereitgestellt ist.

13. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, wobei die optische Anordnung weiter ein Korrekturelement (101) zum zumindest teilweisen Korrigieren von Abbildungsfehlern durch das Strahlteilerelement (100) umfasst.

14. Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 11-13, wobei der erste Strahlengang durch das Strahlteilerelement (100) abgewinkelt ist und der zweite Strahlengang durch das Strahlteilerelement (100) gerade ist.

15 . Optische Anordnung nach einem der Ansprüche 11-13, wobei der erste Strahlengang durch das Strahlteilerelement (100) gerade ist und der zweite Strahlengang durch das Strahlteilerelement (100) abgewinkelt ist.

16. Laser-Scanner-System, umfassend:
eine Laserlichtquelle (30),
eine Scanner-Einrichtung (32) und
eine zwischen der Scanner-Einrichtung (32) und einer Position einer Probe (35) bereitgestellte optische Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

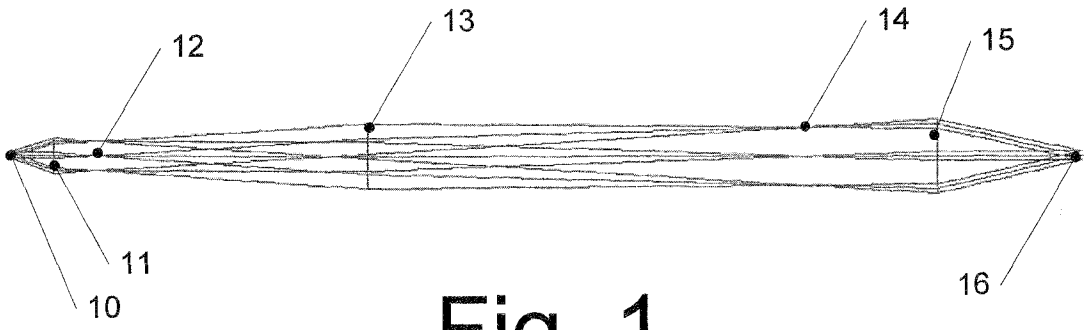


Fig. 1

(Stand der Technik)

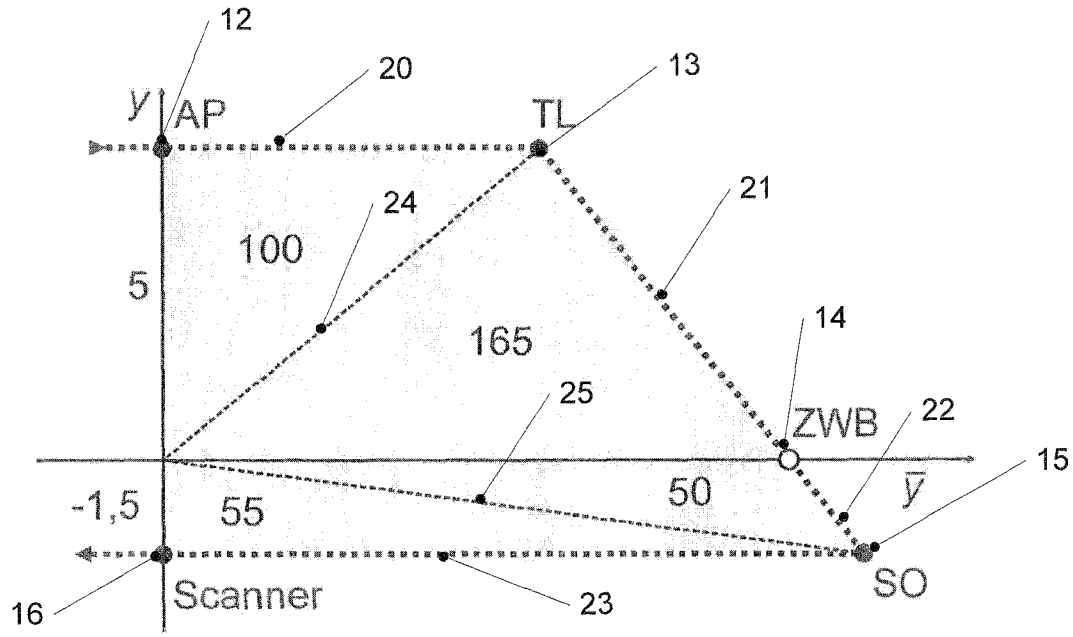


Fig. 2

(Stand der Technik)

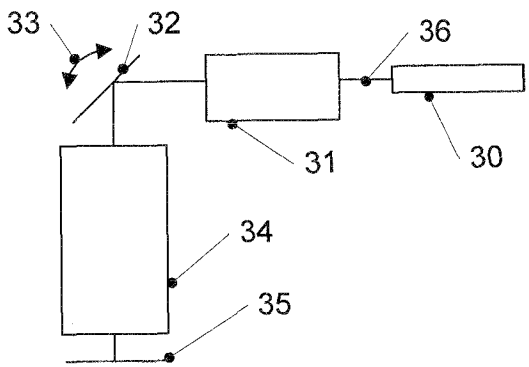


Fig. 3

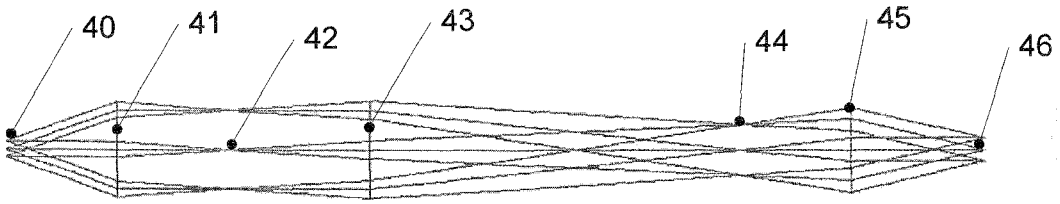


Fig. 4

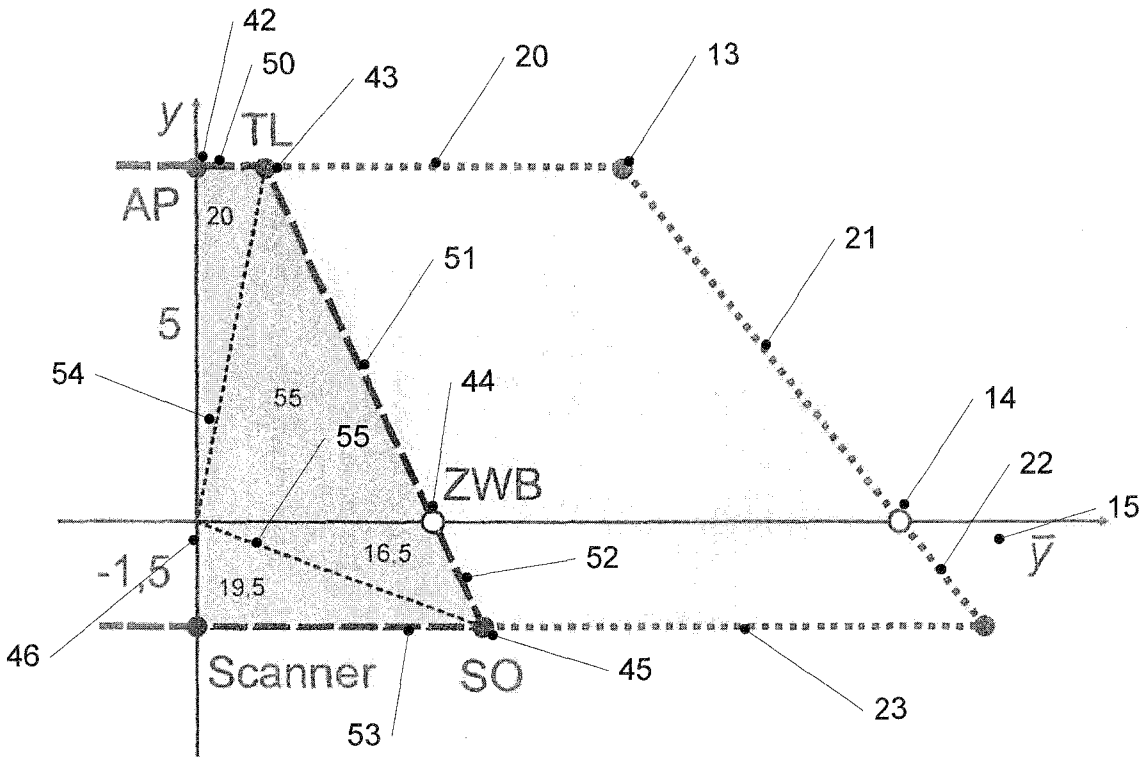


Fig. 5

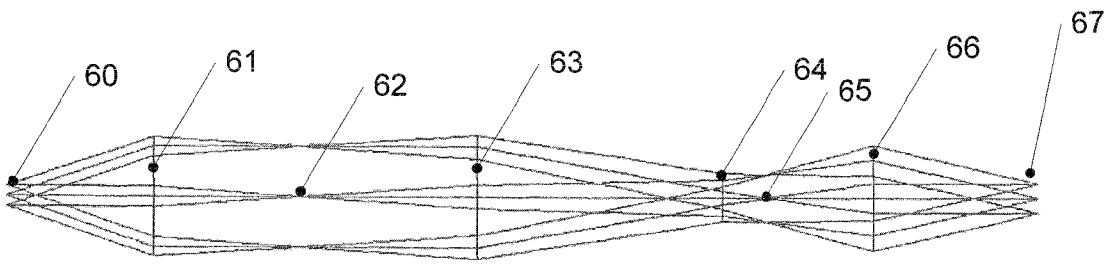


Fig. 6

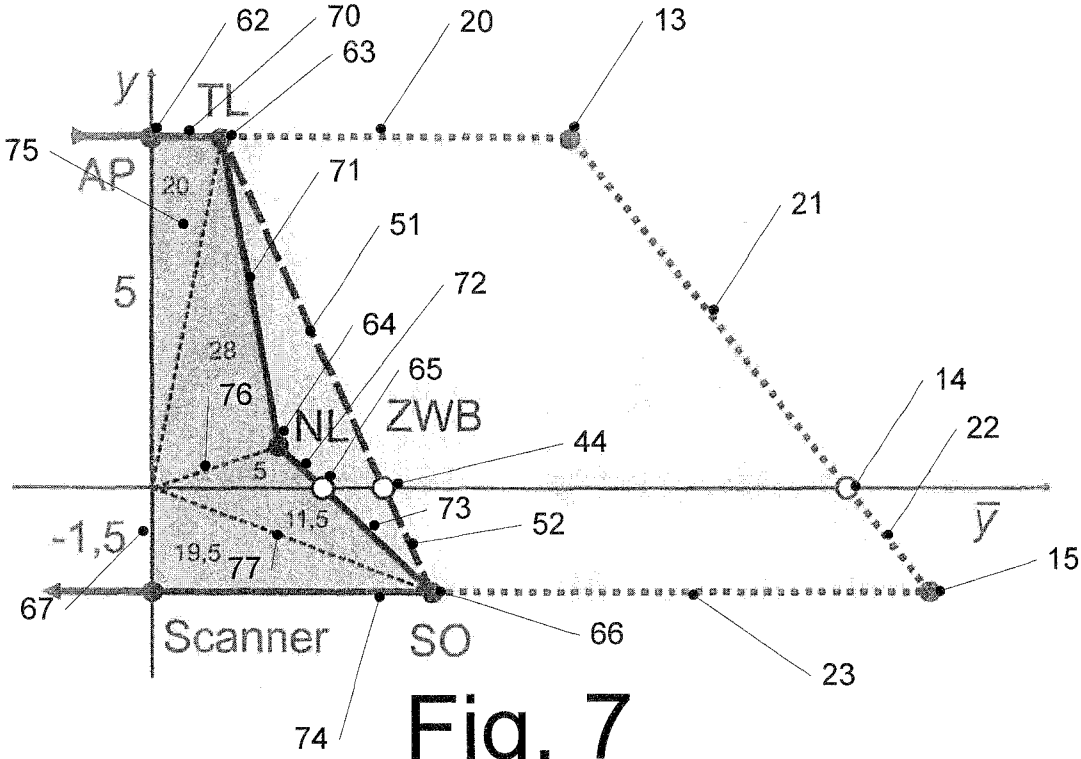


Fig. 7

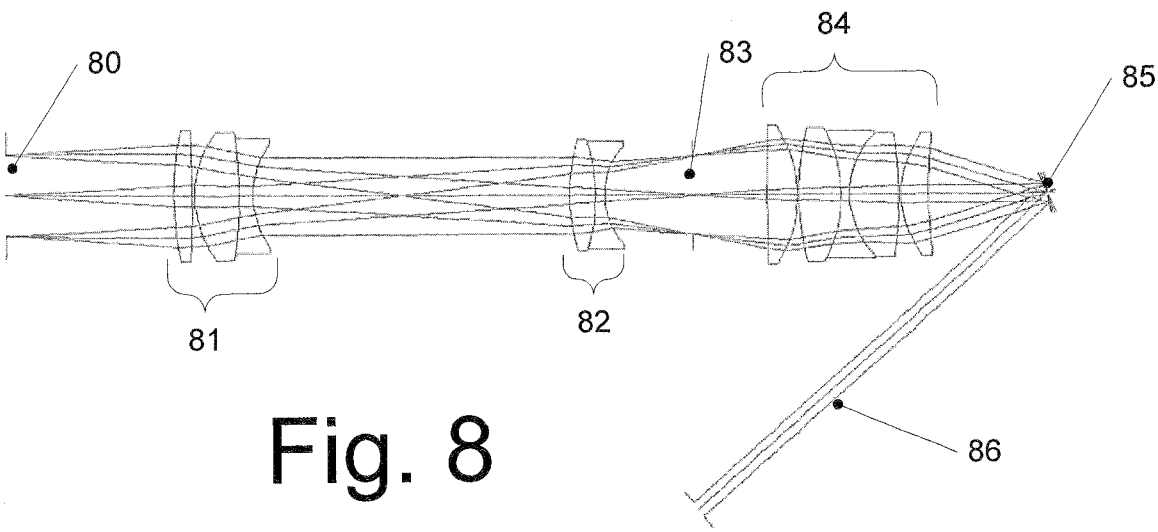


Fig. 8

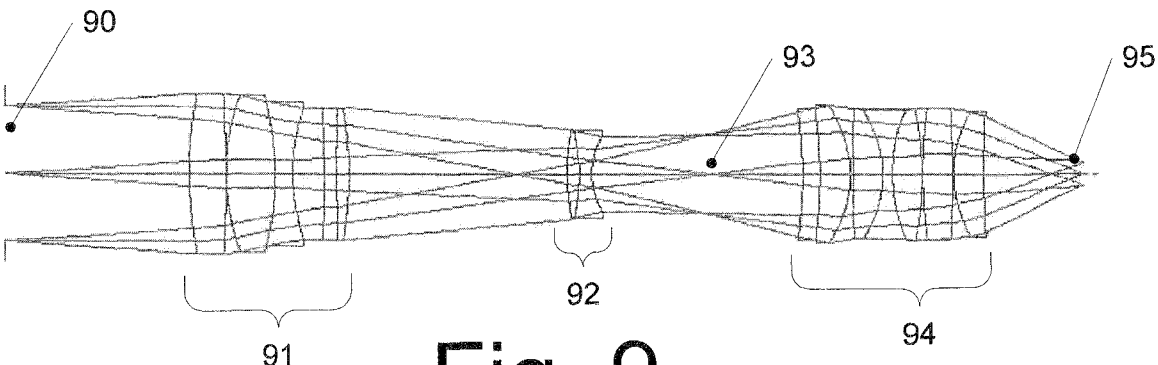


Fig. 9

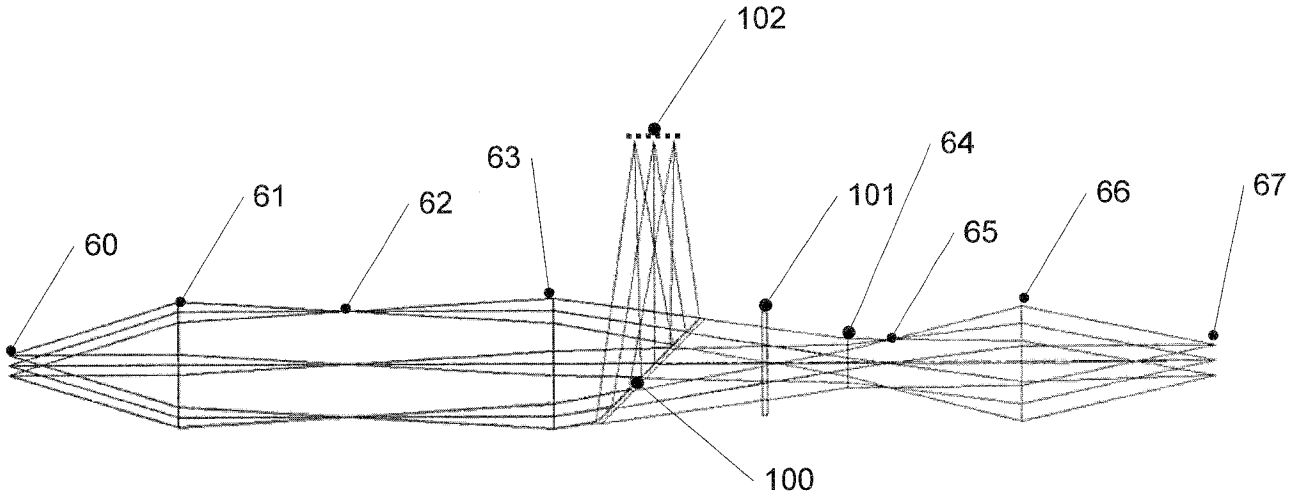

102
63
64
61
62
101
66
67
60
65
100

Fig. 10

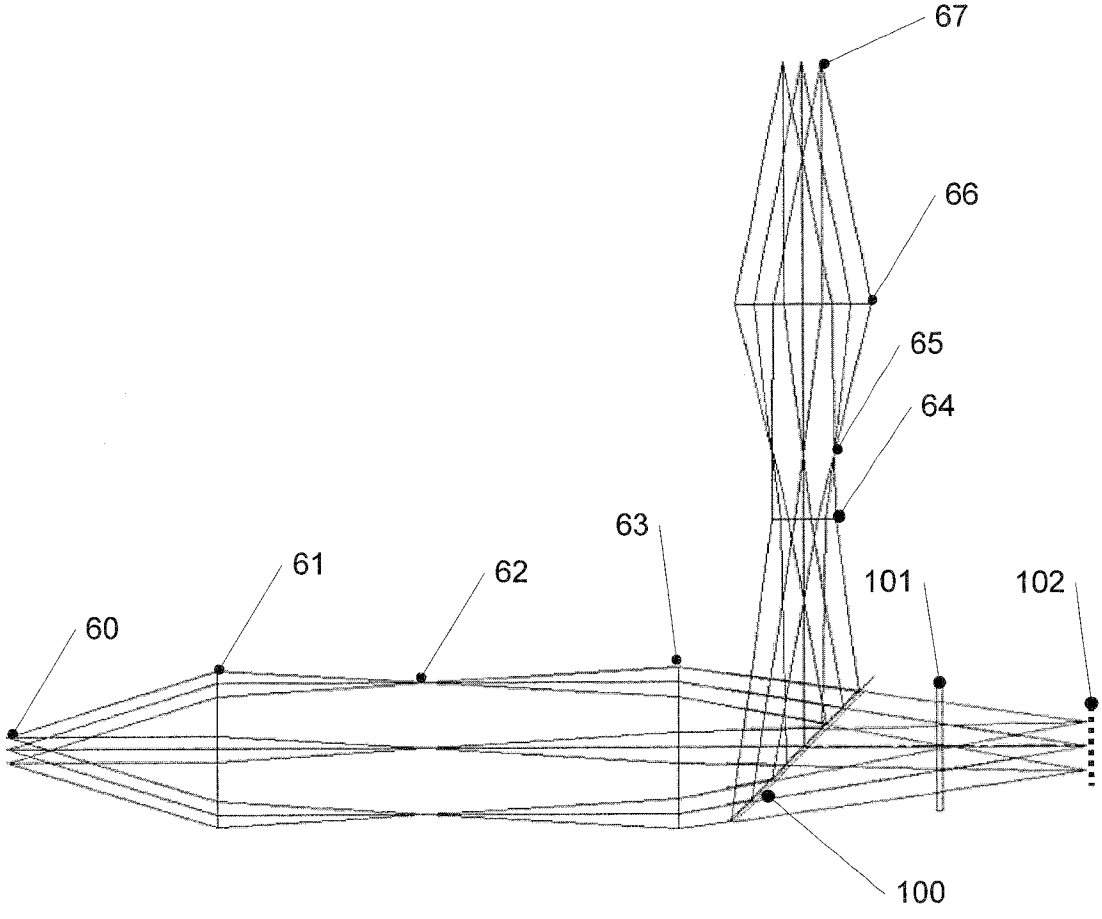

67
66
65
64
63
61
62
101
102
60
100

Fig. 11

Figur zur Zusammenfassung

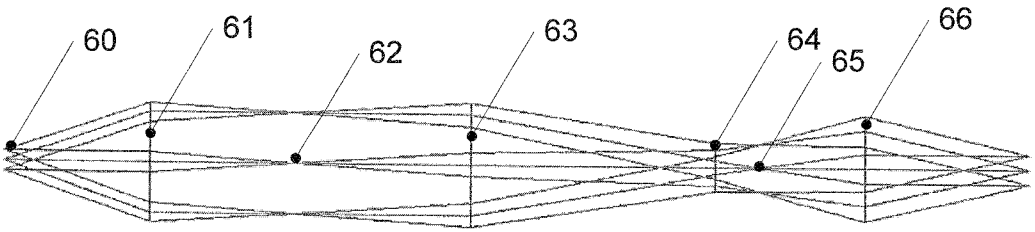


Fig. 6