



(10) **DE 198 40 926 B4** 2013.07.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **198 40 926.5**
(22) Anmeldetag: **08.09.1998**
(43) Offenlegungstag: **04.05.2000**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.07.2013**

(51) Int Cl.: **B23K 26/00** (2006.01)
B41C 1/05 (2006.01)
H01S 3/23 (2006.01)

Innerhalb von drei 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).

(62) Teilung in:
198 61 418.7

(73) Patentinhaber:
**HELL Gravure Systems GmbH & Co. KG, 24148,
Kiel, DE**

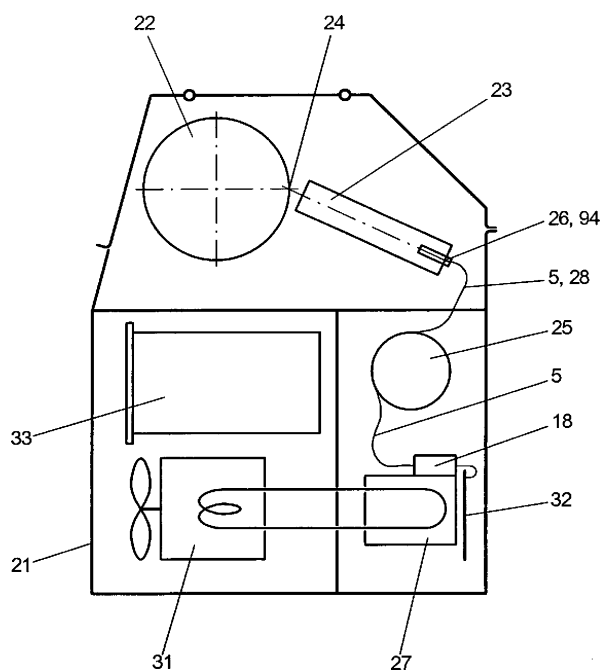
(74) Vertreter:
Thomas, Götz, Dipl.-Ing., 25524, Itzehoe, DE

(72) Erfinder:
Jürgensen, Heinrich, 24223, Raisdorf, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Materialbearbeitung mittels Laserstrahlen und deren Verwendung**

(57) Hauptanspruch: Anordnung zur Materialbearbeitung mittels Laserstrahlung (13), bestehend aus:
einem Gehäuse (21) zur Aufnahme einzelner Komponenten der Anordnung,
mindestens einer in dem Gehäuse (21) angeordneten drehbar gelagerten, von einem Antrieb in Rotation gesetzten Trommel (22), auf deren Oberfläche eine Bearbeitungsfläche (81) vorgesehen ist,
mindestens einer Laserstrahlungsquelle (1), die aus mehreren Faserlasern (2) besteht und eine Laserkanone (23) enthält, in welche die Faserlaser (2) eingespeist werden und die eine optische Einheit (8) zur Formung der Laserstrahlung (13) aufweist,
einer Modulationseinheit,
einer Steuerung (33) für die Faserlaser (2) und die Modulationseinheit,
mindestens einem in dem Gehäuse (21) angeordneten Schlitten, der auf einer Führung entlang der Trommel (22) von einem Vorschubantrieb axial verschiebbar ist und auf dem die Laserkanone (23) angeordnet ist,
einem Kühlsystem zur Ableitung der Verlustwärme der Laserstrahlungsquelle (1), und einer Maschinensteuerung für die Antriebe,
wobei die aus der Laserkanone (23) austretende Laserstrahlung (13) auf die Bearbeitungsfläche (81) gerichtet ist und in mehreren nebeneinander liegenden Bearbeitungsspuren (224) auf der Bearbeitungsfläche (81) auftrifft, und wobei zur Veränderung eines Spurbabstands der Bearbeitungsspuren (224) auf der Bearbeitungsfläche (81) die Laserkanone (23) um ihre optische Achse drehbar ist.



(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	19 27 323	A1
DE	40 00 166	A1
DE	195 11 393	A1
DE	196 03 111	A1
DE	196 03 704	A1
DE	198 40 936	A1
DE	29 816 110	U1
GB	2 154 364	A
US	5 337 325	A
US	5 430 816	A
US	5 416 298	A
EP	0 473 973	B1
WO	95/ 16 294	A1

HÜLSBUSCH, W.: Der Laser in der
Druckindustrie. Verlag W. Hülsbusch, Konstanz,
1990, ISBN: 3980264300.

ZELLMER, H.: Leistungsskalierung von
Faserlasern. Universität Hannover, Fachbereich
Physik, 20.6.1996.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Materialbearbeitung mittels Laserstrahlung und deren Verwendung.

[0002] Bei der Materialbearbeitung mit gebündelten Energiestrahlen, wie beispielsweise Elektronenstrahlen oder Laserstrahlen, gibt es Anwendungsfälle, bei denen Strukturen erzeugt werden müssen, die hohe Anforderungen an den gebündelten Energiestahl bezüglich seiner Strahlgeometrie und der Fokussierbarkeit des Strahls stellen. Gleichzeitig wird aber eine große Stahlleistung benötigt.

[0003] Ein typischer Fall, bei dem äußerst feine Strukturen auf einer Bearbeitungsfläche erzeugt werden müssen, ist die Herstellung von Druckformen, sei es für Tiefdruck, Offsetdruck, Hochdruck, Siebdruck oder Flexodruck oder sonstige Druckverfahren. Bei der Herstellung von Druckformen ist es erforderlich, äußerst feine Strukturen auf der Oberfläche der Druckformen zu erzeugen, da mittels der Oberfläche der Druckformen hochaufgelöste Bildinformation wie Text, Rasterbilder, Grafiken und Linienmuster (Line-work) wiedergegeben werden sollen.

[0004] Die US 5 430 816 A offenbart eine Anordnung zur Materialbearbeitung, bei der eine Bearbeitungsfläche auf einem drehbar gelagerten, von einem Antrieb in Rotation gesetzten Druckzylinder mit einem Laser bearbeitet wird, um Näpfchen in der Bearbeitungsfläche auszuheben. Zu diesem Zweck ist ein Schlitten mit einem Lasergravurkopf einer Laserstrahlungsquelle von einem Vorschubantrieb auf einer Führung entlang des Druckzylinders axial verschiebbar. Als Laserstrahlungsquelle wird ein einziger Laser verwendet, bei dem es sich um einen cw-Laser mit einem polarisierten Ausgangsstrahl handelt. Zur Formung der Laserstrahlung auf der Bearbeitungsfläche umfasst die Anordnung eine optische Einheit und eine Modulationseinheit, mit der ein Laserstrahl aus der Laserstrahlungsquelle aufgeteilt werden kann, so dass die beiden Teilstrahlen nebeneinander in zwei Bearbeitungsspuren auf der Bearbeitungsfläche auftreffen.

[0005] Die GB 2 154 364 A offenbart eine Laserstrahlungsquelle hoher Leistungsdichte und hoher Energie mit mehreren modulierbaren, diodengepumpten Faserlasern, deren Ausgänge parallel angeordnet werden können, wodurch die austretende Laserstrahlung in mehreren Spuren nebeneinander auf eine Bearbeitungsfläche auftreffen würde.

[0006] Die WO 95/16294 A offenbart eine Laserstrahlungsquelle mit mehreren nebeneinander angeordneten phasengekoppelten Faserlasern und einer optischen Einheit.

[0007] Die US 5 430 816 A offenbart eine Anordnung zur Materialbearbeitung mittels Laser, die eine Mehrzahl von optischen Fasern und eine optische Einheit umfasst. Bei den optischen Fasern handelt es sich jedoch nicht um Faserlaser.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Anordnung zur Materialbearbeitung mit Laserstrahlung und deren Verwendung zu schaffen, bei der ein Spurabstand von Laserstrahlspuren auf einer Bearbeitungsfläche einfach verändert werden kann.

[0009] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Anordnung zur Materialbearbeitung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. In den abhängigen Ansprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und eine Verwendung der erfindungsgemäßen Anordnung zur Gravur von Vertiefungen oder Näpfchen in die Bearbeitungsfläche.

[0010] Die Laserstrahlungsquelle besteht aus mehreren diodengepumpten Faserlasern, im Folgenden Faserlaser genannt, deren Ausgangsstrahlenbündel in mehreren Bearbeitungsspuren nebeneinander auf der Bearbeitungsfläche auftreffen. Diese Faserlaser können gemäß der Erfindung als Dauerstrichlaser oder als gütegeschaltete Laser, auch Q-Switch-Laser genannt, ausgeführt sein, wobei sie in vorteilhafter Weise intern oder extern moduliert werden und/oder einen zusätzlichen Modulator aufweisen. Q-Switch-Laser verfügen innerhalb des Laserresonators über einen optischen Modulator, beispielsweise einen akustooptischen Modulator, der im geschlossenen Zustand den Lasereffekt bei weiterhin vorhandener Pumpstrahlung unterbricht. Dadurch wird innerhalb des Laserresonators Energie gespeichert, die beim Öffnen des Modulators auf ein Steuersignal hin als kurzer Laserimpuls hoher Leistung abgegeben wird. Q-Switch Laser haben den Vorteil, daß sie kurze Pulse hoher Leistung aussenden, was kurzzeitig zu einer hohen Leistungsdichte führt. Es wird im gepulsten Betrieb durch die kurzzeitigen Unterbrechungen im Bearbeitungsvorgang eine vorteilhafte Abführung des geschmolzenen und verdampften Materials ermöglicht. Man kann statt der Schaltung der Güte auch mittels interner oder externer Modulation einen gepulsten Betrieb erzeugen.

[0011] Weiter ist besonders vorteilhaft, daß die Tiefe des ausgehobenen Näpfchens unabhängig von seiner Form und Größe durch die Laserleistung bestimmt werden kann.

[0012] Weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung gegenüber den bekannten Laserstrahlungsquellen bestehen darin, daß das Einkoppeln der Strahlungsleistung von einem Festkörperlaser in eine Lichtleitfaser entfallen kann, aber der Ausgang des Faserlasers beugungsbegrenztes Licht liefert, das gemäß der Erfindung auf unter 10 µm Fleckdurchmesser fokussiert

werden kann, wodurch eine extrem hohe Leistungsdichte bei größtmöglicher Schärfentiefe erreicht wird.

[0013] Bei einer herkömmlichen Anordnung mit Festkörperlasern liegt die Größe des Bearbeitungsflecks im Bereich von etwa 100 µm. Es ergibt sich also bei der vorliegenden Erfindung eine um den Faktor 100 verbesserte Leistungsdichte und eine um den Faktor 100 verbesserte Gestaltungsmöglichkeit in der Fläche des Bearbeitungsflecks.

[0014] Durch die hohe Präzision und durch den sehr fein gestaltbaren Bearbeitungsfleck lassen sich sehr feine Raster, u. a. auch die stochastischen, auch frequenzmodulierten Raster (FM-Raster) genannt, erzeugen und damit sehr glatte Kanten in Linen und Schriftzeichen wirtschaftlich herstellen, so daß der Tiefdruck dem Offsetdruck in der Druckqualität nicht länger unterlegen sein wird.

[0015] Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß der Wirkungsgrad einer solchen Anordnung mit Fiberlasern wesentlich höher ist, als der Wirkungsgrad von Festkörperlasern, denn für Fiberlaser werden Absorptionswirkungsgrade von über 60% erreicht, die bei herkömmlichen diodengepumpten Festkörperlasern nur bei etwa bei der Hälfte liegen und bei lampengepumpten Festkörperlasern noch geringer sind.

[0016] Desweiteren ergibt sich bei einer Mehrfachanordnung von Lasern der Vorteil, daß der Ausfall eines Lasers weniger kritisch ist, als bei einer einkanaligen Anordnung.

[0017] Ein weiterer Vorteil der Fiberlaser ist ihre deutlich geringere Neigung zu Oszillationen, wenn Energie zurück in den Laser gelangt. Gegenüber herkömmlichen Festkörperlasern weisen Fiberlaser in ihrer Übertragungsfunktion eine um eine Größenordnung geringere Resonanzüberhöhung auf, was sich im Betrieb sehr positiv bewährt hat. Bei der Materialbearbeitung kann man nämlich nicht immer verhindern, daß Energie von der Bearbeitungsstelle zurück in den Laser reflektiert wird, weil das schmelzende Material explosionsartig in nicht vorhersagbare Richtungen geschleudert wird und dabei durch den Laserstrahl fliegt, bevor es durch besondere Maßnahmen, die in einer Ausführungsform der Erfindung dargelegt sind, entfernt und unschädlich gemacht werden kann.

[0018] Die erfindungsgemäße Anordnung zur Materialbearbeitung kann auch für andere Arten der Materialbearbeitung einer Bearbeitungsfläche auf einer Trommel eingesetzt werden, bei denen es auf hohe Leistungsdichte, hohe Energie und große Präzision oder auch auf hohe optische Auflösung ankommt. Neben der Gravur von Tiefdruckzylindern mit einer Kupferoberfläche können andere Materialien an Zylinderoberflächen wie z. B. alle Metalle, Keramik,

Glas, Halbleitermaterialien, Gummi oder Kunststoffe bearbeitet werden. Außerdem können neben unbeschichteten auch mit Masken beschichtete Druckzylinder mit hoher Geschwindigkeit und mit hoher Auflösung für den Offset-, Hoch-, Sieb-, Flexodruck und alle anderen Druckverfahren hergestellt bzw. bearbeitet werden. Beispielsweise können ebenfalls die für den Druck sehr hoher Auflagen im Offsetdruck verwendeten Offsetdruckplatten mit Metallbeschichtung (Bimetallplatten) und ähnliche Materialien umweltfreundlich bebildert werden, was bisher nur mittels Ätzung möglich war.

[0019] Durch die hohe Leistungsdichte der erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle bedingt, ist es auch möglich, Chrom direkt zu bearbeiten. Damit können beispielsweise Druckzylinder aus Kupfer für den Tiefdruck bereits vor der Lasergravur verchromt werden, was nach der Gravur einen Arbeitsgang einspart und der Aktualität zugute kommt. Da auch das Ausdrucksverhalten eines in Kupfer gravierten Näpfchens besser ist, als das eines verchromten Näpfchens, und sein Volumen präziser ist, ergibt dieses Verfahren neben der hohen Standzeit durch die verbleibende Chromschicht und der verbesserten Aktualität auch noch bessere Druckergebnisse.

[0020] Die Anwendung der erfindungsgemäßen Anordnung ist aber nicht auf Anwendungen in der Drucktechnik beschränkt, sondern sie kann überall dort eingesetzt werden, wo es darauf ankommt, mit Lasern bei hoher Auflösung und hoher Geschwindigkeit durch Energieeinstrahlung Material an der Oberfläche einer rotierenden Trommel abzutragen oder in seinen Eigenschaften zu verändern. So können zum Beispiel die bereits erwähnten Texturwalzen auch mit der erfindungsgemäßen Anordnung hergestellt werden. Weiterhin können die Muster von Leiterbahnen für Leiterplatten inklusive der Bohrungen für die Bauelemente vorzugsweise für mehrlagige Leiterplatten durch Abtragen des Kupferlaminats und Stehenlassen der Leiterbahnen und durch Abtragen von Kupferlaminat und Träger an den Stellen der Bohrungen erzeugt werden.

[0021] Dabei werden die Laserstrahlen in mehreren nebeneinander liegenden Bearbeitungsspuren auf die Bearbeitungsfläche geführt und über das zu bearbeitende Material gelenkt, das sich auf einer rotierenden Trommel befindet, an der die Laserkanone relativ vorbeigeführt wird.

[0022] Ein erheblicher Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung ist, daß sie ein geringes Volumen hat und über eine flexible Verbindung, nämlich die Laserfasern oder daran angeschlossene Fasern zwischen der Pumpquelle und dem Austritt der Strahlung am Bearbeitungsort verfügt und dadurch alle denkbaren Betriebslagen der Laserstrahlungsquelle oder ihres Strahlungsaustritts zuläßt. Deshalb gibt es auch für

die räumliche Anordnung der Bearbeitungsfläche keine Einschränkungen, da sie in einer beliebigen Lage im Raum angeordnet werden können.

[0023] Die Erfindung wird im folgenden anhand der [Fig. 1](#) bis [Fig. 44a](#) näher erläutert. Es zeigen:

[0024] [Fig. 1](#) eine Prinzipdarstellung der Laserstrahlungsquelle,

[0025] [Fig. 2](#) eine Prinzipdarstellung eines Fiberlasers (Stand der Technik),

[0026] [Fig. 2a](#) eine verkürzte Darstellung der Fiber des Fiberlasers (Stand der Technik),

[0027] [Fig. 3](#) einen Querschnitt durch eine Anordnung zur Materialbearbeitung mit einer erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle,

[0028] [Fig. 4](#) eine Darstellung einer Laserkanone zu der erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle mit einer Mehrfachanordnung von Fiberlasern,

[0029] [Fig. 4a](#) eine perspektivische Darstellung zu der [Fig. 4](#),

[0030] [Fig. 4b](#) eine Variante zur [Fig. 4](#),

[0031] [Fig. 4c](#) eine weitere Variante zu [Fig. 4](#) und [Fig. 4b](#),

[0032] [Fig. 5](#) ein Beispiel für ein nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstück (Terminator) für die Auskopplung der Strahlung aus einer Faser bzw. der Fiber eines Fiberlasers,

[0033] [Fig. 5a](#) ein Beispiel einer Mehrfachanordnung für mehrere Abschlußstücke,

[0034] [Fig. 5b](#) ein nicht zur Erfindung gehörendes Beispiel für ein Abschlußstück mit Justierschrauben,

[0035] [Fig. 5c](#) einen Querschnitt durch das Abschlußstück gemäß [Fig. 5b](#) im Bereich der Justierschrauben,

[0036] [Fig. 6](#) ein Beispiel eines nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstücks mit kugelförmigen Justierelementen,

[0037] [Fig. 6a](#) einen Querschnitt durch das Abschlußstück gemäß [Fig. 6](#) im Bereich der kugelförmigen Justierelemente,

[0038] [Fig. 7](#) ein Beispiel einer Ausführung eines nicht zur Erfindung gehörenden Abschlußstücks mit einer konischen Passung zum Einsatz in eine Fassung,

[0039] [Fig. 8](#) ein Beispiel für eine Mehrfachfassung für mehrere nicht zur Erfindung gehörende Abschlußstücke,

[0040] [Fig. 8a](#) die rückwärtige Befestigung der Abschlußstücke gemäß [Fig. 8](#),

[0041] [Fig. 9](#) ein Beispiel für eine nicht zur Erfindung gehörende Ausführungsform mit quadratischem Querschnitt,

[0042] [Fig. 9a](#) ein Querschnitt durch das nicht zur Erfindung gehörende Abschlußstück gemäß [Fig. 9](#),

[0043] [Fig. 10](#) ein Beispiel für ein nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstück mit rechteckförmigem Querschnitt und einer trapezförmigen Draufsicht,

[0044] [Fig. 10a](#) einen Längsschnitt durch das Abschlußstück gemäß [Fig. 10](#),

[0045] [Fig. 10b](#) einen Querschnitt durch das Abschlußstück gemäß [Fig. 10](#),

[0046] [Fig. 11](#) ein Beispiel für ein nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstück mit trapezförmigem Querschnitt,

[0047] [Fig. 11a](#) ein Beispiel für ein nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstück mit dreieckigem Querschnitt,

[0048] [Fig. 12](#) ein Beispiel für ein nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstück mit wabenförmigem Querschnitt,

[0049] [Fig. 13](#) eine modulare Ausführung der Fiber des Fiberlasers gemäß [Fig. 1](#),

[0050] [Fig. 14](#) ein nicht zur Erfindung gehörendes Beispiel für die Einkopplung der Pumpenergie in die Fiber des Fiberlasers gemäß [Fig. 13](#),

[0051] [Fig. 15](#) ein nicht zur Erfindung gehörendes Beispiel für einen Fiberlaser mit zwei Ausgängen,

[0052] [Fig. 16](#) ein nicht zur Erfindung gehörendes Beispiel zum Zusammenführen zweier Fiberlaser,

[0053] [Fig. 17](#) eine schematische Darstellung des Strahlengangs durch einen akustooptischen Ablenker bzw. Modulator,

[0054] [Fig. 18](#) das Ausblenden von nicht gewünschten Teilstrahlen eines akustooptischen Ablenkers bzw. Modulators,

[0055] [Fig. 18a](#) eine Anordnung mit einem elektrooptischen Modulator,

[0056] [Fig. 19](#) eine Draufsicht auf einen vierkanaligen akustooptischen Modulator,

[0057] [Fig. 19a](#) einen Schnitt durch den Modulator nach [Fig. 19](#),

[0058] [Fig. 20](#) einen prinzipiellen Strahlengang für eine Draufsicht zu [Fig. 4](#),

[0059] [Fig. 21](#) einen prinzipiellen Strahlengang für eine Draufsicht zu [Fig. 4b](#),

[0060] [Fig. 22](#) einen prinzipiellen Strahlengang für eine Draufsicht zu [Fig. 4c](#),

[0061] [Fig. 23](#) einen Strahlengang für nicht zur Erfindung gehörende Abschlußstücke, die unter einem Winkel zueinander angeordnet sind,

[0062] [Fig. 24](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Variante der [Fig. 23](#), die einen mehrkanaligen akustooptischen Modulator enthält,

[0063] [Fig. 24a](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Variante zu [Fig. 24](#),

[0064] [Fig. 25](#) eine Zwischenabbildung zur Anpassung der Fiberlaser bzw. ihrer nicht zur Erfindung gehörenden Abschlußstücke beispielsweise an den Modulator,

[0065] [Fig. 26](#) das nicht zur Erfindung gehörende Zusammenführen von zweimal vier Spuren der Strahlenbündel aus Abschlußstücken mittels einer Streifenspiegelanordnung,

[0066] [Fig. 26a](#) eine Draufsicht zur [Fig. 26](#),

[0067] [Fig. 27](#) eine Ansicht eines nicht zur Erfindung gehörenden Streifenspiegels,

[0068] [Fig. 27a](#) eine Schnittzeichnung durch den Streifenspiegel nach [Fig. 27](#),

[0069] [Fig. 27b](#) ein weiteres nicht zur Erfindung gehörendes Beispiel für einen Streifenspiegel,

[0070] [Fig. 28](#) das nicht zur Erfindung gehörende Zusammenführen von zweimal vier Spuren der Strahlenbündel aus Abschlußstücken mittels eines wellenlängenabhängigen Spiegels,

[0071] [Fig. 28a](#) eine Draufsicht zur [Fig. 28](#),

[0072] [Fig. 29](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Anordnung von mehreren Abschlußstücken in mehreren Spuren und in mehreren Ebenen,

[0073] [Fig. 30](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Anordnung von mehreren Abschlußstücken in einem Bündel,

[0074] [Fig. 31](#) eine Schnittzeichnung durch die Strahlenbündel aus den Abschlußstücken der Fiberlaser F1 bis F3 gemäß [Fig. 29](#) oder [Fig. 30](#),

[0075] [Fig. 32](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Anordnung mit mehreren Abschlußstücken in mehreren Spuren und mehreren Ebenen mit einer Zylinderoptik zur Anpassung beispielsweise an den Modulator,

[0076] [Fig. 33](#) eine Variante der [Fig. 32](#),

[0077] [Fig. 34](#) ein Mundstück für die Laserkanone mit Anschlüssen für Druckluft und zur Absaugung des vom Strahl freigesetzten Materials,

[0078] [Fig. 35](#) eine Verdrehung der Laserkanone zur Einstellung des Spurabstandes,

[0079] [Fig. 36](#) eine Darstellung zur Erzeugung von vier Spuren mit einem akustooptischen Mehrfachablenker bzw. -modulator,

[0080] [Fig. 36a](#) eine räumliche Darstellung eines akustooptischen Mehrfachablenkers bzw. -modulators,

[0081] [Fig. 37](#) eine Darstellung zur Erzeugung von Mehrfachspuren mit Hilfe eines akustooptischen Mehrfachablenkers bzw. -modulators,

[0082] [Fig. 38](#) eine vorteilhafte nicht zur Erfindung gehörende Anordnung zur Vermeidung von Rückreflexionen in die Laser,

[0083] [Fig. 39](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Linse, die von einem Kühlmittel umflossen wird,

[0084] [Fig. 39a](#) einen Schnitt durch eine Fassung für die Objektivlinse,

[0085] [Fig. 40](#) einen nicht zur Erfindung gehörenden Fiberlaser oder eine Faser, die an ihrem Austrittsende in ihrem Querschnitt deutlich reduziert worden sind,

[0086] [Fig. 40a](#) eine Draufsicht auf das Ende des Fiberlasers oder der Faser nach [Fig. 40](#),

[0087] [Fig. 41](#) eine nicht zur Erfindung gehörende Anordnung von Fiberlasern oder Fasern gemäß [Fig. 40](#) in mehreren Spuren und Ebenen,

[0088] [Fig. 42](#) eine weitere nicht zur Erfindung gehörende Ausführungsform der Laserstrahlungsquelle,

[0089] [Fig. 42a](#) eine weiterführende nicht zur Erfindung gehörende Ausführungsform nach [Fig. 42](#),

[0090] [Fig. 42b](#) ein Schnittzeichnung der [Fig. 42a](#),

[0091] [Fig. 42c](#) eine Darstellung eines nicht zur Erfindung gehörenden Roboters,

[0092] [Fig. 43](#) eine Flachbett-Anordnung mit der erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle,

[0093] [Fig. 43a](#) eine Ergänzung zu [Fig. 43](#),

[0094] [Fig. 43b](#) eine Schnittzeichnung durch eine Anordnung zur Entfernung des bei der Bearbeitung freigesetzten Materials,

[0095] [Fig. 44](#) eine Hohlbett-Anordnung mit der erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle und

[0096] [Fig. 44a](#) eine Ergänzung zu [Fig. 44](#).

[0097] In [Fig. 1](#) ist eine Laserstrahlungsquelle **1** dargestellt, die aus mehreren, erfindungsgemäß vorzugsweise als Module ausgeführten, diodengepumpten Fiberlasern (Faserlaser) (**2**) besteht, die von einer vorzugsweise modularen Versorgung **32** mit elektrischer Energie beaufschlagt werden, die teilweise in Laserstrahlung umgesetzt wird. Weiterhin ist eine Steuerung **33** vorgesehen, über die die Modulation der Strahlung vorgenommen wird und die für das Zusammenwirken der Laserstrahlungsquelle mit ihrer Peripherie sorgt. Die Ausgangsstrahlen der Laser treten am Strahlungseingang **9** in eine optische Einheit **8** ein und am Strahlungsausgang **10** aus der optischen Einheit aus. Die Aufgabe der optischen Einheit **8** ist die Formung der Laserstrahlung zu Bearbeitungsflecken **24** auf einer Bearbeitungsfläche **81**.

[0098] In den [Fig. 2](#) und [Fig. 2a](#) wird der prinzipielle Aufbau einer Fiberlaser-(auch Faserlaser genannt)Anordnung **2** gezeigt. In [Fig. 2](#) wird die Energie einer Pumpquelle wie z. B. einer Laserdiode, hier Pumpquelle **18** genannt, über eine Einkoppeloptik **3** zu einem geeigneten Pumpfleck **4** geformt und in die Laserfaser **5** eingekoppelt. Solche Pumpquellen sind z. B. in der DE 196 03 704 A1 beschrieben. Typische Pumpquerschnitte der Laserfasern liegen etwa zwischen 100 µm und 600 µm bei einer numerischen Apertur von etwa 0,4. Die Laserfaser **5** ist auf der Einkoppelseite **6** mit einem Einkoppelspiegel **7** versehen, der die Pumpstrahlung ungehindert durchläßt, für die Laserstrahlung aber eine 100%ige Reflexion aufweist. Der Einkoppelspiegel **7** kann mit einer geeigneten Halterung oder durch Kleben an dem Faserende befestigt sein, er kann aber auch durch direktes Aufdampfen einer geeigneten Schicht, wie sie bei Einkoppelspiegeln für Laser verwendet wird, auf das Faserende realisiert werden. Auf der Auskoppelseite **11** der Laserfaser **5** ist ein für die Laser-

strahlung teildurchlässiger Auskoppelspiegel **12** angebracht, durch den die Laserstrahlung **13** ausgekoppelt wird. In vorteilhafter Weise weist der Auskoppelspiegel für die Pumpstrahlung eine 100%ige Reflexion auf. Hierdurch wird die restliche Pumpstrahlung wieder zurück in die Lichtleitfaser reflektiert, was vorteilhaft ist, da die Pumpenergie besser ausgenutzt wird und außerdem nicht bei der Anwendung der Laserstrahlung stört. Der Auskoppelspiegel kann wie beim Einkoppelspiegel, ebenfalls durch Aufdampfen hergestellt werden.

[0099] In [Fig. 2a](#) ist der Einkoppelvorgang der Pumpstrahlung in den Pumpquerschnitt **14** der Laserfaser **5** näher dargestellt. Die Energie im Pumpfleck **4** regt auf ihrem Weg durch die Faser die Laserstrahlung im Kern **15** der Laserfaser **5** an. Der Pumpkern **16** ist von einem Mantel **17** umgeben. Der etwa 5 µm bis 10 µm starke Kern der Laserfaser ist vorwiegend mit Seltenen Erden dotiert.

[0100] Der relativ große Pumpquerschnitt **14** vereinfacht das Einkoppeln der Pumpenergie und ermöglicht den Einsatz einer einfach lösbaren Verbindung zwischen Pumpquelle und Laserfaser, wie in den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) gezeigt wird. Dabei kann das pumpquellenseitige Abschlußstück der Laserfaser in vorteilhafter Weise baugleich sein mit dem Abschlußstück auf der Auskoppelseite, es muß es aber nicht. Eine präzise Steckverbindung zwischen Pumpquelle und Laserfaser bietet erhebliche Vorteile bei der Fertigung der Fiberlaser und im Servicefall. Die Laserfaser kann aber auch fest mit der Pumpquelle zu einem Lasermodule verbunden sein. Infolge des gezielt hergestellten, sehr geringen Faserkerndurchmessers liefert der Fiberlaser am Austritt eine praktisch beugungsbegrenzte Laserstrahlung **13**.

[0101] Wie unter [Fig. 3](#), [Fig. 15](#) und [Fig. 16](#) näher beschrieben, kann man an den aktiven Ausgang von Fiberlasern auch passive Fasern **28** ankoppeln.

[0102] In [Fig. 3](#) ist ein Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Ausführung einer Anordnung zur Materialbearbeitung mit der erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle dargestellt. In einem Gehäuse **21** ist eine Trommel **22** drehbar gelagert und wird von einem nicht dargestellten Antrieb in Rotation versetzt. Auf einem ebenfalls nicht dargestellten Prisma befindet sich eine Laserkanone **23**, die in axialer Richtung mittels eines nicht dargestellten Schlittens an der Trommel entlang geführt wird.

[0103] Die aus der Laserkanone **23** austretende Laserstrahlung trifft am Bearbeitungsort im Bearbeitungsfleck **24** auf die Oberfläche der Trommel. Es kann sowohl die Oberfläche der Trommel bearbeitet werden, als auch ein auf die Trommeloberfläche aufgespanntes Material. In die Laserkanone **23** werden die Fiberlaser, deren Laserfasern **5** jeweils zu einer

luftdurchströmten Spule **25** aufgewickelt sind, mittels der Abschlußstücke **26**, **94** eingespeist. Es können aber auch an die Fiberlaser passive Singlemodefasern oder andere passive Lichtleitfasern, kurz Fasern **28** genannt, angeschweißt oder auf eine andere Weise angekoppelt sein, bevor die Abschlußstücke **26**, **94** angebracht werden, wie in den [Fig. 15](#) und [Fig. 16](#) beschrieben wird. Die Pumpquellen **18** der Fiberlaser sind auf einem Kühlkörper **27** angebracht, der die Verlustwärme über ein Kühlsystem **31** ableitet. Bei dem Kühlsystem **31** kann es sich um einen Wärmeaustauscher handeln, der die Verlustwärme an die umgebende Luft abgibt, es kann sich aber auch um ein Kühlaggregat handeln. Auch die Laserkanone **23** kann an das Kühlsystem angeschlossen sein, was aber nicht dargestellt ist. Auf dem Kühlkörper befindet sich vorzugsweise die Treiberelektronik für die der Pumpquellen **18**, die zu der nicht weiter dargestellten Versorgung **32** gehören. Eine Maschinensteuerung ist für die Antriebe vorgesehen, aber in [Fig. 3](#) nicht dargestellt. Der Aufbau der Pumpquellen, Fiberlaser und zugehöriger Leistungselektronik ist vorzugsweise modular ausgeführt, so daß zu den einzelnen Fiberlasern entsprechende Pumpquellen und getrennte oder gruppenweise zusammengefaßte Leistungsmodule der Treiberelektronik gehören, die über ein Bussystem miteinander verbunden sein können. Wie in [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) näher erläutert, jedoch nicht zur Erfindung gehörend, können die Laserfasern **5** und die Pumpquellen **18** über eine lösbare Verbindung miteinander verbunden sein. Es ist auch möglich, jedoch nicht zur Erfindung gehörend, einen geringen Anteil der Pumpstrahlung beispielsweise durch eine geringfügige Verletzung des Mantels **14** aus der Laserfaser **5** auszukoppeln und vorzugsweise über eine Lichtleitfaser auf eine Meßzelle zu leiten, um daraus ein Signal zu bereiten, das zur Steuerung bzw. Regelung der Pumpstrahlung verwendet werden kann.

[0104] In der Steuerung **33** werden die Modulationssignale für die Laserstrahlung erzeugt und für das Zusammenwirken der Laserstrahlungsquelle mit der Maschinensteuerung und mit der Versorgung **32** sowie für den Ablauf der Kalibriervorgänge sowie der Steuer- und Regelvorgänge gesorgt. Eine nicht dargestellte Sicherheitsschaltung schaltet beispielsweise die Pumpquellen dauerhaft ab, wenn Gefahr droht.

[0105] Es ist zwar in [Fig. 3](#) eine horizontal gelagerte Trommel dargestellt, da aber die Laserstrahlungsquelle in ihrer Lage völlig richtungsunempfindlich und vom Aufbau her sehr kompakt ist und zudem die Laserfasern **5** der Fiberlaser oder an die Laserfaser angekoppelte Fasern **28** beliebig verlegt werden können, kann die Trommel in jeder beliebigen Lage angeordnet sein, zum Beispiel kann die Achse der Trommel auch vertikal oder gegen die Senkrechte geneigt gelagert sein, was eine besonders kleine Standfläche ergibt. Außerdem ist hierdurch der Betrieb mehrerer Anordnungen oder eine Anlage mit mehreren

Trommeln auf der gleichen Standfläche möglich, wie sie eine Anordnung mit horizontal gelagerter Trommel benötigen würde. Dadurch können die Druckformen schneller hergestellt werden, insbesondere können alle Druckformen für einen Farbsatz in einem einzigen parallelen Durchgang erstellt werden, was besonders bezüglich der Gleichförmigkeit des Endresultats von Vorteil ist. Auch läßt sich bei einer auf kleiner Standfläche aufgebauten Anlage besser eine automatische Beschickung mit Druckformen zur Bildierung realisieren, als bei einer räumlich größeren Anlage. Es können auch mehrere Laserstrahlungsquellen oder mehrere Laserkanonen auf die gleiche Druckform gerichtet werden, um deren Erstellung zu beschleunigen. Dabei ist ein Vorteil der mehrspurigen Anordnung mit den sehr feinen und präzisen Spuren, daß sich eventuelle Nahtstellen deutlich weniger störend bemerkbar werden, als wenn mit gröberen Spuren aufgezeichnet wird. Weiterhin kann, wie unter [Fig. 37](#) beschrieben, die Lage der Spuren präzise nachgestellt werden, so daß Restfehler deutlich kleiner werden als eine einer Spurbreite.

[0106] In [Fig. 4](#) ist ein Schnitt durch ein Anwendungsbeispiel für eine Laserkanone mit sechzehn Fiberlasern, die über Abschlußstücke **26** angekoppelt sind, und mit einer Modulationseinheit, bestehend aus zwei mehrkanaligen akustooptischen Modulatoren **34** gezeigt. Die Laserkanone ist eine mehrteilige Aufnahme für die optische Einheit und enthält Fassungen **29** ([Fig. 4a](#)) mit Paßflächen für die Passungen der Abschlußstücke **26**, Mittel zum Zusammenführen der einzelnen Laserstrahlen, die Modulationseinheit, eine Übertragungseinheit zum Übertragen der Laserstrahlung, die einen Bearbeitungseffekt hervorrufen soll, auf die Bearbeitungsfläche und eine Anordnung zum Unschädlichmachen der Laserstrahlung, die keinen Bearbeitungseffekt hervorrufen soll. An der Laserkanone kann eine Anordnung zum Entfernen des von der Bearbeitungsfläche abgetragenen Materials angeordnet sein, die aber auch auf andere Weise in der Nähe der Bearbeitungsfläche angeordnet sein kann.

[0107] [Fig. 4a](#) ist eine perspektivische Darstellung zu [Fig. 4](#).

[0108] In [Fig. 4b](#) ist eine Variante zu [Fig. 4](#) gezeigt, bei der die Strahlenbündel der einzelnen Fiberlaser nicht wie in [Fig. 4](#) parallel verlaufen, sondern unter einem Winkel zueinander, was aber aus der Schnittzeichnung in [Fig. 4b](#) nicht ersichtlich ist und deshalb in den [Fig. 21](#), [Fig. 22](#) und [Fig. 24](#) näher erläutert wird.

[0109] In [Fig. 4c](#) ist eine Variante zu [Fig. 4b](#) gezeigt, die infolge einer anders ausgeführten Übertragungseinheit eine vorteilhafte, wesentlich kompaktere Bauform ermöglicht.

[0110] Es wird zunächst die [Fig. 4](#) unter Zuhilfenahme der [Fig. 4a](#) ausführlich erläutert. Diese Erläuterungen gelten sinngemäß auch für die [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#).

[0111] In einem Gehäuse **35** sind am Strahlungseintritt **9** ([Fig. 1](#)) jeweils 4 Fiberlaser F_{HD1} bis F_{HD4} , F_{VD1} bis F_{VD4} , F_{HR1} bis F_{HR4} , F_{VR1} bis F_{VR4} über die Abschlußstücke **26** mittels der Fassungen **29** in jeweils vier Spuren zu je einem Strahlenpaket nebeneinander in einer Ebene angeordnet. Die Ausführungsform der in [Fig. 4](#) verwendeten, jedoch nicht zur Erfindung gehörenden Abschlußstücke **26** ist in [Fig. 9](#) näher beschrieben. Die Abschlußstücke sollen vorzugsweise gasdicht in das Gehäuse **35** eingesetzt werden, wozu Dichtungen **36** ([Fig. 4a](#)) verwendet werden können. Es können anstelle der in den [Fig. 4](#) und [Fig. 4a](#) dargestellten Abschlußstücke auch anders geformte Abschlußstücke verwendet werden, wie sie in den [Fig. 5](#), [Fig. 5a](#), [Fig. 5b](#), [Fig. 5c](#), [Fig. 6](#), [Fig. 6a](#), [Fig. 7](#), [Fig. 9](#), [Fig. 9a](#), [Fig. 10](#), [Fig. 10a](#), [Fig. 10b](#), [Fig. 11](#), [Fig. 11a](#), und [Fig. 12](#) beschrieben sind, wenn entsprechende Fassungen **29** im Gehäuse **35** vorgesehen sind. Es können aber auch wie unter [Fig. 3](#) beschrieben, Singlemodefasern oder andere Fasern **28** an die Fiberlaser angebracht sein, bevor die Abschlußstücke **26** angebracht werden. Es kann aber auch eine nicht zur Erfindung gehörende Anordnung der Laserfasern **5** oder Fasern **28** gemäß [Fig. 40](#), [Fig. 40a](#) und [Fig. 41](#) Anwendung finden. Die Fiberlaser F_{HD1} bis F_{HD4} bzw. F_{VR1} bis F_{VR4} sollen beispielsweise eine andere Wellenlänge haben, als die Fiberlaser F_{VD1} bis F_{VD4} bzw. F_{HR1} bis F_{HR4} . Zum Beispiel sollen F_{HD1} bis F_{HD4} und F_{VR1} bis F_{VR4} eine Wellenlänge von 1100 nm haben, während F_{VD1} bis F_{VD4} bzw. F_{HR1} bis F_{HR4} eine Wellenlänge von 1060 nm haben sollen, was durch eine entsprechend Dotierung des laseraktiven Kernmaterials der Laserfaser **5** erreicht werden kann. Es können aber auch alle Fiberlaser unterschiedliche Wellenlängen aufweisen, wenn sie entsprechend zusammengestellt werden.

[0112] Wie in [Fig. 28](#) und [Fig. 28a](#) näher erläutert, aber nicht zur Erfindung gehörend, werden über wellenlängenabhängige Spiegel **37** als Mittel zum Zusammenführen die Strahlenpakete der Fiberlaser F_{HD1} bis F_{HD4} mit denen der Fiberlaser F_{VD1} bis F_{VD4} sowie die Strahlenpakete der Fiberlaser F_{VR1} bis F_{VR4} mit denen der Fiberlaser F_{HR1} bis F_{HR4} zu jeweils einem Strahlenpaket F_{D1} bis F_{D4} sowie F_{R1} bis F_{R4} ([Fig. 4a](#)) vereinigt. Es gibt auch andere Möglichkeiten, die Wellenlänge der Fiberlaser zu beeinflussen, zum Beispiel können im Bereich der Laserfaser zwischen Einkoppelspiegel **7** und Auskoppelspiegel **12** wellenlängenselektierende Elemente wie Brewsterplatten, Beugungsgitter oder Schmalbandfilter eingebracht werden. Auch ist es möglich, mindestens einen der beiden Laserspiegel **7** oder **12** mit einer solchen Spiegelschicht zu versehen, die nur für die gewünschte Wellenlänge ausreichend hoch reflektie-

rend ist. Die Ausführung der Strahlzusammenführung ist aber nicht auf die Verwendung von Fiberlasern unterschiedlicher Wellenlänge beschränkt. Neben Fiberlasern, die keine Vorzugsrichtung in der Polarisierung der abgegebenen Laserstrahlung haben, können auch Fiberlaser verwendet werden, die polarisierte Laserstrahlung abgeben, was jedoch nicht Gegenstand der Erfindung ist. Wenn man den wellenlängenabhängigen Spiegel durch einen solchen ersetzt, der so polarisationsabhängig ist, daß er eine Polarisationsrichtung durchläßt, während er die andere Polarisationsrichtung reflektiert, müssen nur zwei unterschiedlich polarisierte Lasertypen verwendet werden, um beide mittels des polarisationsabhängigen Spiegels zu vereinigen. In diesem Fall ist die Verwendung des nicht zur Erfindung gehörenden Abschlußstückes **26** nach [Fig. 9](#) mit quadratischem Querschnitt besonders geeignet, da man durch Wenden des Abschlußstücks um 90° vor der Montage in das Gehäuse **35** jeweils die eine oder die andere Polarisationsrichtung mit dem gleichen Fiberlaser erzeugen kann.

[0113] Ein besonderer Vorteil der nicht zur Erfindung gehörenden Zusammenführung mehrerer Laser zu einem einzigen Fleck, nämlich zu jedem der einzelnen Bearbeitungspunkte B_1 bis B_n (zum Beispiel B_1 bis B_4 in [Fig. 20–Fig. 22](#)) ist die Erzielung einer höheren Leistungsdichte bei vorgegebener Fleckgröße auf der Bearbeitungsfläche **81**.

[0114] Es kann auch die Laserstrahlung eines einzelnen Fiberlasers auf mehrere Abschlußstücke verteilt werden, was in [Fig. 15](#) beschrieben jedoch nicht erfindungsgemäß ist. Dies ist besonders dann von Nutzen, wenn solche Materialien bearbeitet werden sollen, die mit einer geringen Laserleistung auskommen oder wenn die Leistung eines einzelnen Fiberlasers ausreichend hoch ist. In einem solchen Fall ist es denkbar, daß eine Laserkanone **23** zu diesem Zweck nur mit 4 Abschlußstücken z. B. F_{HD1} bis F_{HD4} bestückt wird, von denen beispielsweise F_{HD1} und F_{HD2} nach [Fig. 15](#) von einem Fiberlaser und F_{HD3} und F_{HD4} von einem weiteren Fiberlaser gespeist werden. Wenn das in [Fig. 15](#) beschriebene Prinzip zweimal angewendet wird, lassen sich alle vier Spuren F_{HD1} bis F_{HD4} von einem Fiberlaser speisen, was zu einer sehr kostengünstigen Anordnung führt, zumal weitere Bauteile wie wellenlängenabhängige Spiegel und Streifenspiegel entfallen können und damit eine besonders preiswerte Ausführung der Laserstrahlungsquelle geschaffen werden kann.

[0115] Weiterhin kann man durch Weglassen von Fiberlasern bzw. Spuren je nach Bedarf die Anschaffungskosten für eine solche Anordnung senken und später je nach Bedarf Fiberlaser nachrüsten. Man kann zum Beispiel mit einem Fiberlaser und einer Spur beginnen. Die fehlenden Abschlußstücke der nicht eingesetzten Fiberlaser werden dazu durch baugleiche Abschlußstücke, die aber keine durchge-

hende Öffnung und keine Laserfaser enthalten und nur zum Verschluß dienen, ersetzt, um das Gehäuse **35** so zu verschließen, als ob es mit allen Abschlußstücken bestückt wäre.

[0116] Es kann aber auch die Laserstrahlung mehrerer Fiberlaser zusammengefaßt und in ein einzelnes Abschlußstück geleitet werden, was in [Fig. 16](#) beschrieben aber nicht erfindungsgemäß ist. Man kann zum Beispiel mit mehreren so zusammengefaßten Fiberlasern und einer Spur arbeiten, wenn man wie beschrieben die fehlenden Abschlußstücke durch baugleiche Abschlußstücke, die aber keine durchgehende Öffnung und keine Laserfaser enthalten und nur zum Verschluß dienen, ersetzt, um das Gehäuse **35** so zu verschließen, als ob es mit allen Abschlußstücken bestückt wäre.

[0117] Gleich nachdem das Strahlenbündel das jeweilige Abschlußstück verlassen hat, kann über einen Strahlteiler, der aber nicht gezeigt und nicht erfindungsgemäß ist, ein Teil der Laserstrahlung ausgekoppelt und auf eine in den Figuren nicht dargestellte nicht erfindungsgemäße Meßzelle geleitet werden, um daraus eine Meßgröße zu erzeugen, die als Vergleichswert für eine Regelung der Ausgangsleistung jedes Fiberlasers benutzt werden kann. Es kann aber auch bereits vor dem Abschlußstück Laserstrahlung aus der Laserfaser zum Gewinnen einer Meßgröße ausgekoppelt werden, was auch nicht dargestellt und nicht erfindungsgemäß ist.

[0118] Die Anzahl der Ebenen, in denen die Abschlußstücke angeordnet sind, ist nicht auf die beschriebene eine Ebene beschränkt. In den [Fig. 29](#), [Fig. 32](#), [Fig. 33](#) und [Fig. 41](#) sind z. B. Anordnungen mit 3 Ebenen angegeben. In [Fig. 38](#) ist eine Anordnung mit 2 Ebenen dargestellt.

[0119] Über je einen vierkanaligen akustooptischen Modulator **34**, dessen Wirkungsweise und Ausführungsform in den [Fig. 17](#), [Fig. 18](#), [Fig. 19](#) und [Fig. 19a](#) näher erläutert wird, werden die jeweiligen Strahlenpakete der Fiberlaser moduliert. Durch den akustooptischen Modulator **34**, der vom Prinzip her ein Ablenker ist, wird in dem dargestellten Fall die nicht erwünschte Energie aus der ursprünglichen Strahlrichtung I_0 in die Strahlrichtung I_1 abgelenkt ([Fig. 4a](#)), so daß sie später im Strahlengang einfach abgefangen und unschädlich gemacht werden kann. Die Modulation kann vorzugsweise digital erfolgen, d. h. es wird in den einzelnen Modulatorkanälen nur zwischen zwei Zuständen, nämlich "EIN" und "AUS" unterschieden, was besonders einfach zu steuern ist; sie kann aber auch analog erfolgen, indem die Laserleistung in jedem Modulatorkanal auf beliebige Werte eingestellt werden kann. Die Modulation ist nicht darauf beschränkt, daß die Energie aus der Strahlrichtung I_0 für die Bearbeitung verwendet wird und die Energie aus der Richtung I_1 un-

schädlich gemacht wird. In den [Fig. 36](#), [Fig. 36a](#) und [Fig. 37](#) sind Beispiele angegeben, in denen die abgelenkte Strahlrichtung I_1 zur Bearbeitung verwendet wird und die Energie aus der Richtung I_0 unschädlich gemacht wird. Auch kann ein geringer Teil der modulierten Strahlungsleistung der einzelnen Modulatorkanäle über einen nicht dargestellten Strahlteiler auf jeweils eine Meßzelle gegeben werden, um eine Meßgröße zu erzeugen, die als Vergleichswert in einem Regelkreis für die genaue Regelung der Laserenergie jeder Spur auf der Bearbeitungsfläche benutzt wird.

[0120] Der mehrkanalige akustooptische Modulator **34** ist vorzugsweise auf einem zylindrischen Modulatorgehäuse **41** befestigt, das verdrehbar in einer Öffnung **48** in dem Gehäuse **35** gelagert ist. Nach dem Einstellen des Modulatorgehäuses auf den erforderlichen Bragg-Winkel α_B wird das Modulatorgehäuse mittels einer Verbindung **42** fixiert. Mittels einer Dichtung **43** ist dafür gesorgt, daß jedes Modulatorgehäuse gasdicht zum Gehäuse **35** abschließt. Aus dem Modulatorgehäuse **41** ragt eine speziell präparierte Leiterplatte **171** in den inneren Raum **44** des Gehäuses **35**, über die die elektrischen Verbindungen zu den piezoelektrischen Wandlern **45** hergestellt werden. Die vorzugsweise Ausführung der Modulatoren wird in den [Fig. 19](#) und [Fig. 19a](#) ausführlicher beschrieben.

[0121] Nach dem Durchlaufen der akustooptischen Modulatoren werden die Strahlenpakete F_{D1} bis F_{D4} und F_{R1} bis F_{R4} zu einem Streifenspiegel **46** geführt, der in den [Fig. 26](#), [Fig. 26a](#), [Fig. 27](#), [Fig. 27a](#), und [Fig. 27b](#) näher beschrieben aber nicht erfindungsgemäß ist. Das Strahlenpaket F_{D1} bis F_{D4} ist bezüglich des Streifenspiegels **46** so angeordnet, daß es den Streifenspiegel unbehindert durchlaufen kann. Die Laserstrahlenbündel des Strahlenpaketes F_{R1} bis F_{R4} sind aber gegenüber dem Strahlenpaket F_{D1} bis F_{D4} um einen halben Spurb Abstand versetzt und treffen auf die streifenförmig angeordneten Streifen des Streifenspiegels. Dadurch werden sie in ihrer Richtung umgelenkt und liegen nun in einer Ebene mit den Laserstrahlbündeln F_{D1} bis F_{D4} . Damit ergibt sich nunmehr eine achtspurige Anordnung, bei der in jeder Spur außerdem noch zwei Laser verschiedener Wellenlänge überlagert sind, so daß insgesamt 16 Laser zusammengeführt worden sind und zur Wirkung kommen. Oberhalb dieser Ebene I_0 befinden sich die im akustooptischen Modulator **34** abgelenkten Strahlen I_1 . Bei einer anderen Justierung des akustooptischen Modulators **34** können die abgelenkten Strahlen auch unterhalb der Ebene von I_0 liegen, wie in den [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#) gezeigt wird.

[0122] Ein bedeutender Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung ist, daß die Symmetrieachse der Strahlenpakete F_{HD1} bis F_{HD4} und F_{D1} bis F_{D4} auf der Achse des Gehäuses **35** liegen, die durch die Boh-

zung **47** definiert ist und die Strahlachsen der zugehörigen Strahlenpakete jeweils parallel oder rechtwinklig zu dieser Achse liegen, was eine einfache und präzise Herstellung erlaubt. Es ist aber auch möglich, die Strahlenpakete unsymmetrisch und unter anderen Winkeln anzuordnen. Weiterhin ist es möglich, kleine Differenzen in der Lage der Strahlenpakete durch Verstellung der wellenlängenabhängigen Spiegel **37** und des Streifenspiegels **46** zu korrigieren. Es ist möglich, die Abschlußstücke nach der Montage in ihrer Lage und ihrer Winkelzuordnung noch nachjustieren, was aber in den Figuren nicht gezeigt ist.

[0123] Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß die Anzahl der Spuren reduziert, aber auch weiter erhöht werden kann, z. B. kann durch Aneinanderreihen von jeweils acht statt vier Abschlußstücken, die mit Fiberlasern verbunden sind, zu einem Strahlenpaket eine Verdopplung der Spurenzahl vorgenommen werden. Dazu müßten zwei 8-kanalige akustooptische Modulatoren eingesetzt werden. Es sind akustooptische Modulatoren mit 128 getrennten Kanälen auf einem Kristall erhältlich.

[0124] Ebenfalls ist es möglich, jedoch nicht erfindungsgemäß, zur Erhöhung der Leistung je Spur, die Fiberlaser in verschiedenen Ebenen anzuordnen und ihre Leistung auf der Bearbeitungsfläche zu überlagern, was in den [Fig. 29](#), [Fig. 31](#), [Fig. 32](#), [Fig. 33](#) und [Fig. 41](#) näher erläutert wird und/oder mehrere Fiberlaser in Bündeln anzuordnen, um ihre Energie auf der Bearbeitungsfläche zu überlagern, was in den [Fig. 30](#) und [Fig. 31](#) beschrieben ist.

[0125] Eine weitere, nicht zur Erfindung gehörende Möglichkeit zur Erhöhung der Zahl der Spuren ist in [Fig. 37](#) beschrieben.

[0126] Es können auch direkt modulierbare Fiberlaser eingesetzt werden, was in [Fig. 23](#) näher beschrieben wird. In diesem Fall entfallen die akustooptischen Modulatoren und es ergibt sich ein besonders einfacher Aufbau.

[0127] Der Betrieb mit mehreren Spuren von Lasern und mehreren Lasern in einer Spur ermöglicht hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten bei geringer Relativgeschwindigkeit zwischen der Laserkanone und dem Werkstück. Auch kann hiermit die Bearbeitungsgeschwindigkeit optimal an die Zeitkonstante der Wärmeableitung des Materials angepaßt werden. Bei längerer Bearbeitungszeit fließt nämlich zuviel Energie nutzlos in die Umgebung ab.

[0128] Das Gehäuse **35** ist mit einem Deckel und einer Dichtung, die beide nicht in den Figuren gezeigt sind, gasdicht verschlossen. An das Gehäuse **35** ist im Bereich der Bohrung **47** ein zylindrisches Rohr **51** angeflanscht und über eine Dichtung **52** abgedichtet. Das zylindrische Rohr enthält als Übertragungsein-

heit eine Optik, nämlich zwei Tuben **53** und **54** mit je einem optischen Abbildungssystem, die die acht Laserstrahlenbündel F_{D1} bis F_{D4} und F_{R1} bis F_{R4} am Strahlungsausstritt **10** ([Fig. 1](#)) auf die Bearbeitungsfläche im richtigen Maßstab abbilden. Es sind vorzugsweise zwei optische Abbildungssysteme hintereinander angeordnet, da sich sonst insgesamt eine sehr große Baulänge oder ein sehr geringer Abstand zwischen der Objektivlinse und der Bearbeitungsfläche ergeben würden, was beides nachteilig ist, da ein langer Strahlengang mittels Spiegel gefaltet werden müßte und ein zu geringer Abstand zwischen Objektivlinse und Bearbeitungsfläche zu einer zu großen Gefahr für die Verunreinigung der Objektivlinse führen könnte.

[0129] Der Strahlengang ist in [Fig. 4](#) als Seitenansicht dargestellt. In [Fig. 20](#) ist der prinzipielle Strahlengang als Draufsicht für das Strahlenpaket F_{HD1} bis F_{HD4} gezeigt. Die wellenlängenabhängigen Spiegel, die Modulatoren und der Streifenspiegel sind dort nicht gezeigt. In den Figuren sind vorwiegend Plankonvexlinsen dargestellt, es ist jedoch auch möglich, in allen Figuren andere Linsenformen wie z. B. bikonvexe oder konkavkonvexe Linsen oder solche mit asphärischer Form einzusetzen. Es können auch Linsensysteme, die jeweils aus mehreren Linsenkombinationen bestehen, zur Verwendung kommen.

[0130] Um die Laserenergie so effizient wie möglich zu übertragen und die Erwärmung der optischen Bauelemente in Grenzen zu halten, sind alle in den verschiedenen Ausführungen der Laserstrahlungsquelle vorkommenden optischen Flächen für den in Frage kommenden Wellenlängenbereich mit höchster Qualität entspiegelt. Die optischen Abbildungssysteme können vorzugsweise telezentrisch ausgeführt werden.

[0131] Es gibt noch weitere vorteilhafte Lösungen für die Übertragungseinheit, um die Baulänge der Übertragungseinheit zu verkürzen und dabei trotzdem einen ausreichend großen Abstand zwischen der Objektivlinse und der Bearbeitungsfläche zu erzielen, wie unter anderem in den [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#) noch näher dargestellt wird. Die Linsen **55** und **56** können durch Verschraubungen oder durch Verklebungen mit dem Tubus **53** verbunden sein, sie können aber vorzugsweise an ihren Rändern metallisiert und an den Tubus **53** gelötet sein. Das gleiche gilt für die Linsen **57** und **61** in dem Tubus **54**. Damit ergibt sich eine gasdichte Abdichtung der Linsen und eine gute Wärmeübertragung von den Linsen zu den Tuben. Der Tubus **54** ist vorzugsweise mit einer Dichtung **62** gegenüber dem zylindrischen Rohr **51** gasdicht abgeschlossen. Für den Raum **63** gelten bezüglich der Dichtheit und Sauberkeit die gleichen Bedingungen, wie für den Raum **44** und ebenso für die Räume **64** und **65** innerhalb der Tuben **53** und **54**. Die Kammern **66** und **67** sind vorzugsweise über Bohrungen **71** mit

den Räumen **44** und **63** verbunden. Die Tuben **53** und **54** können vorzugsweise Öffnungen **72** aufweisen.

[0132] Eine nicht zur Erfindung gehörende Abfanganordnung **73** zum Unschädlichmachen der Laserstrahlung, die auf der Bearbeitungsfläche keinen Bearbeitungseffekt hervorrufen soll und die einen hoch reflektierenden Spiegel **74** und eine Zerstreuungslinse (Konkavlinse) **75** aufweist, ragt in den Raum **63** hinein. Das Prinzip der Abfanganordnung **73** ist in [Fig. 18](#) näher beschrieben. Die Abfanganordnung **73** ist mit einer Dichtung **76** eingesetzt, und die Konkavlinse **75**, die auch durch ein anderes optisches Element, beispielsweise eine Glasplatte ersetzt werden kann, in die Abfanganordnung eingeklebt oder vorzugsweise in ihrer Randzone metallisiert und zur besseren Wärmeableitung an die Abfanganordnung angelötet. Damit ist der Raum **63** gasdicht von der Umgebung abgeschlossen. Durch die beschriebenen Maßnahmen ergibt sich, daß der gesamte Innenraum der Laserkanone gasdicht von der Umgebung abgeschlossen ist. Die Räume **44**, **63**, **64** und **65** und die Kammern **66** und **67**, also der gesamte Innenraum der Laserkanone, können vorzugsweise evakuiert oder mit einem Schutzgas gefüllt werden. Die Räume und Kammern sollen möglichst frei von solchen Komponenten sein, die Gase oder Partikel absondern, weil sich damit Schmutz auf den hochbelasteten optischen Flächen absetzen könnte, was zum frühzeitigen Ausfall der Anordnung führen würde. Deshalb wird auch an die zu verwendenden Dichtungen die Forderung gestellt, daß sie keine Partikel oder Gase absondern. Bei der Montage wird auf größte Reinheit der zu montierenden Teile und der Umgebung Wert gelegt, bis die Laserkanone verschlossen ist. Nach dem Verschließen der Laserkanone **23** kann über das Ventil **77** eine Evakuierung des gesamten Innenraumes vorgenommen werden oder ein Schutzgas eingefüllt werden. Der Vorteil einer Füllung des Innenraumes mit Schutzgas ist, daß sie einfacher erneuert werden kann, indem man im Betrieb an das Ventil **77** eine nicht gezeigte Gasflasche über ein Druckminderventil anschließt, aus der bei Bedarf Gas in das Gehäuse nachgefüllt werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, daß, wenn zum Tausch eines Fiberlasers ein Abschlußstück aus dem Gehäuse entfernt und durch ein anderes ersetzt werden soll oder wenn das Gehäuse bzw. das zylindrische Rohr aus irgend einem Grund beim Anwender geöffnet werden muß, man während des Vorgangs ständig eine geringe Menge des Schutzgases durch das Gehäuse strömen lassen kann, um so das Eindringen von Schmutzpartikeln in den geschützten Raum zu verhindern. Man kann auch ständig eine geringe Menge des Gases durch das Gehäuse strömen lassen und durch Öffnungen, vorzugsweise in der Nähe der Objektivlinse, so entweichen lassen, so daß diese Strömung auch eine Verunreinigung der Objektivlinse durch solche Schmutzpartikel verhindert, die bei dem Bearbeitungsvorgang freigesetzt werden

([Fig. 39a](#)). Man kann auch auf die Evakuierung oder die Schutzgasfüllung verzichten, wenn man eine kürzere Lebensdauer der Laserstrahlungsquelle in Kauf nimmt.

[0133] Vorteilhaft in der Anordnung nach [Fig. 4](#) ist, daß der Winkel zwischen den Strahlenpaketen der ursprünglichen Strahlrichtung I_0 des akustooptischen Modulators und der abgelenkten Strahlrichtung I_1 durch das Abbildungssystem aus den Linsen **55** und **56** deutlich vergrößert wird, so daß es einfach ist, mittels des hochreflektierenden Spiegels **74** an der Abfanganordnung **73** das unerwünschte Strahlenpaket der abgelenkten Strahlrichtung abzufangen. Der Spiegel **74** ist vorzugsweise aus Metall gefertigt und mit einer hoch reflektierenden Schicht versehen, um die Erwärmung infolge absorbierter Laserenergie gering zu halten. Er ist zur besseren Wärmeableitung über einen kräftigen Flansch der Abfanganordnung **73** mit dem Rohr **51** verbunden. Man kann aber auch auf die Abfanganordnung verzichten, wenn man anstelle des hoch reflektierenden Spiegels ein optisches Bauelement wie z. B. eine Linse einfügt, das die abzufangende Laserstrahlung geringfügig so in ihren optischen Eigenschaften verändert, daß der Fokus der abgelenkten Strahlung von dem Fokus der zur Materialbearbeitung verwendeten Strahlung verschieden ist. Würde man nun die abzufangende Strahlung mit auf die Bearbeitungsfläche leiten, würde die abzufangende Strahlung nicht die erforderliche Leistungsdichte haben, um Material abzutragen, sondern nutzlos absorbiert und reflektiert werden. Der Vorteil der Anordnung nach [Fig. 4](#) besteht darin, daß an die optischen Bauelemente in den beiden Tuben geringe Anforderungen gestellt werden. Man könnte sogar beide Tuben völlig gleich ausführen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die Achsen der Abschlußstücke **26** parallel zueinander liegen. Der Abstand zwischen der Objektivlinse **61** und der Bearbeitungsfläche **81** darf nicht zu klein sein, damit wegfliegende Partikel aus der Materialoberfläche nicht auf die Objektivlinse gelangen. Verschmutzt sie nämlich, dann absorbiert sie hindurchtretende Laserenergie und wird zerstört und damit unbrauchbar. Um die Verschmutzung zu verhindern, ist zwischen der Objektivlinse **61** und der Bearbeitungsfläche **81** ein besonderes Mundstück **82** angeordnet, das unter [Fig. 34](#) näher beschrieben ist.

[0134] Die Laserkanone **23** der Laserstrahlungsquelle ist innerhalb der Anordnung zur Materialbearbeitung ([Fig. 3](#)) beispielsweise auf einem Prisma **83** um die optische Achse, die mit der Achse des zylindrischen Rohres **51**, **95** identisch ist, drehbar und in Richtung der optischen Achse verschiebbar gelagert und mit einem Spannband **85** oder mit mehreren Spannbändern in ihrer Lage fixiert. Dadurch ist eine genaue Zustellung der Laserkanone zu der Bearbeitungsfläche **81** möglich. Außerhalb des Prismas **83** befindet sich eine Platte **86**, die Öffnungen **87**

aufweist, durch die ein Kühlmittel gepumpt werden kann. Die Aufgabe dieser Platte **86** ist es, die aus dem Strahlengang der Übertragungseinheit abgefangene Laserenergie aufzufangen und abzuleiten, was in [Fig. 18](#) näher dargestellt ist. Zwischen der Platte **86** und dem Rohr **51**, **95**, **113** befindet sich eine Wärmedämmung, die aber nicht in den Figuren dargestellt und auch nicht erfindungsgemäß ist. Die Platte ist über isolierende Flansche **91** mit dem Rohr **51**, **95**, **113** verbunden. Die Flansche **91** verhindern auch das Austreten von Laserstrahlung.

[0135] Durch die erfindungsgemäße Verdrehung der Laserkanone **23** um ihre optische Achse kann der Spurabstand der Laserspuren auf der Bearbeitungsfläche **81** verändert werden, was in [Fig. 35](#) näher dargestellt ist. Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß die Verdrehung der Laserkanone zur Einstellung des Spurabstandes sowie die Einstellung ihres Abstands zur Bearbeitungsfläche nicht ausschließlich manuell, sondern mit Hilfe einer geeigneten, vorzugsweise elektronischen Steuerung und/oder Regelung durchgeführt werden kann. Dazu können auch geeignete, nicht gezeigte und nicht erfindungsgemäße Meßeinrichtungen vorgesehen sein, die sich in der Nähe der Bearbeitungsfläche befinden und bei Bedarf von der Laserkanone angefahren werden können. Eine weitere nicht erfindungsgemäße Möglichkeit zur Verstellung des Spurabstandes ist in den [Fig. 36](#) und [Fig. 36a](#) beschrieben. Auch kann zur Einstellung des Spurabstandes und des besten Fokus eine manuell oder motorisch verstellbare nicht erfindungsgemäße Vario-Fokussieroptik eingesetzt werden. Eine solche Vario-Fokussieroptik hat vorzugsweise neben fest angeordneten Linsen zwei bewegliche Linsensysteme, wobei eine Verstellung des ersten Linsensystems vorwiegend eine Verstellung des Abbildungsmaßstabes bewirkt, womit der Spurabstand beeinflusst werden kann und wobei eine Verstellung des zweiten Linsensystems vorwiegend eine Verstellung der Fokussierung bewirkt. Es kann eine iterative Einstellung zur Optimierung von Spurabstand und bestem Fokus vorgenommen werden. Weiterhin ist es möglich, vorzugsweise zwischen den Linsen **57** und **61** eine nicht dargestellte, verschiebbare, langbrennweitige Linse anzuordnen, mit der die Fokussierung der Bearbeitungspunkte auf der Bearbeitungsfläche fein nachgestellt werden kann, ohne die Strahlungsquelle zu verschieben, weil die resultierende Brennweite zweier Linsen von ihrem Abstand abhängt.

[0136] Infolge der hohen Laserleistung werden sich die optischen Elemente im Strahlengang erwärmen, da sie einen, wenn auch sehr geringen, Teil der Laserenergie absorbieren. Vorzugsweise werden daher die kritischen optischen Bauelemente statt aus Glas aus einem Material mit besserer Wärmeleitfähigkeit, zum Beispiel aus Saphir hergestellt. Die Verlustwärme wird bei Metallisierung der Verbindungsflächen der optischen Bauelemente durch die Lötver-

bindungen zu den Fassungen und an das Gehäuse abgeleitet. Das Gehäuse wird zur besseren Wärmeabgabe mit Kühlrippen **92** ausgeführt, die durch einen nicht dargestellten Lüfter gekühlt werden können. Ebenfalls ist eine Durchsetzung des Gehäuses **35** sowie der übrigen Bauteile der Laserstrahlungsquelle mit Bohrungen, insbesondere in den kritischen Bereichen an den Linsenfassungen und Fassungen für die Abschlußstücke **26**, möglich, durch die ein Kühlmittel gepumpt werden kann, was in den [Fig. 8](#) und [Fig. 39](#) dargestellt ist.

[0137] Da bei der Materialbearbeitung, wie im Vorangehenden dargelegt, sehr hohe Laserleistungen erforderlich sind, sollte die Anzahl der optischen Elemente, insbesondere der Linsen, im Strahlengang so gering wie möglich gehalten werden, um die optischen Verluste und die Gefahr der Verschmutzung der Optik, die immer zu einem frühzeitigen Ausfall führen würde, so gering wie möglich zu halten. Die Objektivlinse (**61**, **103** und **112**) kann mit einer nicht zur Erfindung gehörenden Wechselfassung ausgestattet sein, damit sie vom Benutzer der Laserstrahlungsquelle bei Bedarf rasch getauscht werden kann, sei es, daß sie im Betrieb verschmutzt worden ist oder daß ein anderer Abbildungsmaßstab gewünscht wird. In diesem Fall ist es vorteilhaft, daß die Bohrung **72** bei dem Tubus **54** nicht ausgeführt wird.

[0138] Es ist möglich aber erfindungsgemäß, daß im optischen Strahlengang Maßnahmen getroffen werden, daß keine Laserenergie zurück in die Laser gelangen kann. In [Fig. 3](#) ist gezeigt, daß die Laserstrahlung nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel auf das zu bearbeitende Material auftrifft, so daß die an der Materialoberfläche reflektierte Strahlung nicht in die Laserstrahlungsquelle zurück gelangen kann. Weiterhin ist in den [Fig. 4](#), [Fig. 4b](#), [Fig. 4c](#) und [Fig. 18](#) gezeigt, daß die zu vernichtende Laserstrahlung durch eine schräg gestellte Konkavlinse **75** in einen Sumpf, bestehend aus einer schräg gestellten Platte **86**, die gekühlt werden kann, geleitet wird. Statt der Konkavlinse **75** kann auch ein anderes optisches Bauelement, beispielsweise eine Platte oder eine Blende verwendet werden. Dabei ist dieses optische Bauelement in seinem wirksamen Durchmesser so bemessen, daß die in den Sumpf geleitete Laserstrahlung gerade passieren kann, während solche Strahlung, die vom dem Sumpf zurück reflektiert oder zurück gestreut wird, weitgehend zurückgehalten wird, so daß keine Energie zurück in die Laser gelangen kann. Es kann die Oberfläche der Platte **86**, die in den Figuren als ebene Oberfläche dargestellt ist, auch ballig oder hohl ausgeführt werden und vorzugsweise aufgerauht werden, um ein Höchstmaß an Strahlung zu absorbieren und ein Minimum an Strahlung zu reflektieren bzw. zu streuen.

[0139] Weiterhin ist in [Fig. 38](#) für zwei Ebenen gezeigt aber nicht zur Erfindung gehörend, daß durch

geringe parallele Versetzung der Strahlachsen der aus dem Abschlußstück austretenden Strahlenbündel ein schräges Auftreffen auf alle betroffenen Linsenflächen erzielt werden kann. Dies gilt auch für die Anordnung mit einer oder mehreren Ebenen. Der akustooptische Modulator **34** ist ohnehin bereits um den Winkel α_B gegenüber der Achse der Strahlenbündel verdreht, er kann aber zusätzlich noch um den Winkel γ gegenüber der Symmetrieachse der Strahlenbündel verdreht werden, oder es kann eine Anordnung gemäß **Fig. 24** verwendet werden, in der die Achsen der aus den Abschlußstücken austretenden Strahlenbündel unter einem Winkel zueinander verlaufen. Es hat sich in der Praxis gezeigt, daß bereits Winkeldifferenzen von 1 bis 2 Grad zwischen dem Lot auf optischen Oberfläche und der Achse des Strahlenbündels ausreichend sind, um Sicherheit gegen in die Laser zurück reflektierte Strahlung zu erlangen.

[0140] Es ist möglich, von der beschriebenen Ausführung abweichende Ausführungen der optischen, mechanischen und elektrischen Anordnung zur **Fig. 4** zu wählen. Beispielsweise könnte man alle Strahlenpakete F_{D1} bis F_{D4} und F_{R1} bis F_{R4} durch eine gemeinsame Linse ähnlich wie in **Fig. 31** gezeigt, auf die Bearbeitungsfläche fokussieren, was zwar eine sehr hohe Leistungsdichte ergibt, aber nicht so gut die Form des Bearbeitungsflecks darstellen kann, da alle Bearbeitungspunkte aufeinander liegen und zu einem gemeinsamen Fleck vereinigt sind.

[0141] In **Fig. 4b** wird eine weitere erfindungsgemäße Laserkanone für eine Laserstrahlungsquelle gezeigt, die sich in folgenden Punkten von der in **Fig. 4** dargestellten unterscheidet:

Gehäuse **93**,
Abschlußstücke **94**,
zylindrisches Rohr **95**,
Tubus **96** und
hoch reflektierender Spiegel **97**.

[0142] Das Gehäuse **93** hat zu den Abschlußstücken **94** passende Fassungen **29**. Die Abschlußstücke **94** entsprechen vorzugsweise denen der **Fig. 10**, **Fig. 10a** und **Fig. 10b**, die Achsen der Strahlenbündel laufen in den betreffenden Strahlenpaketen nicht parallel, sondern etwa auf das Zentrum der Konkavlinse **101** zu, was in der Draufsicht **Fig. 21** gezeigt ist. Es können aber auch alle anderen Abschlußstücke gemäß den **Fig. 5**, **Fig. 5a**, **Fig. 5b**, **Fig. 5c**; **Fig. 6**, **Fig. 6a**; **Fig. 7**, **Fig. 9**, **Fig. 9a**; **Fig. 11**, **Fig. 11a** und **Fig. 12** verwendet werden, wenn dafür gesorgt ist, daß die Fassungen **29** dafür unter einem entsprechenden Winkel angeordnet sind. In dem Tubus **96** befindet sich die Übertragungseinheit, die aus 3 Linsen besteht, nämlich eine Zerstreuungslinse, also eine Konkavlinse **101** und zwei Sammellinsen, also Konvexlinsen **102** und **103**, wobei die Konvexlinse **103** vorzugsweise als auswechselbare Objektivlinse ausgeführt ist. Für die Montage der Linsen bezüglich

Dichtheit und Wärmeableitung gilt das unter **Fig. 4** und **Fig. 4a** Gesagte, ebenso für die Materialwahl bezüglich der Wärmeleitung.

[0143] Der Tubus **96** kann in dem Raum zwischen den Linsen **101** und **102** evakuiert sein oder mit einem Schutzgas gefüllt sein oder vorzugsweise über eine Bohrung **104** mit dem Raum **105** verbunden sein, der seinerseits über eine Bohrung **106** mit dem Raum **107** verbunden ist. Der Raum **107** ist mit dem Raum **111** über die Bohrung **47** verbunden, der seinerseits gasdicht abgeschlossen ist, wie unter **Fig. 4** und **Fig. 4a** beschrieben. Der Raum zwischen den Linsen **102** und **103** kann über eine nicht dargestellte Bohrung mit dem Raum **105** verbunden sein, insbesondere wenn die Fassung des Objektivs gasdicht abgeschlossen ist oder wie unter **Fig. 4** beschrieben ständig eine geringe Menge des Schutzgases durch die Laserkanone fließt und in der Nähe der Objektivlinse austritt, was aber nicht in **Fig. 4b** gezeigt ist. Der gesamte Innenraum der Laserkanone, bestehend aus den Räumen **111**, **105**, **107**, ist vorzugsweise evakuiert oder mit einem Schutzgas gefüllt bzw. von einem Schutzgas durchströmt, wie unter **Fig. 4** und **Fig. 4a** detailliert beschrieben wurde. Die nicht gewünschten Strahlenbündel werden mit einem hoch reflektierenden Spiegel **97** abgefangen, allerdings ist im Gegensatz zu **Fig. 4** kein Linsensystem vorhanden, das winkelvergrößernd wirkt, so daß der Abstand zwischen dem hochreflektierenden Spiegel und den Modulatoren hier entsprechend groß gehalten wird, um eine ausreichende räumliche Trennung der Strahlenpakete I_0 und I_1 zu erzielen. Trotzdem ist die gesamte Baulänge der Laserkanone hier ähnlich zu der Anordnung der **Fig. 4**. Der optische Strahlengang der Übertragungseinheit in **Fig. 4b** stellt eine Seitenansicht dar. In **Fig. 21** ist ein prinzipieller Strahlengang für eine Draufsicht zu **Fig. 4b** angegeben. Der Strahlengang der Linsen **101** und **102** entspricht dem eines umgekehrten Galilei-Teleskops, er läßt sich aber auch als ein umgekehrtes Kepler-Teleskop ausführen, wenn man die kurzbrennweitige Konkavlinse **101** gegen eine Konvexlinse austauscht. Solche Teleskope sind in dem Lehrbuch "Optik" von Klein und Furtak, Springer 1988, S. 140 bis 141 beschrieben. Der Vorteil der Anordnung nach **Fig. 4b** ist, daß für die Übertragungseinheit nur 3 Linsen erforderlich sind. Der Nachteil, daß die Strahlenbündel der einzelnen Abschlußstücke nicht parallel verlaufen, wird durch Abschlußstücke gemäß den **Fig. 10**, **Fig. 10a** und **Fig. 10b** behoben.

[0144] Man könnte auch eine Linse **55** verwenden, um die Strahlenbündel in die gewünschte Richtung umzulenken, wie in **Fig. 20** dargestellt wurde. Dann würden die einzelnen Laserstrahlenbündel zwischen den Abschlußstücken **26** und der Linse **55**, die wie in **Fig. 4** angeordnet wird, parallel zueinander verlaufen, und es ergibt sich bezüglich des Gehäuses und der Abschlußstücke bzw. ihrer Anordnung kein

Unterschied zu [Fig. 4](#). Da aber die Linse **55** neben der ablenkenden Wirkung auch eine sammelnde Wirkung auf die einzelnen Strahlenbündel ausübt, würden am Ort der Konkavlinse **101** nicht die gleichen Verhältnisse entstehen wie in [Fig. 21](#). Dies kann aber durch eine andere Justierung des Abstands der Faser **28** bzw. der Laserfaser **5** zu der Linse **133** oder eine Modifikation der Linse **133** in den Abschlußstücken **26** ausgeglichen werden, d. h. der Strahlenkegel der Laserstrahlenbündel aus den einzelnen Abschlußstücken würde jeweils so eingestellt, daß sich auf der Bearbeitungsfläche am Ort der Punkte B_1 bis B_n jeweils ein scharfes Bild ergibt.

[0145] Es ist gemäß der Erfindung auch möglich, die Linsen **102** und **103** zu einer einzigen, gemeinsamen Linse zusammenzufassen. Dann ergibt sich eine Übertragungseinheit mit nur 2 Linsen. Weiterhin ist es möglich, vorzugsweise zwischen den Linsen **101** und **102** eine nicht dargestellte, verschiebbare, langbrennweitige Linse anzuordnen, mit der die Fokussierung der Bearbeitungspunkte auf der Bearbeitungsfläche fein nachgestellt werden kann, ohne die Strahlungsquelle zu verschieben. Es kann auch eine nicht zur Erfindung gehörende Vario-Fokussieroptik verwendet werden, wie unter [Fig. 4](#) erwähnt wurde.

[0146] An der Laserkanone **23** ist ein besonderes Mundstück **82** vorgesehen, das eine Verschmutzung der Objektivlinse **112** verhindern soll und unter [Fig. 34](#) näher beschrieben wird.

[0147] [Fig. 4c](#) zeigt eine Laserkanone, die noch wesentlich kompakter ausgeführt ist, als die der [Fig. 4](#) und [Fig. 4a](#). Als Übertragungseinheit wird in Verbindung mit einer Spiegelanordnung eine Objektivlinse **112** verwendet, die zum Erzielen verschiedener Abbildungsmaßstäbe ausgetauscht werden kann. Wie bereits unter [Fig. 4](#) beschrieben, kann auch eine nicht zur Erfindung gehörende Vario-Fokussieroptik verwendet werden. Erfindungsgemäß kann aber auch eine Abbildung mit der Spiegelanordnung allein, ohne zusätzliche Objektivlinse **112** erfolgen.

[0148] [Fig. 4c](#) unterscheidet sich von [Fig. 4b](#) in folgenden Punkten:

Das zylindrische Rohr **95** wird ersetzt durch ein exzentrisches Rohr **113**. Der Tubus **96** wird vorzugsweise ersetzt durch eine Platte **114** mit einem Hohlspiegel **115** und eine Fassung **116** mit einer Objektivlinse **112** und einer hoch vergüteten Platte **117**. Die Abfangeinheit **73** erhält oberhalb des hochreflektierenden Spiegels **97** einen gewölbten (konvexen) Spiegel **121**. Das exzentrische Rohr ist auf einer Seite mit dem Gehäuse **93** verbunden. Eine Dichtung **52** sorgt für die erforderliche Dichtheit. In das exzentrische Rohr **113** ist die Platte **114** eingesetzt, die einen Durchlaß für die Strahlenpakete I_0 und I_1 enthält und den Hohlspiegel **115** trägt, dessen Verlustwärme damit gut an das exzentrische Rohr abgeleitet wird. Das

exzentrische Rohr hat zwei zueinander vorzugsweise parallele Achsen, nämlich erstens die Symmetrieachse der eintretenden Strahlenpakete mit der Richtung I_0 , die auf den gewölbte Spiegel gerichtet sind und zweitens die Achse zwischen Hohlspiegel und Objektivlinse **112**, die als optische Symmetrieachse für die austretende Laserstrahlung betrachtet werden kann.

[0149] Der Strahlengang ist mittels der beiden Spiegel **121** und **115** gefaltet. Der gewölbte Spiegel **121** ist vorzugsweise aus Metall gefertigt. Er ist eng mit dem hoch reflektierenden Spiegel **97** verbunden und vorzugsweise mit ihm zusammen aus einem Stück gefertigt. Die konvexe Fläche des gewölbten Spiegels kann sphärisch oder asphärisch geformt sein. Der Spiegel **115** ist konkav geformt, also ein Hohlspiegel. Seine Fläche kann sphärisch geformt sein, ist aber vorzugsweise asphärisch geformt. Er besteht vorzugsweise aus Metall. Metall hat den Vorteil der guten Abführung der Verlustwärme. Weiterhin ergibt sich bei der Herstellung aus Metall ein erheblicher Vorteil bei der Erzeugung asphärischer Flächen, die in diesem Fall nämlich, wie auch sphärische und plane Flächen, durch bekannte Diamant-Polierdrehverfahren erzeugt werden können. Dadurch können der hoch reflektierende Spiegel **97** und der gewölbte Spiegel **121** aus einem Stück und vorzugsweise in einem Arbeitsgang mit der gleichen Form der Oberfläche hergestellt und gemeinsam verspiegelt werden, was besonders einfach in der Herstellung und sehr vorteilhaft für die Positionsstabilität des gewölbten Spiegels ist. Bei der Modulation der Laserenergie mittels des akustooptischen Modulators trifft sie entweder auf den gewölbten Spiegel **121** oder auf den hochreflektierenden Spiegel **97**. Die erzeugte Verlustwärme bleibt in jedem Fall gleich und der gewölbte Spiegel behält seine Temperatur und damit seine Position bei, was sehr wichtig ist, da er vorzugsweise mit einer kurzen Brennweite ausgeführt ist und deshalb die Abbildungsgüte der Anordnung sehr von seiner exakten Position abhängig ist. In diesem Fall hat der gewölbte Spiegel **121** die Funktion des hochreflektierenden Spiegels **97** in vorteilhafter Weise mit übernommen. Der hoch reflektierende Spiegel **97** kann aber auch eine andere Form der Oberfläche haben als der gewölbte Spiegel **121** und beispielsweise ein Planspiegel sein.

[0150] Der Strahlengang ähnelt dem eines umgekehrten Spiegelteleskops nach Herschel, das statt des gewölbten Spiegels aber eine Konkavlinse enthält, und ist in [Fig. 22](#) näher beschrieben. Spiegelteleskope sind in dem "Lehrbuch der Experimentalphysik Band III, Optik" von Bergmann-Schäfer, 7. Auflage, De Gruyter 1978, auf der Seite 152 beschrieben. Man kann auch den gewölbten Spiegel durch einen kurzbrennweitigen Hohlspiegel ersetzen. Dadurch würde die Baulänge geringfügig vergrößert und es wären andere Strahlenkegel der aus dem Abschlußstück austretenden Strahlenbündel einzustel-

len, um in der Bildebene ein scharfes Bild zu erhalten. Man könnte den gewölbten Spiegel auch durch eine kurzbrennweitige Konvexlinse ersetzen. Dann müßte ein weiterer Faltspiegel eingesetzt werden, um die kompakte Bauweise zu erhalten. An dem exzentrischen Rohr ist die Abfanganordnung **73** über eine Dichtung **76** gasdicht angebracht, über die die nicht erwünschte Laserenergie, wie unter den [Fig. 4](#), [Fig. 4b](#) und [Fig. 18](#) beschrieben, zu einer Kühlplatte **86** mit Bohrungen **87** abgeleitet und unschädlich gemacht wird. Es ist auch möglich, bereits am Ort der Platte **114** die nicht erwünschte Laserstrahlung aus dem Strahlenpaket I_1 abzufangen und unschädlich zu machen.

[0151] Der Raum **111** in dem Gehäuse **93** ist über die Bohrung **122** mit dem Hohlraum **123** verbunden. Beide Räume können evakuiert oder vorzugsweise mit einem Schutzgas gefüllt bzw. von einem Schutzgas durchströmt werden, wie bereits beschrieben. An dem Ende des exzentrischen Rohres **113**, das dem Gehäuse **93** gegenüberliegt, ist die Fassung **116** angebracht, die die auswechselbare Objektivlinse **112** aufnimmt. Eine Dichtung **124** schließt den Hohlraum **123** gasdicht ab. Weiterhin kann die Fassung eine vergütete Platte **117** aufnehmen, deren Rand vorzugsweise metallisiert ist, und die mit der Fassung vorzugsweise gasdicht verlötet ist. Ihre Aufgabe es ist, den Hohlraum **123** gasdicht zu halten, wenn die Objektivlinse zum Reinigen entfernt wurde oder wenn eine Objektivlinse mit anderer Brennweite eingesetzt werden soll, um einen anderen Abbildungsmaßstab zu erzeugen. Der Raum zwischen der Objektivlinse **112** und der hoch vergüteten Platte **117** kann auch über eine nicht dargestellte Bohrung mit dem Raum **123** verbunden sein, insbesondere dann, wenn die gesamte Laserkanone wie unter [Fig. 4](#) beschrieben, ständig von einem Schutzgas durchströmt wird, das in der Nähe der Objektivlinse **112** austritt, was in [Fig. 39a](#) gezeigt ist. Die hoch vergütete Platte **117** kann aber auch optische Korrekturfunktionen enthalten, wie sie von der aus der Literatur bekannten Schmidt-Optik bekannt sind, um damit die optische Abbildungsqualität der Anordnung zu verbessern. Es ist aber auch möglich, die hoch vergütete Platte wegzulassen, insbesondere, wenn sie keine optische Korrekturfunktion enthält und die Objektivlinse gasdicht eingesetzt wurde oder durch ein hindurch strömendes Schutzgas dafür gesorgt ist, daß beim Wechseln der Objektivlinse kein Schmutz in den Raum **123** eintreten kann. An der Laserkanone **23** ist ein besonderes Mundstück **82** vorgesehen, das eine Verschmutzung der Objektivlinse **112** verhindern soll und unter [Fig. 34](#) näher beschrieben ist.

[0152] Das exzentrische Rohr kann mit Kühlrippen **92** versehen sein, die von einem nicht dargestellten Lüfter angeblasen werden können, um die Verlustwärme besser an die Umgebung abzugeben. Die Laserkanone ist in einem Prisma um die Achse zwi-

schen Hohlspiegel und Objektivlinse drehbar gelagert, um den Spurabstand wie unter [Fig. 4](#) beschrieben einstellbar zu machen und den richtigen Abstand zu der Bearbeitungsfläche **81** einzustellen. Die Laserkanone kann mit einem Spannband **85** fixiert werden.

[0153] Es ist möglich, vorzugsweise zwischen dem Hohlspiegel **115** und der Objektivlinse **112** eine nicht dargestellte, verschiebbare langbrennweitige Linse anzuordnen, mit der die Fokussierung der Bearbeitungspunkte auf der Bearbeitungsfläche fein nachgestellt werden kann, ohne die Laserkanone zu verschieben. Es kann aber auch eine nicht zur Erfindung gehörende Vario-Fokussieroptik eingesetzt werden, wie unter [Fig. 4](#) beschrieben wurde. Weiterhin gelten alle Beschreibungen, die zu den [Fig. 4](#), [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) gegeben wurden, sinngemäß.

[0154] In [Fig. 5](#) ist eine nicht zur Erfindung gehörende Ausführungsform eines Abschlußstücks **26** (Terminator) für eine Faser **28** oder Laserfaser **5**, die auch eine Faser ist, gezeigt. Solche Abschlußstücke können mit Vorteil für die Auskopplung von Laserstrahlung aus einer Faser **5**, **28** verwendet werden, wie es in der DE 198 40 935 A1 und in der DE 298 16 108 U1 beschrieben ist. Dieses Abschlußstück **26** kann grundsätzlich für alle Anwendungsfälle benutzt werden, bei denen es darauf ankommt, das aus einer Faser **5**, **28** austretende Strahlenbündel mit einer lösbaren Verbindung präzise anzukoppeln. Ebenso ist es mit Hilfe dieses Abschlußstücks möglich, eine präzise lösbare Verbindung der Faser **5**, **28** mit der übrigen Optik zu erzeugen. Das Abschlußstück besteht aus einem länglichem Gehäuse **132**, das eine durchgehende, sich in axialer Richtung erstreckende, zylindrische Öffnung **130** aufweist. Das Gehäuse ist vorzugsweise aus vorgefertigtem, beispielsweise gezogenem Material, das vorzugsweise aus Glas bestehen kann, hergestellt. Die Laserfaser **5** des Fiberlasers ist vorzugsweise auf ihrem letzten Ende von ihrem Mantel befreit und vorzugsweise an ihrer Außenfläche aufgeraut, wie es in der DE 197 23 267 A1 beschrieben ist, so daß die restliche Pumpstrahlung vor dem Eintritt der Laserfaser in das Abschlußstück die Laserfaser verläßt. Die Faser **5**, **28** kann zusätzlich noch mit einer ein- oder mehrlagigen Schutzhülle **131** umgeben sein, die mit dem Gehäuse **132** des Abschlußstücks beispielsweise mittels einer Klebung **142** verbunden sein kann. Das Gehäuse **132** weist Passungen **134** auf, mit denen das Gehäuse in einer Fassung **29** ([Fig. 5a](#), [Fig. 7](#), [Fig. 8](#), [Fig. 14](#)) genau eingesetzt werden kann. Dabei können sich die Passungen über die gesamte Länge des Gehäuses erstrecken ([Fig. 5b](#), [Fig. 9](#), [Fig. 10](#)), sie können aber auch in begrenzten Bereichen des Gehäuses angebracht sein ([Fig. 5](#), [Fig. 6](#), [Fig. 7](#)). Es können eine oder mehrere Dichtungen **36** vorgesehen sein, die beispielsweise mittels Klebungen **142** mit dem Gehäuse **132** verbunden sind. Die Aufgabe der Dichtungen ist es, eine gasdichte Ver-

bindung der Abschlußstücke mit den Fassungen **29** zu ermöglichen. Das Gehäuse kann im Bereich des Schutzmantels **131** und der Dichtung **36** einen anderen, beispielsweise geringeren Durchmesser haben, als im Bereich der Passungen. An einem Ende des Gehäuses **132** wird das Ende der Faser **28** bzw. der Laserfaser **5** aufgenommen und innerhalb des Gehäuses in der Öffnung **130** geführt. Am anderen Ende des Gehäuses **132** ist eine kurzbrennweitige Linse **133** befestigt, wobei das Gehäuse eine konische Erweiterung **139** aufweisen kann, um die Laserstrahlung **13** nicht zu behindern. Es können nicht zur Erfindung gehörende Mittel zum Justieren der Lage der Faser **5**, **28** innerhalb des Abschlußstückes vorgesehen sein, um die Lage der Faser zu der Linse **133** innerhalb des Abschlußstückes und in Bezug auf die Passungen **134** zu justieren, wie in den [Fig. 5b](#), [Fig. 5c](#), [Fig. 6](#), [Fig. 6a](#), [Fig. 7](#), [Fig. 9](#), [Fig. 9a](#), [Fig. 10a](#), [Fig. 10b](#), [Fig. 11](#), [Fig. 11a](#) und [Fig. 12](#) gezeigt wird. Es kann auch die radiale Lage der Faser **5**, **28** durch die zylindrische Öffnung **130** bestimmt werden, wobei die Faser axial innerhalb der Öffnung verschiebbar ist. Die Lage der Linse **133** kann entweder bei der Montage ausreichend präzise montiert oder durch nicht dargestellte geeignete Mittel in Bezug auf die Faser **5**, **28** und auf die Passungen **134** axial und/oder radial justiert und fixiert werden, wobei auch die Faser axial verschoben werden kann ([Fig. 5b](#)). Die Justierungen werden vorteilhaft mit einer nicht zur Erfindung gehörenden Meß- und Justiervorrichtung vorgenommen. Durch die Justierung soll erreicht werden, daß das aus der Linse **133** austretende Strahlenbündel **144** zu den Passungen **134** in eine vorgegebene Achs- und Fokusslage mit einem definierten Kegel gebracht wird. Nach einer Fixierung der Faser **5**, **28** innerhalb des Gehäuses **132** und der Linse **133** an dem Gehäuse wird die Meß- und Justiervorrichtung entfernt. Es ist es auch möglich, das Ende der Faser **5**, **28** im Bereich des Abschlußstücks vor der Montage mit einem geeigneten Überzug, beispielsweise einer entsprechend dick aufgetragenen Metallisierung **141** zu versehen, um die Dauerhaftigkeit der Justierung noch zu verbessern. Die Fixierung der Faser **5**, **28** innerhalb des Gehäuses **132** kann mit geeigneten Mitteln wie Kleben, Löten oder Schweißen erfolgen. An der Übergangsstelle zwischen dem Gehäuse **132** und der Schutzhülle **131** ist vorzugsweise eine elastische Masse **138** vorgesehen, die einen zusätzlichen Schutz für die Faser darstellt. Es ist auch möglich aber nicht zur Erfindung gehörend, die Linse **133** vorzugsweise auf ihrer dem Faserende zugewendeten Seite durch entsprechende Formgebung und Aufdampfen einer entsprechenden Schicht so auszuführen und auszurichten, daß sie die Funktion des Auskoppelspiegels **12** für den Fiberlaser mit übernimmt.

[0155] [Fig. 5a](#) zeigt eine nicht zur Erfindung gehörende Mehrfachanordnung von Fiberlaserausgängen mittels der Abschlußstücke aus [Fig. 5](#). In einem Ge-

häuse **145** sind Bohrungen **150** zum Aufnehmen von zwei Abschlußstücken **26** für zwei Spuren vorgesehen. Weiterhin sind in Verlängerung der Bohrungen innerhalb des Gehäuses **145** je drei Stifte **148** und **149** in Reihen so angebracht, daß sie eine seitliche Begrenzung als Fassung **29** für die Abschlußstücke darstellen und für eine präzise Führung und Ausrichtung der Abschlußstücke sorgen. Die Durchmesser der Stifte **148** sind mit d_1 bezeichnet und vorzugsweise untereinander gleich. Die Durchmesser der Stifte **149** sind mit d_2 bezeichnet und ebenfalls vorzugsweise untereinander gleich. Wenn die Durchmesser der Stifte **148** gleich den Durchmessern der Stifte **149** wären, würden die Achsen der Strahlenbündel beider Spuren in der Zeichenebene parallel zu einander liegen, da die Abschlußstücke **26** zylindrische Passungen **134** aufweisen. Es sind aber in [Fig. 5a](#) die Durchmesser der Stifte **149** größer als die Durchmesser der Stifte **148** dargestellt, was dazu führt, daß die Achsen der beiden Strahlenbündel in der Zeichenebene unter einem Winkel zueinander verlaufen. Der Winkel zwischen den Strahlenbündeln ist abhängig vom Durchmesserunterschied $d_2 - d_1$ und vom Mittenabstand M der beiden Stiftreihen. Die Abschlußstücke sind auf der Unterseite in einer Ebene durch das Gehäuse **145** geführt und werden von oben durch einen nicht dargestellten Deckel des Gehäuses geführt, der an dem Gehäuse befestigt ist und es mittels einer nicht dargestellten Dichtung gasdicht abschließen kann. Das Gehäuse **145** kann Teil einer Aufnahme für eine optische Einheit zur Formung der Laserstrahlung sein. Die Abschlußstücke sind mittels Laschen **147** und nicht dargestellten Schrauben an dem Gehäuse **145** befestigt, wobei die Dichtungen **36** für einen gasdichten Abschluß sorgen. Die Anordnung ist nicht auf zwei Spuren beschränkt, es können weitere Bohrungen **150** vorgesehen werden und weitere Stifte **148** und **149** eingesetzt werden, um weitere Abschlußstücke für weitere Spuren einzufügen. Die Anordnung ist auch nicht auf die beschriebene Ebene beschränkt, es können weitere Bohrungen **150** in das Gehäuse **145** in weiteren Spuren und in einer oder mehreren weiteren Ebenen eingefügt werden, die über oder unter der Zeichenebene liegen und dabei die Stifte **148** und **149** soweit verlängert werden, daß sie Fassungen **29** für alle Spuren und alle Ebenen darstellen. Erfindungsgemäß werden zum Erzeugen eines definierten Abstands zwischen den Ebenen ebenfalls Stifte **148** und **149** verwendet. In diesem Fall verlaufen die Stifte horizontal zwischen den Abschlußstücken. Beispielsweise verlaufen die horizontal angeordneten Stifte **149** zwischen der Wand des Gehäuses **145**, in der die Bohrungen **150** liegen und der Reihe der gezeigten vertikal angeordneten Stifte **149**. Die horizontal angeordneten Stifte **148** verlaufen vorzugsweise in einem Abstand M parallel zu den horizontal angeordneten Stiften **149**. Horizontal angeordnete Stifte sind in [Fig. 2a](#) nicht dargestellt. Die Stifte **148**, **149** werden vorzugsweise aus gezogenem Stahldraht gefertigt, sie kön-

nen aber auch aus anderen Materialien, beispielsweise aus gezogenem Glas bestehen. Ein Vorteil bei der Anordnung mit mehreren Spuren und/oder mehreren Ebenen in der gezeigten Weise ist, daß die Stäbe **148**, **149** eine gewisse Flexibilität aufweisen. Dadurch ist es möglich, das gesamte Paket aus den Abschlußstücken in Richtung der Spuren und in Richtung der Ebenen so zusammenzupressen, daß die Abschlußstücke **26** mit ihren Passungen **134** ohne Abstand an den Stiften anliegen, was für die Erzielung höchster Präzision erwünscht ist.

[0156] In **Fig. 5b** ist ein nicht zur Erfindung gehörendes Abschlußstück **26** gezeigt, bei dem Mittel zum Justieren der Lage der Faser **5**, **28** innerhalb des Abschlußstückes vorgesehen sind, um die Lage der Faser **5**, **28** zu der Linse **133** innerhalb des Abschlußstückes und in Bezug auf die Passungen **134** zu justieren. Es kann auch die Lage der Linse justiert werden. Die Justierungen werden vorteilhaft mit einer Justiervorrichtung vorgenommen. Dabei können für die Justierung der Lage der Faser **5**, **28** im Gehäuse **132** Justierschrauben **135**, **136** (**Fig. 5b**, **Fig. 5c**, **Fig. 9**, **Fig. 9a**, **Fig. 10a**, **Fig. 10b**, **Fig. 11**, **Fig. 11a**, **Fig. 12**) und/oder Kugeln **137** (**Fig. 6**, **Fig. 6a**, **Fig. 7**) vorgesehen sein. Innerhalb der Justierschrauben **135**, **136** oder Kugeln **137** kann die Faser **28** bzw. Laserfaser **5** auch axial verschoben werden. Die Lage der Linse **133** kann entweder bei der Montage ausreichend präzise montiert oder durch nicht dargestellte Mittel in Bezug auf die Faser **5**, **28** und auf die Passungen **134** axial und/oder radial justiert und fixiert werden, wobei auch die Faser axial verschoben werden kann. Die Justierungen werden vorteilhaft mit einer Meß- und Justiervorrichtung vorgenommen. Durch die Justierung soll erreicht werden, daß das aus der Linse **133** austretende Strahlenbündel **144** mittels einer relativen Zustellung von Linse **133** und Fiber **5**, **28** zu den Passungen **134** in eine vorgegebene Achs- und Fokusslage mit einem definierten Kegel gebracht wird. Nach einer Fixierung der Faser **5**, **28** innerhalb des Gehäuses **132** und der Linse **133** an dem Gehäuse wird die Meß- und Justiervorrichtung entfernt. Weiterhin gilt für diese und die weiteren Ausführungsformen das unter **Fig. 5** Gesagte, beispielsweise für die Metallisierung **141**, die elastische Masse **138** und die Verwendung der Linse **133** als Laserspiegel.

[0157] In **Fig. 5c** ist ein Querschnitt durch das nicht zur Erfindung gehörende Abschlußstück **26** im Bereich der Justierschrauben gezeigt, aus dem zu ersehen ist, daß am Umfang verteilt, vorzugsweise 3 Justierschrauben **135** vorgesehen sind, mit denen die Faser **28** bzw. die Laserfaser **5** im Gehäuse fein justierbar ist. Weiterhin können an dem Ende des Abschlußstückes **26**, an dem die Faser **28** bzw. die Laserfaser **5** eintritt, innerhalb des Abschlußstückes weitere Justierschrauben **136** vorgesehen sein, wie sie in **Fig. 5b** gezeigt sind. Diese Justierschrauben sind

wie die Justierschrauben **135** ausgebildet. Wird nur ein Satz von Justierschrauben **135** verwendet, kann man die Faser **28** bzw. die Laserfaser **5** nur bezüglich des Winkels justieren. Werden zwei Sätze von Justierschrauben verwendet, kann man sie auch parallel zu ihrer Achse verschieben. Die Fixierung der Faser **5**, **28** innerhalb des Gehäuses **132** kann mit geeigneten Mitteln wie Kleben, Löten oder Schweißen erfolgen.

[0158] **Fig. 6** zeigt eine nicht zur Erfindung gehörende Ausführungsform des Abschlußstückes **26**, bei dem anstelle von Justierschrauben kleine Kugeln **137** aus Metall oder vorzugsweise metallisiertem Glas verwendet werden, die in dem Gehäuse in ihre Position gebracht und anschließend verklebt oder verlötet werden. Es können auch mehrere Sätze von Kugeln angebracht werden.

[0159] **Fig. 6a** zeigt einen Querschnitt durch das Abschlußstück im Bereich der Kugeln **137**.

[0160] Um zu verhindern, daß die optischen Flächen auf der Lichtleitfaser und der Seite der Linse **133**, die der Lichtleitfaser zugewendet ist, durch Partikel in der umgebenden Luft verschmutzen, können die Verbindungen in den **Fig. 5**, **Fig. 5b**, **Fig. 5c**, **Fig. 6**, **Fig. 6a**, **Fig. 7**, **Fig. 9**, **Fig. 10**, **Fig. 11**, **Fig. 11a** und **Fig. 12** zwischen der Linse **133** und dem Gehäuse **132** sowie zwischen den Justierschrauben **135** und **136** bzw. den Kugeln **137** und dem Gehäuse **132** hermetisch verschlossen werden, was jedoch nicht zur Erfindung gehört. Dies kann durch geeignete Klebe- oder Lötverbindungen **142** erfolgen. Im Falle, daß eine Lötverbindung bevorzugt wird, werden die Glas-teile an den entsprechenden Stellen **141** vorher metallisiert. Zur Erzielung einer größeren Festigkeit können die Klebe- oder Lötverbindungen auch den verbleibenden Spalt zwischen der Fiber **28** bzw. der Laserfaser **5** und dem Gehäuse **132** bzw. der Schutzhülse **131** in der Nähe des Abschlußstückes ganz oder teilweise ausfüllen, was beispielsweise in **Fig. 5** dargestellt ist. Weiterhin ist es möglich, den Innenraum **143** des Gehäuses dauerhaft zu evakuieren oder mit einem Schutzgas zu füllen.

[0161] **Fig. 7** zeigt eine weitere nicht zur Erfindung gehörende Ausführungsform eines Abschlußstückes **26**, das in einem Gehäuse **145** mit einer Fassung **29** eingesetzt ist. Bei dieser Ausführungsform ist die vordere äußere Passung **134** im Bereich der Linse **133** zur besseren Abdichtung und zur besseren Wärmeableitung konisch ausgeführt. Zusätzlich kann eine Dichtung **146** vorgesehen sein, die statt wie dargestellt auf dem linsenseitigen Ende des Abschlußstückes, auch an seinem faserseitigen Ende angebracht sein kann.

[0162] In **Fig. 8** sind nicht zur Erfindung gehörende Fassungen **29** in einem Gehäuse **145** für meh-

rere konisch ausgeführte Abschlußstücke **26** gemäß [Fig. 7](#) gezeigt. Solche Fassungen sind vorteilhaft, wenn mehrere Ausgänge von Fasern bzw. Fiberlasern nebeneinander oder neben- und übereinander angeordnet werden sollen. Dabei können die Achsen der Fassungen so angeordnet werden, daß die Achsen der aus den Abschlußstücken austretenden Strahlenbündel der nebeneinander und/oder übereinander liegenden Abschlußstücke zu einander parallel oder unter einem Winkel verlaufen. Um die Verlustwärme abzuführen, kann das Gehäuse **145** erfindungsgemäß mit Bohrungen versehen sein, durch die ein Kühlmittel geleitet wird.

[0163] [Fig. 8a](#) zeigt die nicht zur Erfindung gehörende rückwärtige Befestigung der Abschlußstücke **26** in dem Gehäuse **145**. Zur Fixierung der Abschlußstücke **26**, **94** sind Laschen **147** vorgesehen, die die Enden der Abschlußstücke an den Stellen, an denen die Fasern jeweils in das Gehäuse der Abschlußstücke **26**, **94** eintreten, mittels Schrauben **151** in dem Gehäuse festsetzen.

[0164] Die [Fig. 9](#) zeigt eine nicht erfindungsgemäße Ausführungsform eines Abschlußstücks **26** mit quadratischem oder rechteckigem Querschnitt, bei dem alle gegenüberliegenden Außenflächen parallel verlaufen und Passungen **134** sein können. [Fig. 9a](#) zeigt einen Querschnitt durch das Endstück **26** nach [Fig. 9](#) mit quadratischem Querschnitt.

[0165] [Fig. 10](#) zeigt eine nicht erfindungsgemäße Ausführungsform des Abschlußstücks **94** mit rechteckigem Querschnitt, wobei zwei gegenüberliegende Außenflächen trapezförmig und zwei gegenüberliegende Außenflächen parallel zueinander verlaufen. Es können auch alle gegenüberliegenden Außenflächen trapezförmig zueinander verlaufen. Die Außenflächen können Passungen **134** sein.

[0166] In [Fig. 10a](#) ist ein Längsschnitt und in [Fig. 10b](#) ist ein Querschnitt durch das Abschlußstück gemäß [Fig. 10](#) gezeigt.

[0167] In [Fig. 11](#) sind nicht zur Erfindung gehörende Abschlußstücke **26** mit trapezförmigen Querschnitten gezeigt, so daß bei einer Aneinanderreihung mehrerer Abschlußstücke durch aufeinanderfolgendes Verdrehen der Abschlußstücke um 180° eine Reihe von Abschlußstücken entsteht, bei der die Mittelpunkte der Abschlußstücke auf einer zentralen Linie liegen. Es können, falls erwünscht, mehrere solcher Reihen übereinander angeordnet werden, was in [Fig. 11](#) gestrichelt angedeutet ist.

[0168] In [Fig. 11a](#) sind nicht zur Erfindung gehörende Abschlußstücke **26** mit dreieckigem Querschnitt gezeigt, die ebenfalls in mehreren Reihen übereinander angeordnet sein können, was gestrichelt angedeutet ist.

[0169] [Fig. 12](#) zeigt nicht erfindungsgemäße Abschlußstücke **26** mit sechseckigem Querschnitt, die zur Erhöhung der Packungsdichte wabenförmig angeordnet werden können.

[0170] Die Abschlußstücke ermöglichen vorteilhaft einen Aufbau der Laserstrahlungsquelle aus einzelnen Modulen.

[0171] [Fig. 13](#) zeigt ein nicht zur Erfindung gehörendes Anwendungsbeispiel für das Abschlußstück **26** bzw. **94** bei einer Faser **28** bzw. einer Laserfaser **5**, die an beiden Enden mit je einem erfindungsgemäßen Abschlußstück versehen sind.

[0172] Es ist möglich, die Linse **133** vorzugsweise auf ihrer dem Faserende zugewendeten Seite durch entsprechende Formgebung und Aufdampfen einer entsprechenden Schicht so auszuführen, daß sie die Funktion des Auskoppelspiegels **12** mit übernimmt. Es ist auch möglich, die Linse **3**, **154** durch entsprechende Formgebung und Aufdampfen einer entsprechenden Schicht so auszuführen, daß sie die Funktion des Einkoppelspiegels **7** mit übernimmt.

[0173] Es ist grundsätzlich möglich, mehrere der im vorangehenden beschriebenen Abschlußstücke in mehreren Spuren nebeneinander und in mehreren Ebenen übereinander zu einem Paket zusammenzufassen, was jedoch nicht zur Erfindung gehört.

[0174] Es ist weiterhin möglich, aber nicht erfindungsgemäß, die Form der Abschlußstücke anders als in den Figuren dargestellt auszuführen, z. B. daß eine zylindrische Form nach [Fig. 6](#) trapezförmige oder rechteckförmige Passungen nach [Fig. 9](#) oder [Fig. 10](#) erhält.

[0175] [Fig. 14](#) zeigt eine nicht zur Erfindung gehörende Ankopplung der Laserfaser **5** an eine Pumpquelle mittels des Abschlußstückes **26** über das Gehäuse **152**, in dem die Pumpquelle **18** in einer Ausnehmung **153** vorzugsweise gasdicht untergebracht ist. Durch eine Dichtung **146** ist sichergestellt, daß das Abschlußstück **26** ebenfalls gasdicht abschließt, so daß in die Ausnehmung von außerhalb keine Schmutzpartikel eindringen können und sie bei Bedarf evakuiert oder mit einem Schutzgas gefüllt werden kann. Es kann auch ein ständiger Strom eines Schutzgases durch die Ausnehmung **153** fließen, insbesondere bei vorübergehender Entfernung des Abschlußstücks **26**. Über eine Linse **154** wird die Strahlung der Pumpquelle **18** auf den Pumpquerschnitt der Laserfaser **5** fokussiert. Die nicht zur Erfindung gehörende Pumpquelle **18** kann aus einer oder mehreren Laserdioden bestehen, sie kann aber auch aus einer Anordnung von einem oder mehreren Lasern, insbesondere auch Fiberlasern bestehen, deren Ausgangsstrahlung mit geeigneten Mitteln so vereinigt wurde, daß ein geeigneter Pumpfleck entsteht.

[0176] **Fig. 15** zeigt das nicht zur Erfindung gehörende Verzweigen der Ausgangsstrahlung aus der Laserfaser **5** eines Fiberlasers mittels eines Faserschmelzkopplers **155**. Solche Faserschmelzkoppler lassen sich nach entsprechend präziser Ausrichtung direkt an den Ausgang der Laserfaser **5** anschmelzen. Das Abschlußstück **26, 94** ist in diesem Fall also an eine passive Singlemodefaser bzw. an eine andere Faser **28** und nicht direkt an einen Fiberlaser mit der aktiven Laserfaser **5** angeschlossen.

[0177] **Fig. 16** zeigt das nicht zur Erfindung gehörende Vereinigen der Strahlung aus den Laserfasern **5** zweier Fiberlaser über einen Faserschmelzkoppler **156**. In dem Faserschmelzkoppler **156** werden die Querschnitte der beiden Eingangsfasern zu einer Faser vereinigt. Zum Beispiel beträgt der Durchmesser der Fasern an den beiden Eingängen des Faserschmelzkopplers $6\text{ }\mu\text{m}$ und der Kerndurchmesser der beiden anzuschmelzenden Laserfasern ebenfalls $6\text{ }\mu\text{m}$. Damit wird der Kerndurchmesser der Singlemodefaser am Ausgang des Faserschmelzkopplers $9\text{ }\mu\text{m}$, was für die betreffende Wellenlänge noch eine einwandfreie Führung eines Singlemode erlaubt. Der Durchmesser am Ausgang des Faserschmelzkopplers kann aber auch größer als $9\text{ }\mu\text{m}$ sein und es können mehr als zwei Ausgänge von Fiberlasern bzw. Fasern vereinigt werden. Das Abschlußstück **26, 94** ist in diesem Fall also an eine passive Singlemodefaser oder andere passive Faser **28** und nicht an einen Fiberlaser mit der aktiven Laserfaser **5** angeschlossen.

[0178] Es können aber auch alle anderen Arten von Lichtwellenleitern an die Fiberlaser angeschweißt oder auf andere Weise, beispielsweise über Optiken, angekoppelt werden. Dies gehört jedoch nicht zur Erfindung.

[0179] Man kann auch an einen einzelnen Fiberlaser eine oder mehrere passive Singlemodefasern bzw. eine oder mehrere andere passive Fasern **28** anstatt eines Verzweigers nach **Fig. 15** oder eines Vereinigers nach **Fig. 16** über Optiken ankoppeln, um an diese Singlemodefaser bzw. andere Faser dann an das Abschlußstück anzuschließen. Dies gehört jedoch ebenfalls nicht zur Erfindung.

[0180] Es ist aber auch möglich jedoch nicht Gegenstand der Erfindung, die Ausgänge mehrerer Fiberlaser oder Singlemodefasern oder anderer geeigneter Fasern, in die Laserstrahlung eingekoppelt werden kann, über wellenlängenabhängige oder polarisierte Strahlvereiniger oder andere geeignete Maßnahmen zu vereinigen und wiederum in Singlemodefasern oder andere Fasern einzukoppeln, die an einem oder beiden Enden mit je einem entsprechenden Abschlußstück versehen sein können.

[0181] Die beschriebenen Möglichkeiten der Verzweigung und Vereinigung von Fasern lassen sich besonders vorteilhaft anwenden, wenn die erfindungsgemäße Modulbauweise auf die Laserstrahlungsquelle angewendet wird.

[0182] **Fig. 17** zeigt das Prinzip eines akustooptischen Ablenkens. Auf einem Substrat **161**, das auch als Kristall bezeichnet wird, ist ein piezoelektrischer Wandler **45** aufgebracht, der aus einer Hochfrequenzquelle **162** mit elektrischer Energie versorgt wird. Ein unter dem Bragg-Winkel α_B einfallender Laserstrahl **163** wird durch Interaktion mit dem Ultraschallfeld **164** innerhalb des Kristalls proportional zu der Frequenz der Hochfrequenzquelle aus seiner Richtung abgelenkt. Durch eine nachfolgende Linse **165** werden die Strahlen auf die Bearbeitungsfläche **81** fokussiert. Bezeichnet man den nicht abgelenkten Strahl, der gerade durch den Modulator hindurch geht, mit I_0 (Strahl nullter Ordnung), so ergibt die Frequenz f_1 eine Richtung I_{11} (erster Strahl erster Ordnung) und die Frequenz f_2 eine Richtung I_{12} (zweiter Strahl erster Ordnung). Beide Frequenzen können auch gleichzeitig anliegen und es entstehen gleichzeitig die Strahlen I_{11} und I_{12} , die durch Verändern der Amplituden der Hochfrequenzquellen moduliert werden können. Für den Einsatz als akustooptischer Modulator wird nur einer der Teilstrahlen genutzt. Am effektivsten ist es für die Materialbearbeitung, den Strahl nullter Ordnung zu verwenden, weil er die größere Leistung hat. Es ist aber auch möglich einen oder mehrere Strahlen erster Ordnung zu verwenden. Die Energie der nicht genutzten Strahlen wird unschädlich gemacht, indem sie beispielsweise auf einer Kühlfläche in Wärme umgesetzt wird. In **Fig. 17** ist nur ein piezoelektrischer Wandler **45** vorgesehen, deshalb kann nur ein Laserstrahl **163** abgelenkt bzw. moduliert werden. Es können aber auch mehrere piezoelektrische Wandler auf dem gleichen Substrat aufgebracht werden, um damit mehrere Laserstrahlen, d. h. mehrere Kanäle gleichzeitig mit unterschiedlichen Ablenk- bzw. Modulationssignalen zu versehen. Die einzelnen Kanäle werden mit T_1 bis T_n bezeichnet.

[0183] In **Fig. 18** ist dargestellt, wie der nicht genutzte Strahl unschädlich gemacht wird. Der nicht genutzte Strahl wird über einen hoch reflektierenden Spiegel **166**, der vorzugsweise zur besseren Wärmeableitung aus Metall hergestellt wird, abgefangen und umgelenkt, durch eine Konkavlinse **75** gestreut und so auf eine schräg angeordnete Platte **86** mit Bohrungen **87** gelenkt, daß keine Energie in den Laser zurück reflektiert werden kann. Die Platte **86** und auch gegebenenfalls der Spiegel **166** werden über ein Kühlsystem, das durch eine Pumpe **167** betrieben wird, gekühlt. Es ist auch möglich, anstatt der Konkavlinse eine Konvexlinse oder eine Glasplatte einzusetzen. Letzteres insbesondere, wenn durch andere Maßnahmen eine Zerstreuung des unschädlich zu

machenden Strahlenbündels vorgenommen werden kann, was beispielsweise durch besondere Formung des hoch reflektierenden Spiegels **166** erfolgen kann, wie unter [Fig. 4c](#) beschrieben. Man kann die Konkavlinse **75** auch wegzulassen, wenn auf den Vorteil der kompletten Abdichtung der Laserkanone verzichtet wird. Die Platte **86** ist mit einer ebenen Oberfläche unter einem Winkel dargestellt. Es kann auch eine Platte mit einer Wölbung oder einer Höhlung verwendet werden. Die Oberfläche kann aufgeraut sein, um die Laserenergie gut zu absorbieren und sie an das Kühlmittel weiterzuleiten.

[0184] Für eine Anordnung mit mehreren Spuren ist es vorteilhaft, mehrere solcher Modulatoren auf einem gemeinsamen Kristall **34** gemäß [Fig. 19](#) und [Fig. 19a](#) anzuordnen. Die einzelnen Modulatoren können wegen zu hoher Erwärmung nicht beliebig eng benachbart angeordnet werden. Besonders geeignet ist für die erfindungsgemäße Anordnung ein Modulator, der 5 getrennte Ablenk- bzw. Modulatorkanäle enthält. In diesem Fall ist der Abstand der Kanäle mit 2,5 mm vorgegeben, wobei der Strahldurchmesser mit 0,6 mm bis 0,8 mm angegeben ist. Ein ähnlicher Modulator ist mit 10 Kanälen im Abstand von 2,5 mm ausgestattet. Der Abstand der Kanäle von 2,5 mm erfordert, daß der Durchmesser bzw. die Kantenlänge der Abschlußstücke **26**, **94** kleiner als 2,5 mm ausgeführt werden. Wenn das Abschlußstück **26**, **94** in seinem Durchmesser bzw. in seiner Kantenlänge aber größer als der Abstand der Kanäle im akustooptischen Ablenker bzw. Modulator ist, kann durch eine Zwischenabbildung, wie sie in [Fig. 25](#) dargestellt ist, eine Anpassung vorgenommen werden. Ein solcher mehrkanaliger Ablenker bzw. Modulator kann auch in den Ausführungsbeispielen gemäß den [Fig. 4](#), [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#), [Fig. 4c](#), [Fig. 36](#), [Fig. 36a](#) und [Fig. 37](#) verwendet werden. Je nach Forderung der Anwendung müssen nicht alle Kanäle benutzt werden. In den gezeigten Anwendungsbeispielen werden nur 4 Kanäle dargestellt.

[0185] Es ist aber auch möglich, anstelle des akustooptischen Modulators andere Modulatoren, z. B. sogenannte elektrooptische Modulatoren einzusetzen. Es sind auch mehrkanalige elektrooptische Modulatoren möglich, was in der Druckschrift "Der Laser in der Druckindustrie" von Werner Hülsbusch, Verlag W. Hülsbusch, Konstanz, auf Seite 523 in 8-90a gezeigt ist. Verwendet man ein- oder mehrkanalige elektrooptischen Modulatoren in Zusammenhang mit einem doppelbrechenden Material, dann kann man jeden Laserstrahl in zwei Strahlen aufspalten, die über weitere Modulatoren getrennt moduliert werden können. Eine solche Anordnung wird in der Literatur auch als elektrooptischer Ablenker bezeichnet.

[0186] In [Fig. 18a](#) ist eine Anordnung mit einem elektrooptischen Modulator **168** dargestellt. In einem elektrooptischen Modulator wird beispielswei-

se die Polarisationsrichtung der nicht zur Bearbeitung erwünschten Laserstrahlung aus dem auftretenden Strahlenbündel **163**, gedreht (P_b) und anschließend in einem polarisationsabhängigen Strahlteiler, der auch als polarisationsabhängiger Spiegel **169** bezeichnet wird, die nicht zur Bearbeitung erwünschte Laserstrahlung P_b abgetrennt und in einen Sumpf, beispielsweise in einen Wärmetauscher, der aus einer gekühlten Platte **86** bestehen kann, geleitet. Die zur Bearbeitung erwünschte Strahlung P_a wird nicht in der Polarisationsrichtung gedreht und über die Linse **165** der Bearbeitungsfläche zugeführt. In den Ausführungsbeispielen nach den [Fig. 4](#), [Fig. 4b](#), und [Fig. 4c](#) können die ein- oder mehrkanaligen akustooptischen Modulatoren **34** durch entsprechende ein- oder mehrkanalige elektrooptische Modulatoren ersetzt werden. Ebenso kann in den Ausführungsbeispielen nach den [Fig. 4](#), [Fig. 4b](#), und [Fig. 4c](#) der hochreflektierende Spiegel **74**, **97** durch den polarisationsabhängigen Spiegel **169** ersetzt werden ([Fig. 18a](#)), woraus sich eine Abfanganordnung **78** ergibt, und wobei der polarisationsabhängige Spiegel in den zur Bearbeitung erwünschten Strahlengang hinein reicht.

[0187] Man kann aber auch die Fiberlaser direkt modulieren. Solche direkt modulierbaren Fiberlaser, die über einen separaten Modulationseingang verfügen, werden am Markt angeboten. Der Vorteil ist, daß die akustooptischen Modulatoren und die zugehörige Elektronik für die Hochfrequenzquellen entfallen können. Außerdem kann die Übertragungseinheit vereinfacht werden, wie in [Fig. 23](#) gezeigt ist.

[0188] [Fig. 19](#) zeigt eine Draufsicht auf einen akustooptischen Ablenker bzw. Modulator. In der Beschreibung zu den [Fig. 4](#), [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#) wird erwähnt, daß der Raum **44** bzw. **111** gemäß den [Fig. 4](#), [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#), in dem die Modulatoren angeordnet sind, möglichst frei von solchen Komponenten sein soll, die Partikel oder Gase absondern, weil sich damit Partikel auf den hochbelasteten optischen Flächen absetzen könnten, was zum frühzeitigen Ausfall der Anordnung führen würde. Aus diesem Grunde sind die elektrischen Komponenten der Anordnung in [Fig. 19](#) und [Fig. 19a](#) auf einer separaten Leiterplatte **171** angeordnet, die nur mit zwei Armen in den gedichteten Raum hineinragt und die elektrischen Anschlüsse zu den piezoelektrischen Gebern **45** herstellt. Die Leiterplatte **171** ist zum Modulatorgehäuse **172** vorzugsweise mittels einer Lötstelle **173** abgedichtet. Die Stirnseite der Leiterplatte ist vorzugsweise im Bereich des Raums **44** bzw. **111** durch ein nicht dargestelltes aufgelötetes Metallband versiegelt. Die Leiterplatte ist mehrlagig ausgeführt, um die einzelnen Hochfrequenzkanäle durch zwischengelegte Masseverbindungen abzuschirmen. Anstelle einer Leiterplatte kann auch eine andere Leitungsanordnung eingesetzt werden. Beispielsweise kann jeder Hochfrequenzkanal durch eine eigene abge-

schirmte Leitung angeschlossen werden. Das Modulorgehäuse **172** enthält eine Zugangsöffnung **174** zu den elektrischen Bauelementen. Der Modulatorkristall **34** kann an seiner Grundfläche metallisiert sein und ist vorzugsweise mittels einer Lötstelle oder einer Klebung **175** auf dem Modulorgehäuse befestigt. Direkt unterhalb der Befestigungsstelle kann sich ein Anschluß **176** an ein Kühlsystem befinden, um die Verlustwärme über die Öffnungen **87** durch ein Kühlmittel abzutransportieren. Das Modulorgehäuse **172** ist vorzugsweise durch einen Deckel **177** verschlossen, der die elektrischen Anschlüsse **181** trägt und auch die Anschlüsse für das Kühlsystem enthält, was aber nicht dargestellt ist. Mittels einer Dichtung **43** ist dafür gesorgt, daß das Modulorgehäuse **172** gasdicht in das Gehäuse **35** bzw. **93** der [Fig. 4](#), [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#), und [Fig. 4c](#) eingesetzt und mittels der Verbindung [Fig. 42](#) befestigt wird.

[0189] Es ist möglich, den elektrooptischen Modulator **168** in ähnlicher Weise an dem Modulorgehäuse (**172**) zu befestigen und über die Leiterplatte **171** zu kontaktieren.

[0190] In [Fig. 20](#) ist der prinzipielle Strahlengang zu dem Ausführungsbeispiel [Fig. 4](#) für die Strahlenbündel **144** der zugehörigen Fiberlaser F_{HD1} bis F_{HD4} angegeben. Die Strahlenbündel der Fiberlaser F_{VD1} bis F_{VD4} verlaufen teilweise deckungsgleich mit den gezeichneten Strahlen, haben aber erfindungsgemäß eine andere Wellenlänge und werden, wie aus [Fig. 4a](#) zu ersehen, über einen in [Fig. 20](#) nicht dargestellten wellenlängenabhängigen Spiegel **37** mit dem Strahlenpaket F_{HD1} bis F_{HD4} zu dem Strahlenpaket F_{D1} bis F_{D4} vereinigt. Weiterhin sind in [Fig. 20](#) nicht die Strahlenpakete der Fiberlaser F_{VR1} bis F_{VR4} und F_{HR1} bis F_{HR4} dargestellt, die, wie aus [Fig. 4a](#) zu ersehen, ebenfalls über einen wellenlängenabhängigen Spiegel zu dem Strahlenpaket F_{R1} bis F_{R4} vereinigt werden. Wie aus der Anordnung des Streifenspiegels **46** in [Fig. 4a](#) zu erkennen ist, würden die Strahlenbündel des Strahlenpaketes F_{R1} bis F_{R4} in [Fig. 20](#) um einen halben Spurabstand versetzt zu den gezeichneten Strahlen verlaufen. Damit enthält der vollständige Strahlengang statt der gezeichneten 4 Strahlenbündel insgesamt 8 Strahlenbündel, die auf der Bearbeitungsfläche insgesamt 8 getrennte Spuren ergeben. Es sind in [Fig. 20](#) nur die beiden Strahlenbündel **144** der Fiberlaser F_{HD1} und F_{HD4} dargestellt. Wie unter [Fig. 4](#) bereits erwähnt, können aber auch mehr Spuren angeordnet werden, zum Beispiel kann die Anzahl der Spuren auf der Bearbeitungsfläche auch auf 16 getrennt modulierbare Spuren erhöht werden. Diese Anordnung ermöglicht durch eine digitale Modulation des jeweiligen Lasers, d. h. der Laser wird durch Ein- und Ausschalten in nur zwei Zuständen betrieben, eine besonders einfache Steuerung und eine gute Formgebung des Bearbeitungsflecks auf der Bearbeitungsfläche. Diese digitale Modulations-

art erfordert nur ein besonders einfaches Modulationssystem.

[0191] Im hochwertigen Mehrfarbendruck ist eine Unterscheidung von mehr als 100 Tonwertstufen gefordert, um ausreichend glatte Farbverläufe zu erhalten, optimal wären mehr als 400 Tonwertstufen. Wenn man z. B. im Tiefdruck, bei dem das Volumen der Näpfchen die auf den Bedruckstoff aufgebrauchte Farbmenge bestimmt, ein Näpfchen aus 8×8 oder 16×16 kleinen Einzelnäpfchen zusammensetzt und die Näpfchentiefe konstant hält, kann man die bearbeitete Fläche in 64 bzw. 256 Stufen quantisieren. Wenn man aber die Näpfchentiefe durch zusätzliche analoge oder digitale Amplitudenmodulation oder eine Pulsdauermodulation der Laserenergie steuert, kann man das Volumen der Näpfchen auch bei geringer Anzahl von Spuren beliebig fein quantisieren. Wenn man die Näpfchentiefe zum Beispiel digital nur in 2 Stufen steuern würde, wie unter [Fig. 28](#) näher beschrieben, könnte man mit 8 Spuren ein Näpfchen aus 8×8 Einzelnäpfchen zusammensetzen, die jeweils 2 unterschiedliche Tiefen haben können. Das heißt, man könnte das Volumen der Näpfchen in diesem Fall in 128 Stufen quantisieren, ohne den Vorteil der rein digitalen Modulationsart zu verlieren, was für die Stabilität des Verfahrens einen erheblichen Vorteil ergibt. Bei 16 Spuren und zwei Stufen in der Näpfchentiefe beträgt die Anzahl der digital möglichen Quantisierungsstufen bereits 512. Es ist auch möglich, die Näpfchen in zwei Bearbeitungsdurchgängen zu erzeugen, um die Anzahl der Tonwertstufen zu erhöhen.

[0192] Die Modulatoren **34** sowie der Streifenspiegel **46** sind in der [Fig. 20](#) nicht dargestellt. Zur besseren Veranschaulichung ist der Querschnitt des Strahlenbündels **144** aus dem Abschlußstück des Fiberlasers F_{HD1} , das nach Passieren des wellenlängenabhängigen Spiegels deckungsgleich mit dem Strahlenbündel F_{D1} ist, mit einer Schraffur ausgelegt. Die Darstellung ist, wie alle anderen auch, nicht maßstäblich. Die beiden gezeichneten Strahlenbündel **144** ergeben auf der Bearbeitungsfläche **81** die Bearbeitungspunkte B_1 und B_4 , die zum Aufbau des Bearbeitungsflecks **24** beitragen und auf der Bearbeitungsfläche **81** entsprechende Bearbeitungsspuren erzeugen. Die Achsen der Abschlußstücke **26** und der Strahlenbündel **144** der einzelnen Fiberlaser verlaufen in [Fig. 20](#) parallel zueinander. Die Strahlenkegel der Abschlußstücke, d. h. die Form der Strahlenbündel **144**, sind schwach divergierend dargestellt. In der Figur wird eine Strahltaile innerhalb der Linse **133** angenommen. Der Divergenzwinkel ist zum Durchmesser des Strahlenbündels in der zugehörigen Strahltaile umgekehrt proportional. Die Lage der Strahltaile und ihr Durchmesser kann aber durch Verändern der Linse **133** im Abschlußstück **26**, **94**, und/oder ihrem Abstand zu der Faser **28** oder der Laserfaser **5** beeinflusst werden. Die Berechnung des Strahlengangs erfolgt in der be-

kannten Weise. Ziel ist, daß jeweils die Bearbeitungspunkte B_1 bis B_n auf der Bearbeitungsfläche **81** zu Strahltaillen werden, um die höchste Leistungsdichte in den Bearbeitungspunkten zu erhalten. Mit Hilfe der beiden Linsen **55** und **56** werden Strahltaillen und Spurabstände aus der Objektebene **182**, in der die Linsen **133** der Abschlußstücke **26** liegen, entsprechend dem Verhältnis der Brennweiten der Linsen **55** und **56** in eine Zwischenbildebene **183** verkleinert abgebildet. Wenn in diesem Fall der Abstand der Linse **55** von dem Abschlußstück **26** und von dem Überkreuzungspunkt **184** gleich ihrer Brennweite ist und wenn der Abstand der Linse **56** von der Zwischenbildebene **183** gleich ihrer Brennweite und gleich ihrem Abstand von dem Überkreuzungspunkt **184** ist, erhält man eine sogenannte telezentrische Abbildung, d. h. in der Zwischenbildebene verlaufen die Achsen der zu den einzelnen Spuren gehörenden Strahlenbündel wieder parallel. Die Divergenz ist aber deutlich vergrößert. Die vorzugsweise telezentrische Abbildung hat den Vorteil, daß die Durchmesser der nachfolgenden Linsen **57** und **61** nur unwesentlich größer sein müssen, als der Durchmesser eines Strahlenbündels. Die Linsen **57** und **61** verkleinern in einer zweiten Stufe das Bild aus der Zwischenbildebene **183** auf die Bearbeitungsfläche **81** in der beschriebenen Weise. Eine vorzugsweise telezentrische Abbildung, nämlich daß die Achsen der einzelnen Strahlenbündel zwischen der Objektivlinse **61** und der Bearbeitungsfläche **81** parallel verlaufen, hat hier den Vorteil, daß Abstandsveränderungen zwischen der Bearbeitungsfläche und der Laserkanone keine Veränderung im Spurabstand bringen, was sehr wichtig für eine präzise Bearbeitung ist. Die Abbildung muß nicht unbedingt wie beschrieben in 2 Stufen mit je 2 Linsen erfolgen, es gibt andere Anordnungen, die auch parallele Strahlachsen zwischen Objektivlinse und Bearbeitungsfläche erzeugen können, wie in [Fig. 21](#) und [Fig. 22](#) gezeigt wird. Auch sind Abweichungen in der Parallelität der Strahlachsen zwischen der Objektivlinse **61** und der Bearbeitungsfläche **81** tolerierbar, solange das Ergebnis der Materialbearbeitung zufriedenstellend ist.

[0193] In [Fig. 21](#) ist ein prinzipieller Strahlengang zu dem Ausführungsbeispiel [Fig. 4b](#) angegeben. Die Darstellung ist nicht maßstäblich. Wie bereits in [Fig. 20](#) handelt es sich bei den beiden Strahlenbündeln **144** der Laser F_{HD1} und F_{HD4} nur um eine Teilmenge der Strahlenbündel aller vorhandenen Laser, um das Prinzip zu erläutern. Im Gegensatz zu [Fig. 20](#) sind aber in [Fig. 21](#) die Achsen der einzelnen Strahlenbündel der Abschlußstücke nicht parallel, sondern unter einem Winkel zueinander angeordnet, was in [Fig. 24](#) näher dargestellt wird und vorteilhaft durch Abschlußstücke **94** gemäß den [Fig. 10](#), [Fig. 10a](#) und [Fig. 10b](#) erreicht wird. Durch diese Anordnung würden sich die einzelnen Strahlenbündel **144** ähnlich wie in [Fig. 20](#) überkreuzen, ohne daß eine Linse **55** erforderlich ist. Im Bereich des gedachten Über-

kreuzungspunktes ist die kurzbrennweitige Zerstreuungslinse, also eine Konkavlinse **101** eingefügt, die die ankommenden Strahlen wie dargestellt abknickt und die Strahlenbündel divergent macht, d. h. aufweitet. Die Konvexlinse **102** ist vorzugsweise im Schnittpunkt der Achsenstrahlen angeordnet und bildet zusammen mit der Linse **101** ein umgekehrtes Galileisches Teleskop. Dadurch werden beispielsweise parallele Eingangsstrahlenbündel in parallele Ausgangsstrahlenbündel mit vergrößertem Durchmesser zwischen den Linsen **102** und **103** umgewandelt. Die gewünschte Parallelität jedes Eingangsstrahlenbündels kann wie bereits beschrieben durch geeignete Wahl von Brennweite und Abstand der Linse **133** zur Faser **28** bzw. Laserfaser **5** in den Abschlußstücken **26**, **94** vorgenommen werden. Die Objektivlinse **103** fokussiert die vergrößerten Strahlenbündel auf die Bearbeitungsfläche **81** zu den Bearbeitungspunkten B_1 bis B_4 , die zum Aufbau des Bearbeitungsflecks **24** beitragen und auf der Bearbeitungsfläche **81** entsprechende Bearbeitungsspuren erzeugen. Durch Veränderung der Brennweite der Linse **103** kann der Abbildungsmaßstab auf einfache Art verändert werden. Deshalb ist es vorteilhaft, wenn die Linse **103** als austauschbare Objektivlinse ausgeführt wird. Es kann aber auch eine nicht zur Erfindung gehörende Vario-Fokussieroptik wie bereits beschrieben verwendet werden. Wenn die Position der Linse **103** so gewählt wird, daß der Abstand zwischen den Linsen **102** und **103** der Brennweite der Linse **103** entspricht, sind die Achsen der Strahlenbündel zwischen der Linse **103** und der Bearbeitungsfläche parallel und ergeben konstante Abstände der Spuren auf der Bearbeitungsfläche, auch bei verändertem Abstand zwischen der Laserkanone und der Bearbeitungsfläche.

[0194] In [Fig. 22](#) ist der prinzipielle Strahlengang zu dem Ausführungsbeispiel [Fig. 4c](#) angegeben. Die Darstellung ist, wie in allen anderen Figuren, nicht maßstäblich. Der Strahlengang ist dem der [Fig. 21](#) sehr ähnlich, mit dem Unterschied, daß statt der Linse **101** ein gewölbter Spiegel **121** und statt der Linse **102** ein Hohlspiegel **115** verwendet werden. Durch die sich ergebende Faltung ist der Strahlengang erheblich kürzer. Der Strahlengang entspricht etwa dem eines umgekehrten Spiegelteleskops. Spiegelteleskope sind unabhängig von der Wellenlänge, was bei der Verwendung von Lasern mit unterschiedlicher Wellenlänge vorteilhaft ist. Die Abbildungsfehler können durch die Verwendung von asphärischen Flächen reduziert werden oder mit einer optischen Korrekturplatte **117**, die aber nicht in [Fig. 22](#) gezeigt ist, korrigiert werden. Es ist vorteilhaft, wenn die Brennweite der Objektivlinse **112** gleich ihrem Abstand zu dem Hohlspiegel ist. Dann werden die Achsen der Strahlenbündel zwischen der Linse **112** und der Bearbeitungsfläche **81** parallel und ergeben konstante Abstände der Spuren auf der Bearbeitungsfläche, auch bei verändertem Abstand zwischen der Laserkanone und der Bearbeitungsfläche. Außerdem er-

gibt sich ein vorteilhaft großer Abstand von der Objektlinse zu der Bearbeitungsfläche. Es kann auch wie beschrieben eine nicht zur Erfindung gehörende Vario-Fokussieroptik eingesetzt werden.

[0195] In [Fig. 23](#) ist eine nicht zur Erfindung gehörende Anordnung mit mehreren Lasern gezeigt, bei der die einzelnen Laserausgänge in Form der Abschlußstücke **26** auf einem Kreissegment angeordnet sind und auf einen gemeinsamen Überkreuzungspunkt **185** zielen. Diese Anordnung ist besonders für direkt modulierbare Laser geeignet, da sich dann ein sehr geringer Aufwand ergibt. In einer solchen Anordnung kann die Abbildung auf die Bearbeitungsfläche **81** mit nur einer einzigen Linse **186** erfolgen. Es kann aber auch eine Anordnung nach den [Fig. 4b](#) oder [Fig. 4c](#) zur Abbildung verwendet werden. Die Strahlenkegel der Strahlenbündel aus den Abschlußstücken sind so eingestellt, daß sich für alle Laser auf der Bearbeitungsfläche **81** eine Strahltaile und somit ein scharfes Bild ergibt. Vorzugsweise sind die Abstände zwischen dem Überkreuzungspunkt **185** und der Linse **186** sowie zwischen der Linse **186** und der Bearbeitungsfläche **81** gleich groß und entsprechen der Brennweite der Linse **186**. In diesem Fall sind die Achsen der einzelnen Strahlenbündel zwischen der Linse **186** und der Bearbeitungsfläche **81** parallel und ergeben konstante Abstände zwischen den Bearbeitungsspuren, auch bei verändertem Abstand zwischen der Laserkanone und der Bearbeitungsfläche. Es können auch, wie aber nicht dargestellt, mehrere Ebenen von Lasern übereinander angeordnet werden, um die Leistungsdichte und die Leistung der Laserstrahlungsquelle zu erhöhen. Vorzugsweise sind die Ebenen der Laser parallel zueinander angeordnet. Dann ergibt sich wie in den [Fig. 29](#) und [Fig. 31](#) dargestellt, daß die einzelnen Strahlenbündel aus den einzelnen Ebenen in den Bearbeitungspunkten auf der Bearbeitungsfläche **81** auf einen Fleck treffen und so eine besonders hohe Leistungsdichte erzeugen.

[0196] In [Fig. 24](#) ist eine nicht zur Erfindung gehörende Variante zur [Fig. 23](#) angegeben. Es sind 4 Fiberlaser F_{HD1} , F_{HD2} , F_{HD3} , F_{HD4} mit ihren Abschlußstücken **94**, die in den [Fig. 10](#), [Fig. 10a](#), und [Fig. 10b](#) näher beschrieben werden, auf einem Kreissegment aneinander gereiht. Die Abschlußstücke **94** sind infolge ihrer Form besonders zum Aneinanderreihen geeignet. Da hier keine direkt modulierbaren Fiberlaser verwendet werden, ist ein vierkanaliger akustooptischer Modulator **34** eingefügt. Die piezoelektrischen Geber **45** können, wie in [Fig. 24](#) gezeigt, ebenfalls auf einem Kreissegment angeordnet sein. Sie können aber auch, wie in [Fig. 24a](#) dargestellt, parallel angeordnet sein, solange die Strahlenbündel noch ausreichend von dem akustischen Feld der piezoelektrischen Geber **45** erfaßt werden. Anstelle der Linse **186** wird vorteilhaft eine Übertragungseinheit ver-

wendet, wie sie in den [Fig. 4b](#) und [Fig. 4c](#) beschrieben ist.

[0197] In [Fig. 25](#) wird eine verkleinernde Zwischenabbildung mittels der Linsen **191** und **192** angegeben, so daß der Abstand zwischen den einzelnen Abschlußstücken **26**, **94** größer sein darf, als der Abstand zwischen den einzelnen Modulatorkanälen T1 bis T4 auf dem mehrkanaligen akustooptischen Modulator **34**. Das Abbildungsverhältnis entspricht dem Verhältnis der Brennweiten der beiden Linsen **191** und **192**. Die Zwischenabbildung wird vorzugsweise telezentrisch ausgebildet, indem der Abstand der Linse **191** zu den Linsen **133** der Abschlußstücke **26** bzw. **94** und zu dem Überkreuzungspunkt **193** gleich ihrer Brennweite ist, und indem der Abstand vom Überkreuzungspunkt **193** zu der Linse **192** sowie der Abstand der Linse **192** zum Modulatorkristall **34** gleich ihrer Brennweite ist. Es kann durch Verstellen des Abstands zwischen den beiden Linsen aber auch erreicht werden, daß die aus der Linse **192** austretenden Strahlen nicht mehr parallel verlaufen, sondern in einem Winkel zueinander, um daran einen Strahlengang gemäß den [Fig. 21](#) oder [Fig. 22](#) anzuschließen. Eine Zwischenabbildung gemäß [Fig. 25](#) kann auch in Verbindung mit einer Anordnung der Abschlußstücke auf einem Kreissegment gemäß [Fig. 23](#) und [Fig. 24](#) verwendet werden, was jedoch ebenfalls nicht Gegenstand der Erfindung ist.

[0198] Die Zwischenabbildung (**191**, **192**) wird in [Fig. 25](#) zwischen den Abschlußstücken (**26**, **94**) und dem Modulator (**34**) gezeigt. Es kann aber in Strahlrichtung vor oder nach der Zwischenabbildung ein wellenlängen- oder polarisationsabhängiger Spiegel **37** angeordnet sein. Es kann auch eine Zwischenabbildung (**191**, **192**) im Strahlengang nach dem Modulator, vor oder nach dem Streifenspiegel **46** angeordnet sein. Vorzugsweise wird die Zwischenabbildung im Strahlengang an den in [Fig. 4a](#) mit "E" bezeichneten Orten eingesetzt.

[0199] In den [Fig. 26](#) und [Fig. 26a](#) ist dargestellt, wie der Abstand zwischen den Spuren in der Bearbeitungsebene verringert werden kann. [Fig. 26](#) ist eine Seitenansicht, [Fig. 26a](#) die zugehörige Draufsicht. Da die aus den Abschlußstücken **26**, **94** austretenden Strahlenbündel **144** einen geringeren Durchmesser haben als die Gehäuse der Abschlußstücke, bleiben Zwischenräume bestehen, die nicht ausgenutzt werden. Außerdem werden die minimalen Abstände zwischen den Spuren und die maximalen Durchmesser der Strahlenbündel durch die mehrkanaligen akustooptischen Modulatoren **34** vorgegeben. Um die Abstände zwischen den Spuren zu erhöhen, wird ein Streifenspiegel **46** vorgesehen, der streifenförmig in Abständen abwechselnd transparent und verspiegelt ist. Der Streifenspiegel **46** und die Modulatoren sind in [Fig. 26a](#) nicht gezeigt. In den [Fig. 27](#) und [Fig. 27a](#) ist ein solcher Streifenspiegel **46** dargestellt, wobei

Fig. 27a eine Seitenansicht der **Fig. 27** zeigt. Auf einem geeigneten, für die Laserstrahlung transparenten Substrat **194** sind hoch reflektierende Streifen **195** aufgebracht. Die Zwischenräume **196** sowie die Rückseite sind vorzugsweise mit einer reflexmindernden Schicht versehen. Die Strahlenbündel **144** aus den Abschlußstücken **26**, **94** der Fiberlaser F_{D1} bis F_{D4} treten durch den transparenten Teil des Streifenspiegels **46** ungehindert hindurch. Die Strahlenbündel **144** aus den Abschlußstücken **26**, **94** der Fiberlaser F_{R1} bis F_{R4} sind so angeordnet, daß sie an den Streifen des Streifenspiegels so reflektiert werden, daß sie in einer Reihe mit den Strahlenbündeln F_{D1} bis F_{D4} liegen. Damit ist der Abstand zwischen den Spuren halbiert worden.

[0200] In **Fig. 27b** ist ein nicht zur Erfindung gehörender Streifenspiegel **46** dargestellt, bei dem das Substrat des Spiegels in den Zwischenräumen **196** entfernt wurde, und vorzugsweise die gesamte verbleibende Oberfläche hoch reflektierend verspiegelt ist, so daß sich Streifen **195** ergeben. In diesem Fall können die Streifenspiegel vorzugsweise aus Metall hergestellt werden, was bei hohen Leistungen und der damit verbundenen Erwärmung besonders vorteilhaft ist.

[0201] Eine Anordnung mit Streifenspiegeln kann sehr gut mit einer Anordnung mit wellenlängenabhängigen Spiegeln kombiniert werden, wie beispielsweise in den **Fig. 4**, **Fig. 4a**, **Fig. 4b**, **Fig. 4c** gezeigt ist. Über die Linse **55** kann der weitere Strahlengang gemäß **Fig. 20** angeschlossen werden. Es können die Achsen der einzelnen Abschlußstücke **26**, **94** aber auch unter einem Winkel angeordnet sein, wie in den **Fig. 23** und **Fig. 24** gezeigt ist. In diesem Fall kann der weitere Strahlengang gemäß **Fig. 21** oder **Fig. 22** verlaufen und die Linse **55** entfällt.

[0202] In den **Fig. 28** und **Fig. 28a** wird gezeigt, wie Fiberlaser verschiedener Wellenlänge, z. B. Nd:YAG Laser mit 1060 nm und solche mit einer anderen Dotierung mit 1100 nm über einen wellenlängenabhängigen Spiegel **37** miteinander vereinigt werden. Der Wellenlängenunterschied kann geringer sein, er kann aber auch größer sein. In **Fig. 28a** sind die Modulatoren und der wellenlängenabhängige Spiegel nicht gezeigt. Wellenlängenabhängige Spiegel sind vorzugsweise optische Interferenzfilter, die durch Aufdampfen von geeigneten dielektrischen Schichten auf ein für die betreffenden Wellenlängen transparentes Substrat hergestellt werden und als Hochpaß- oder Tiefpaßfilter sehr steile Filterkanten haben können. Wellenlängen bis zu der Filterkante werden durchgelassen, Wellenlängen jenseits der Filterkante werden reflektiert. Es sind auch Bandpaßfilter möglich. Ebenfalls kann man Laser gleicher Wellenlänge, aber verschiedener Polarisationsrichtung über polarisierte Strahlvereinigern, vorzugsweise Polarisationsprismen, zusammenführen. Es ist auch eine Kombi-

nation von polarisierten Strahlvereinigern und wellenlängenabhängigen Spiegeln möglich, aber nicht erfindungsgemäß. In **Fig. 28** treten die Strahlenbündel **144** aus den Abschlußstücken **26**, **94** der Fiberlaser F_{HD1} bis F_{HD4} mit der Wellenlänge λ_1 durch einen wellenlängenabhängigen Spiegel **37** ohne Behinderung hindurch, während die Strahlenbündel F_{VD1} bis F_{VD4} mit der Wellenlänge λ_2 an ihm reflektiert werden und somit beide Strahlenbündel nach dem Spiegel ineinander vereinigt sind. Über je einen mehrkanaligen akustooptischen Modulator **34** kann erfindungsgemäß jedes Strahlenbündel getrennt moduliert werden. Da auf der Bearbeitungsfläche jeweils 2 Laser verschiedener Wellenlänge im gleichen Bearbeitungspunkt die gleiche Spur bearbeiten, ist damit eine digitale Amplitudenmodulation in 2 Stufen einfach möglich, um z. B. bei der Erzeugung von Druckformen für den Tiefdruck die Tiefe der Näpfchen zu steuern, wenn die beiden beteiligten Strahlenbündel jeweils nur ein- oder ausgeschaltet werden. Es kann aber auch ein gemeinsamer Modulator für beide vereinigten Strahlenbündel verwendet werden. In diesem Fall ist der Modulator zwischen dem wellenlängenabhängigen Spiegel **37** und der Linse **55** angeordnet, wie in den **Fig. 4**, **Fig. 4a**, **Fig. 4b**, **Fig. 4c** dargestellt. Über die Linse **55** schließt sich der weitere Strahlengang der Übertragungseinheit gemäß **Fig. 20** an. Es können die Achsen einzelnen Abschlußstücke **26**, **94** aber auch unter einem Winkel zueinander angeordnet sein, wie in den **Fig. 23** und **Fig. 24** gezeigt ist. In diesem Fall kann der weitere Strahlengang gemäß **Fig. 21** oder **Fig. 22** verlaufen und die Linse **55** entfällt, was jedoch nicht Gegenstand der Erfindung ist.

[0203] In **Fig. 29** ist gezeigt, wie Fiberlaser mit ihren Abschlußstücken **26**, **94** (**Fig. 31**) in mehreren Ebenen angeordnet werden können, was ebenfalls nicht Gegenstand der Erfindung ist. Es liegen 3 Ebenen von Abschlußstücken, die an Fiberlaser angeschlossen sind, übereinander. Die erste Spur ist mit F_1 für die erste Ebene, mit F_2 für die zweite Ebene und mit F_3 für die dritte Ebene bezeichnet. Die Ziffern **11**, **12** und **13** bezeichnen die erste Ebene der weiteren Spuren. Die Achsen der aus den Abschlußstücken austretenden Strahlenbündel **144** sind in den einzelnen Ebenen parallel zueinander ausgerichtet. Die Achsen der Strahlenbündel der einzelnen Spuren können zueinander parallel verlaufen wie in **Fig. 20** dargestellt, oder unter einem Winkel zueinander gemäß **Fig. 23** oder **Fig. 24**.

[0204] In **Fig. 30** sind die Abschlußstücke **26**, **94** (**Fig. 31**) von 7 Fiberlasern F_1 bis F_7 in einem Sechseck so angeordnet, daß die Achsen ihrer Strahlenbündel **144** zueinander parallel sind. Hierzu können vorteilhaft Abschlußstücke nach **Fig. 12** verwendet werden. Dadurch ergibt sich der kleinstmögliche Durchmesser eines gemeinsamen Strahlenbündels aus sieben einzelnen Strahlenbündeln.

[0205] Die nicht die Erfindung betreffende [Fig. 31](#) ist zunächst eine Schnittdarstellung durch die drei Ebenen der ersten Spur der [Fig. 29](#). Eine Linse **197** sammelt alle eingehenden parallelen Strahlen in ihrem Brennpunkt **201** auf der Bearbeitungsfläche **81**. Dadurch werden Leistung und Leistungsdichte um die Anzahl der im Brennpunkt vereinigten Laser vervielfacht, bei 3 Ebenen also verdreifacht. Wenn die Achsen der aus den Abschlußstücken **26, 94** austretenden Strahlenbündel für Spuren und Ebenen parallel zueinander verlaufen, würden ebenfalls zusätzlich die Strahlenbündel aller Spuren in dem Brennpunkt vereinigt, und es würde auf der Bearbeitungsfläche ein gemeinsamer Bearbeitungspunkt entstehen, der eine Bearbeitungsspur erzeugt. Wenn die Achsen der aus den Abschlußstücken **26, 94** austretenden Strahlenbündel für die Spuren unter einem Winkel zueinander gemäß [Fig. 23](#) oder [Fig. 24](#) verlaufen, wird auf der Bearbeitungsfläche für jede Spur der Abschlußstücke bzw. ihrer Strahlenbündel ein Bearbeitungspunkt erzeugt, der eine Bearbeitungsspur erzeugt. Es werden also ebenso viele Bearbeitungsspuren nebeneinander aufgezeichnet, wie Spuren von Abschlußstücken angeordnet sind. Die Leistung der Strahlenbündel der verschiedenen Ebenen wird in dem jeweiligen Bearbeitungspunkt überlagert und die Leistungsdichte in dem gezeigten Beispiel verdreifacht. Dabei können die einzelnen Fiberlaser direkt moduliert werden, es können aber auch externe Modulatoren verwendet werden. In den [Fig. 32](#) und [Fig. 33](#) wird beschrieben, wie vorzugsweise ein entsprechend der Anzahl der Spuren mehrkanaliger akustooptischer Modulator zur gleichzeitigen Modulation aller Strahlenbündel der verschiedenen Ebenen verwendet werden kann.

[0206] [Fig. 31](#) ist weiterhin eine Schnittzeichnung durch die Bündelanordnung nach [Fig. 30](#). Die Linse **197** vereinigt in ihrem Brennpunkt **201** auf der Bearbeitungsfläche **81** die gesamte Leistung aller sieben Strahlenbündel F_1 bis F_7 der entsprechenden Fiberlaser. Damit werden die Leistung und die Leistungsdichte im Brennpunkt um den Faktor sieben höher, als die eines einzelnen Strahlenbündels. Wenn z. B. 100 W erforderlich sind, um auf der Bearbeitungsfläche eine erforderliche Leistungsdichte zu erzeugen, so reichen in diesem Fall sieben Laser mit einer Strahlungsleistung von je etwa 15 Watt aus. Es können auch mehr als sieben Laser angeordnet werden. Die Laser sind vorzugsweise direkt modulierbar. Es ist aber auch möglich, alle sieben Strahlenbündel separat oder insgesamt mit einem externen Modulator zu modulieren oder mehrere solcher Bündelanordnungen einem mehrkanaligen Modulator in solcher Weise zuzuführen, daß die Modulatorkanäle vorzugsweise im Brennpunkt einer jedem Bündel zugehörigen, vereinigenden Linse **197**, angeordnet sind. Es ist auch möglich, die vervielfachte Leistung eines jeden Bündels vor oder nach der Modulation in Fasern einzukoppeln. Weiterhin können solche Bündelanordnungen in vorteilhafter Weise in Laserkanonen gemäß den [Fig. 4](#), [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#), [Fig. 4c](#) eingesetzt werden.

[0207] [Fig. 32](#) zeigt in einem weiterführenden, nicht zur Erfindung gehörenden Beispiel, wie durch Anordnen von Abschlußstücken **26, 94** mit ihren zugehörigen Fiberlasern in mehreren Ebenen die Leistungsdichte auf der Bearbeitungsfläche erheblich erhöht werden kann, aber gleichzeitig eine Modulation aller zu einer Spur gehörenden Strahlenbündel **144** mit einem einzigen, entsprechen der Anzahl der Spuren mehrkanaligen akustooptischen Modulator **34** durchgeführt werden kann. In diesem Beispiel sind die Abschlußstücke in 3 übereinander liegenden Ebenen zu je n Spuren angeordnet. Die Leistung sämtlicher Strahlenbündel **144** aller Ebenen soll für jede Spur in der Bearbeitungsfläche weitgehend in einem Bearbeitungspunkt gebündelt sein, um eine hohe Leistungsdichte zu erzielen. Die Abschlußstücke **26, 94** sind in Spuren und Ebenen beispielsweise parallel angeordnet, indem die Abschlußstücke **26** eng aneinander gereiht sind. Dazu können wie gezeigt, Abschlußstücke mit rundem Querschnitt verwendet werden, vorzugsweise werden aber Abschlußstücke mit quadratischem Querschnitt nach [Fig. 9](#) und [Fig. 9a](#) eingesetzt. Bei der parallelen Anordnung der Spuren kann das dargestellte Abbildungssystem mit den zylindrischen Linsen **202** und **203**, auch Zylinderoptik genannt, beispielsweise sinngemäß zu einer Anordnung, wie die der [Fig. 4](#), hinzugefügt werden. Wenn die einzelnen Spuren aber unter einem Winkel gemäß den [Fig. 23](#) oder [Fig. 24](#) verlaufen sollen, werden vorzugsweise Abschlußstücke **94** nach den [Fig. 10](#), [Fig. 10a](#) und [Fig. 10b](#) verwendet. Auch in dieser Anordnung bleiben die Strahlenbündel der einzelnen Ebenen parallel, die Passungen der Abschlußstücke **94** sollen hierfür in der Seitenansicht [Fig. 10a](#) parallel verlaufen. Wenn die Achsen der Strahlenbündel für die Spuren unter einem Winkel zueinander verlaufen, kann die Zylinderoptik mit den Linsen **203** und **203** beispielsweise sinngemäß zu Anordnungen gemäß den [Fig. 4b](#) oder [Fig. 4c](#) hinzugefügt werden. Die aus den Abschlußstücken austretenden Strahlenbündel **144** sind auf die konvexe Zylinderlinse **202** gerichtet, die die Strahlen in ihrem Fokus zu einem Strich mit der Länge des Strahldurchmessers vereinigen würde. Im Bereich des Fokus der langbrennweitigen Zylinderlinse **2023** ist eine konkave Zylinderlinse **203** mit geringerer Brennweite als die Zylinderlinse **202**, so angebracht, daß ihr Fokus mit dem Fokus der Zylinderlinse **202** übereinstimmt. Dadurch werden die Strahlen, die die Linse **203** verlassen, wieder parallel. Die Abstände zwischen den einzelnen Ebenen haben sich aber gegenüber den Abständen, den die Strahlenbündel beim Verlassen der Abschlußstücke **26, 94** hatten, um das Verhältnis der Brennweiten der beiden Zylinderlinsen reduziert. In Richtung der Spuren sind die Abstände der Strahlenbündel unverändert geblieben, da die Zylinderlinsen

in dieser Richtung keine brechende Wirkung zeigen. Dadurch ergeben sich in dem Modulator elliptische Strahlquerschnitte. Der Zweck dieser Anordnung ist, die gesamte Höhe der 3 übereinander liegenden Ellipsen so klein zu machen, daß sie in etwa der langen Achse der Ellipsen entspricht, um in den Kanälen des akustooptischen Modulators ähnliche Verhältnisse zu schaffen, wie bei einem runden Strahlquerschnitt, damit beispielsweise ähnlich kurze Schaltzeiten erzielt werden.

[0208] In der nicht die Erfindung betreffenden [Fig. 33](#) ist gezeigt, daß man aber auch den Abstand der beiden Zylinderlinsen etwas verändern kann, so daß sich im Modulator alle drei elliptischen Strahlenbündel überlappen, was zwar eine geringere Schaltzeit im akustooptischen Modulator ergibt, aber auch eine höhere Leistungsdichte im Modulatorkristall mit sich bringt. Man kann zu diesem Zweck die Zylinderlinse **203** auch weglassen.

[0209] Die Zylinderoptik (**202**, **203**) wird in [Fig. 32](#) zwischen den Abschlußstücken (**26**, **94**) und dem Modulator (**34**) gezeigt. Es kann aber in Strahlrichtung vor oder nach der Zylinderoptik ein wellenlängen- oder polarisationsabhängiger Spiegel **37** angeordnet sein. Es kann auch eine Zylinderoptik (**202**, **203**) im Strahlengang nach dem Modulator, vor oder nach dem Streifenspiegel **46** angeordnet sein. Vorzugsweise wird die Zwischenabbildung im Strahlengang an den in [Fig. 4a](#) mit "E" bezeichneten Orten eingesetzt.

[0210] [Fig. 34](#) zeigt zum Entfernen des von der Bearbeitungsfläche abgetragenen Materials ein Mundstück **82**, dessen vorwiegende Aufgabe es ist, durch eine gerichtete Strömung dafür zu sorgen, daß sich im optischen Strahlengang zwischen Objektivlinse und Bearbeitungsfläche **81** möglichst keine Wolken aus Gasen und/oder abgetragenen Material bilden, die einen Teil der Laserenergie absorbieren und sich auf der Bearbeitungsfläche absetzen und so das Arbeitsergebnis negativ beeinflussen. Das Mundstück **82** ist vorzugsweise mit einfach lösbaren Verbindungen **204** an der Laserkanone **23** befestigt, so daß es einfach entfernt und gereinigt werden kann und auch eine einfache Reinigung sowie einen einfachen Austausch der nicht dargestellten Objektivlinse **61**, **103**, **112** ermöglicht. In einem vorzugsweise zylindrischen Grundkörper **205** befinden sich eine zylindrische Bohrung **206** zur Anpassung an die Objektivlinse und eine vorzugsweise konische Bohrung **207** als Durchlaß für die Strahlenbündel sowie eine weitere vorzugsweise zylindrische Bohrung, die den Bearbeitungsraum **211** darstellt. Der Abstand des Grundkörpers **205** zur Bearbeitungsfläche **81** soll nicht zu groß sein. In dem Bearbeitungsfleck **24** liegen die nicht dargestellten Bearbeitungspunkte zur Erzeugung der einzelnen Bearbeitungsspuren auf dem zu bearbeitenden Material. In dem Grundkörper befin-

det sich vorzugsweise eine breite umlaufende Absaugnut **212**, die über mehrere Absaugkanäle **213**, die einen großen Querschnitt haben sollen, mit dem Bearbeitungsraum **211** verbunden ist. Vorzugsweise sind 3 bis 6 Absaugkanäle **213** vorhanden. In dem Grundkörper befindet sich eine weitere vorzugsweise umlaufende Zuluftnut **214**, die über Düsenbohrungen **215** mit dem Bearbeitungsraum **211** und über kleinere Bypassbohrungen **216** mit der konischen Bohrung **207** verbunden ist. Vorzugsweise sind 3 bis 6 Düsenbohrungen **215** und 3 bis 20 Bypassbohrungen **216** auf dem Umfang der Zuluftnut **214** verteilt. Alle Bohrungen können gegen einander und gegenüber den Absaugkanälen **213** auf dem Umfang versetzt sein. Es können auch weitere Bypassbohrungen angebracht und auf die Objektivlinse gerichtet sein, was aber nicht dargestellt ist. Der Grundkörper ist umgeben von einem gasdicht aufgebrachten Ring **217**, der im Bereich der Nut **212** mehrere Absaugstutzen **221** enthält, an die Absaugschläuche angeschlossen sind, die über ein Absaugfilter zu einer Vakuumpumpe geführt werden. Absaugschläuche, Absaugfilter und Vakuumpumpe sind in [Fig. 34](#) nicht gezeigt. Im Bereich der Nut **214** enthält der Ring mindestens einen Zuluftstutzen **222**, über den mittels eines Zuluftschlauches gefilterte Druckluft zugeführt wird. Mittels eines Ventils kann die Zuluftmenge so eingestellt werden, daß sie gerade ausreicht, um den Bearbeitungsraum ausreichend zu spülen und daß sie über die Bypassbohrungen einen geringen Luftstrom entlang der konischen Bohrung erzeugt, der ein Eindringen von Partikeln in die konische Bohrung weitgehend verhindert. Zuluftschlauch, Ventil und Filter sind in [Fig. 34](#) nicht dargestellt. Die Düsenbohrungen **215** sind so auf den Bearbeitungsfleck **24** gerichtet, daß die bei der Bearbeitung entstehenden Wolken aus Gas, festem und geschmolzenem Material zügig aus dem Strahlengang heraus geblasen werden, damit diese so wenig wie möglich Laserenergie absorbieren und das Bearbeitungsergebnis nicht negativ beeinflussen können. Mit der Zuluft können auch oxidationsfördernde oder oxidationshemmende oder andere Gase eingeblasen werden, die sie sich positiv auf den Bearbeitungsvorgang auswirken. Durch den Spalt zwischen der Bearbeitungsfläche und dem Grundkörper **205** fließt auch eine geringe Luftmenge aus der Umgebung mit durch den Bearbeitungsraum zu den Absaugkanälen, was aber nicht dargestellt ist. Das Filter in der Absaugleitung ist in der Nähe des Mundstückes gut zugänglich angebracht und sorgt für eine Reinhaltung der Vakuumpumpe. Es ist auch möglich, das Filter direkt in der Absaugnut **212** anzubringen. Wie unter [Fig. 39a](#) beschrieben, ist es hilfreich, wenn zusätzlich ein Schutzgas über die Objektivlinse geführt wird. Sollte das Mundstück **82** durch die von der Bearbeitungsfläche reflektierte Laserstrahlung zu heiß werden und reicht die durchströmende Luft zur Kühlung nicht aus, dann kann das Mundstück mit zusätzlichen Bohrungen versehen werden, durch die ein Kühlmittel gepumpt wird,

was aber nicht in den Figuren gezeigt ist. Es kann sich auch innerhalb der zylindrischen Bohrung **205** eine einfach zu wechselnde, beiderseits hoch vergütete Glasplatte **218** befinden, die Schmutzpartikel von der Objektivlinse fernhält und ihrerseits bei Bedarf oder vorbeugend einfach ausgetauscht werden kann. Die Form des Mundstücks kann auch von der beschriebenen und dargestellten Form abweichen. Beispielsweise müssen die Bohrungen nicht wie beschrieben zylindrisch oder konisch ausgeführt sein, sie können in der Form variiert werden. Ebenso können beispielsweise die Düsenbohrungen und Absaugkanäle beliebige Formen annehmen und auch unsymmetrisch angeordnet werden. Beispielsweise können in **Fig. 34** die Düsenbohrungen mehr im oberen Teil der Figur angeordnet werden, während die Absaugkanäle mehr im unteren Teil der Figur liegen. Man kann beispielsweise auch auf die Düsenbohrungen und/oder die Bypassbohrungen verzichten. Auch kann die Form des Mundstückes abgewandelt werden, insbesondere wenn die Form der Bearbeitungsfläche und die Art der Relativbewegung zwischen Bearbeitungsfläche und Laserstrahlungsquelle dies verlangen. Es ist denkbar, eine abgewandelte Form des beschriebenen Mundstückes einzusetzen, wenn das zu bearbeitende Material sich beispielsweise statt auf einer Trommeloberfläche auf einer ebenen Fläche befindet, was nicht zur Erfindung gehört, und die Laserstrahlung zeilenweise daran vorbeigeführt wird. In diesem als Flachbett-Anordnung bezeichneten Fall, der in den **Fig. 43**, **Fig. 43a** und **Fig. 43b** näher dargestellt ist, wird das Mundstück der Zeilenlänge entsprechend langgestreckt ausgeführt und seiner Länge entsprechend mit einem langgezogenen Bearbeitungsraum versehen. Von einer oder von beiden Seiten ist das Mundstück mit Düsenbohrungen und Absaugkanälen bestückt. Die Glasplatte würde in diesem Fall eine Rechteckform erhalten und sich über die gesamte Länge der Anordnung erstrecken. Man könnte die **Fig. 34** in diesem Fall sinngemäß als einen Querschnitt des langgezogenen Mundstücks betrachten. Auch wenn das zu bearbeitende Material sich nicht-erfindungsgemäß in einem Hohlzylinder befindet, was in den **Fig. 44a** und **Fig. 44b** näher dargestellt ist, läßt sich ein ähnliches Mundstück herstellen, indem das für die Flachbett-Anordnung beschriebene Mundstück in seiner Längsrichtung so an die Form des Hohlzylinders angepaßt wird, daß sich über die gesamte Länge ein geringer Spalt zwischen der Bearbeitungsfläche und dem Mundstück ergibt. Die Glasplatte würde in diesem Fall eine Rechteckform erhalten und über die gesamte Länge der Anordnung durchgebogen sein.

[0211] In der Nähe des Mundstücks, aber nicht notwendigerweise mit ihm oder mit der Laserkanone verbunden, kann sich eine an sich bekannte Schabeeinrichtung befinden, die aber nicht in den Figuren gezeigt ist. Es ist beispielsweise die Aufgabe der Schabeeinrichtung, während des Bearbeitungsvorgangs

an Tiefdruckformen die an den Rändern der Näpfchen entstehenden Aufwertungen abzuschaben. Des weiteren kann sich vorzugsweise in der Nähe der Laserkanone eine nicht dargestellte Bürsteneinrichtung befinden, die die ausgehobenen Näpfchen ausbürstet und von anhaftendem Schmutz befreit. Weiterhin kann sich erfindungsgemäß vorzugsweise an der Laserkanone eine nicht dargestellte Meßeinrichtung befinden, die die Position und/oder das Volumen der Näpfchen unmittelbar nach ihrer Erzeugung mißt. Im Gegensatz zu Näpfchen, die mittels elektromechanischer Gravur oder mit einem einzelnen Laserstrahl hergestellt worden sind, läßt sich für Näpfchen, die mit der erfindungsgemäßen Laserstrahlungsquelle erzeugt werden und steile Kanten und konstante Tiefe haben, das Volumen erfindungsgemäß präziser bestimmen, indem mit einer speziellen, schnellen Kamera die Fläche des Näpfchen ermittelt und daraus das Volumen abgeleitet wird. Dabei ist es vorteilhaft, eine Serie von Näpfchen auszumessen, um Meßfehler zu reduzieren. Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß zu diesem Zweck spezielle Kontrollfelder in einem Bereich des Tiefdruckzylinders graviert werden, der zu Kontrollmessungen und/oder zu Kontrolldrucken vorgesehen ist. Mit dieser Meßgröße für die erzeugten Näpfchen und mit der für diesen Ort vorgegebenen Näpfchengröße kann ein Soll-/Ist-Vergleich erstellt werden. Das Ergebnis kann dazu verwendet werden, um die Position und/oder das Volumen der anschließend erzeugten Näpfchen zu korrigieren.

[0212] In **Fig. 35** sind die Verhältnisse auf der Bearbeitungsfläche dargestellt. Die Bearbeitungspunkte sind mit Indizes gekennzeichnet, die auf die sie erzeugenden Strahlenbündel der Fiberlaser gemäß den **Fig. 4**, **Fig. 4a**, **Fig. 4b** und **Fig. 4c** hindeuten. Zum Beispiel erzeugen die Strahlenbündel der Fiberlaser F_{VR1} und F_{HR1} gemeinsam den Bearbeitungspunkt $B_{FVR1+FHR1}$. Der Durchmesser der Bearbeitungspunkte ist mit B bezeichnet, ihr Abstand mit A . In dem unter **Fig. 19** und **Fig. 19a** beschriebenen mehrkanaligen akustooptischen Modulator ist der zulässige Durchmesser des Strahlenbündels **144** kleiner als der Abstand der Kanäle des Modulators. Auch in den Abschlußstücken **26**, **94** kann der Durchmesser des Strahlenbündels **144** nicht ohne großen Aufwand ebenso groß gemacht werden, wie der Außendurchmesser der Abschlußstücke. Hieraus ergibt sich, daß A somit größer als B ist. Dies führt zu unerwünschten Zwischenräumen bei den Bearbeitungsspuren **224**, die sich infolge der Relativbewegung zwischen dem zu bearbeitenden Material und der Laserkanone ergeben. Die Bearbeitungsspuren haben eine Spurbreite D , die dem Durchmesser der Bearbeitungspunkte B entsprechen und in **Fig. 35** mit 1 bis 8 gekennzeichnet sind. Um diese Zwischenräume zu reduzieren, wurden bereits mittels des Streifenspiegels wie unter **Fig. 4**, **Fig. 4a**, **Fig. 26** und **Fig. 26a** beschrieben, zwei Strahlenpakete ineinander verschachtelt, um die Zwischenräume zu halbieren.

ren. Um die verbleibenden Zwischenräume noch weiter zu reduzieren oder ganz zu vermeiden oder die Bearbeitungsspuren **224** zur Überlappung zu bringen, kann man die Laserkanone gegenüber der relativen Bewegungsrichtung zwischen dem zu bearbeitenden Material und der Laserkanone so verdrehen, daß die Spuren näher aneinander kommen, was in [Fig. 35](#) gezeigt ist. Um beispielsweise einen Abstand C der Bearbeitungsspuren **224** zu erzielen, der gleich dem Durchmesser B der Bearbeitungspunkte ist, muß die Laserkanone nach der Beziehung $\cos \beta = B/A$ um den Winkel β verdreht werden. Durch die Verdrehung der Laserkanone entstehen auf der Bearbeitungsfläche Verzerrungen in der Bildinformation, da die Anfänge in den einzelnen Bearbeitungsspuren nunmehr gegeneinander verschoben sind. Diese Verzerrungen werden aber bereits bei der Aufbereitung der Bearbeitungsdaten kompensiert. Es ist auch möglich, diese Kompensation durch eine einstellbare unterschiedliche Verzögerung der Signale in den einzelnen Datenkanälen unmittelbar vor der Modulation vorzunehmen oder die Verzerrungen einfach hinzunehmen. Weitere Möglichkeiten zur Einstellung und Verringerung der Abstände der Bearbeitungsspuren sind in den [Fig. 36](#), [Fig. 36a](#) und [Fig. 37](#) dargestellt.

[0213] In [Fig. 36](#) ist in einem Beispiel dargestellt, wie sich Bearbeitungspunkte $B_1 \dots B_4$ auf der Bearbeitungsfläche ergeben, wenn in einem mehrkanaligen akustooptischen Modulator **34** mit 4 getrennten Kanälen die einzelnen Kanäle mit verschiedenen Frequenzen f_1 bis f_4 beaufschlagt werden. In [Fig. 36a](#) ist an einem nicht maßstäblichen Beispiel mit rotierender Trommel, auf der die Bearbeitungsfläche liegen soll, dargestellt, wie die durch die Linse **165** fokussierten Strahlenbündel auf der Mantellinie M der Trommel auftreffen. Dazu ist der Modulator **34** mit den Kanälen T_1 bis T_4 zu den Strahlenbündeln **144** der Faserlaser F_1 bis F_4 entsprechend angeordnet. Durch eine geeignete Wahl der Frequenzen f_1 bis f_4 erreicht man, daß die Teilstrahlen, die die Bearbeitungspunkte B_1 bis B_4 erzeugen, in gewünschten Abständen zueinander liegen. Dies hat den Vorteil, daß die Lage jedes Bearbeitungspunktes und somit jeder Bearbeitungsspur **223** individuell durch Verstellen der zugehörigen Frequenz einstellbar ist. In diesem Beispiel werden die abgelenkten Strahlen zur Materialbearbeitung benutzt, während die nicht abgelenkten Strahlen I_0 durch eine Abfanganordnung gemäß [Fig. 18](#) ausgeblendet werden, was aber nicht in den [Fig. 36](#) und [Fig. 36a](#) dargestellt ist.

[0214] [Fig. 37](#) stellt einen weiteren Vorteil der Anordnung nach [Fig. 36a](#) heraus, nämlich daß durch gleichzeitiges Anlegen von zwei unterschiedlichen Frequenzen an die jeweiligen Modulatorkanäle anstelle der Bearbeitungspunkte B_1 bis B_4 nun jeweils zwei Bearbeitungspunkte B_{11} , B_{12} bis B_{41} , B_{42} entstehen. Damit sind anstelle von 4 Bearbeitungsspuren nunmehr 8 getrennt modulierbare Bearbeitungs-

spuren **224** entstanden, ohne die Anzahl der Laser und/oder der Modulatorkanäle zu erhöhen. Es liegt im Rahmen der Erfindung, auch mehr als zwei Frequenzen je Modulator zu verwenden. Es sind bereits 12 unterschiedliche Frequenzen mit einem Modulatorkanal zu einem ähnlichen Zweck realisiert worden. Ein weiterer Vorteil bei der Erzeugung von Bearbeitungspunkten mittels der akustooptischen Ablenkung ist die mögliche Verschiebung der Bearbeitungspunkte mit hoher Ablenkgeschwindigkeit. Durch Verändern der angelegten Frequenzen kann man einzelne oder alle Bearbeitungsspuren **224** sehr schnell gegenüber ihrer bisherigen Lage versetzen und hat damit eine weitere Möglichkeit, die Lage und Form der Näpfchen günstig zu beeinflussen. Mit dieser Maßnahme kann man auch insbesondere sehr genau die Lage der Bearbeitungsspuren einer Sollgröße entsprechend nachführen. Dabei sind Genauigkeiten von einem Bruchteil einer Spurbreite möglich. Erfindungsgemäß kann man mit einem bekannten interferometrisch arbeitendem Meßsystem die Ist-Position der einzelnen Bearbeitungsspuren präzise ermitteln, indem man beispielsweise die Ist-Position der Laserstrahlungsquelle während des Bearbeitungsvorgangs aufnimmt und durch Vergleich mit der Soll-Position der Bearbeitungsspuren ein Korrektursignal zur erforderlichen Verschiebung und Nachführung der Bearbeitungsspuren erzeugen. Dies kann besonders dann von Interesse sein, wenn an ein bereits vorhandenes Bearbeitungsmuster nahtlos angeschlossen werden soll oder wenn ein bereits vorhandenes Muster nachbearbeitet werden soll.

[0215] Wie unter [Fig. 18](#) und [Fig. 18a](#) beschrieben, kann man aber auch ein- oder mehrkanalige elektrooptischen Modulatoren in Zusammenhang mit einem doppelbrechenden Material einsetzen, um jeden Laserstrahl in zwei Strahlen aufzuspalten, die über weitere elektrooptische oder akustooptische Modulatoren getrennt moduliert werden können.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Materialbearbeitung mittels Laserstrahlung (**13**), bestehend aus:
einem Gehäuse (**21**) zur Aufnahme einzelner Komponenten der Anordnung,
mindestens einer in dem Gehäuse (**21**) angeordneten drehbar gelagerten, von einem Antrieb in Rotation gesetzten Trommel (**22**), auf deren Oberfläche eine Bearbeitungsfläche (**81**) vorgesehen ist,
mindestens einer Laserstrahlungsquelle (**1**), die aus mehreren Faserlasern (**2**) besteht und eine Laserkanone (**23**) enthält, in welche die Faserlaser (**2**) eingespeist werden und die eine optische Einheit (**8**) zur Formung der Laserstrahlung (**13**) aufweist,
einer Modulationseinheit,
einer Steuerung (**33**) für die Faserlaser (**2**) und die Modulationseinheit,

mindestens einem in dem Gehäuse (21) angeordneten Schlitten, der auf einer Führung entlang der Trommel (22) von einem Vorschubantrieb axial verschiebbar ist und auf dem die Laserkanone (23) angeordnet ist,

einem Kühlsystem zur Ableitung der Verlustwärme der Laserstrahlungsquelle (1), und einer Maschinensteuerung für die Antriebe,

wobei die aus der Laserkanone (23) austretende Laserstrahlung (13) auf die Bearbeitungsfläche (81) gerichtet ist und in mehreren nebeneinander liegenden Bearbeitungsspuren (224) auf der Bearbeitungsfläche (81) auftrifft, und

wobei zur Veränderung eines Spurabstands der Bearbeitungsspuren (224) auf der Bearbeitungsfläche (81) die Laserkanone (23) um ihre optische Achse drehbar ist.

2. Anordnung zur Materialbearbeitung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an jeder Trommel (22) mehrere Laserstrahlungsquellen (1) vorgesehen sind.

3. Anordnung zur Materialbearbeitung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Laserkanone (23) ein Mundstück (82) zum Entfernen eines von der Bearbeitungsfläche (81) abgetragenen Materials vorgesehen ist.

4. Anordnung zur Materialbearbeitung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Modulationseinheit akustooptische Ablenker oder Modulatoren (34) aufweist, die Steuereingänge zur Veränderung des Abstands zwischen den Bearbeitungsspuren (224) und/oder der Laserstrahlleistung während des Bearbeitungsvorgangs aufweisen.

5. Anordnung zur Materialbearbeitung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Messung der Abweichung der Lage der Bearbeitungsspuren (224) von ihrer Soll-Lage während des Bearbeitungsvorgangs vorgesehen sind, wobei aufgrund der Abweichungen Steuersignale erzeugt werden, die während des Bearbeitungsvorgangs so auf die akustooptischen Ablenker einwirken, dass die Abweichungen beseitigt werden.

6. Anordnung zur Materialbearbeitung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schabe- und/oder Bürsteneinrichtung zum Abschaben und/oder Abbürsten des bei der Materialbearbeitung entstehenden Materialabtrags vorgesehen ist.

7. Anordnung zur Materialbearbeitung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messeinrichtung zur Bestimmung von Volumina von mittels der Laserstrahlung (13) in der Bearbeitungsfläche (81) ausgehobenen Vertiefungen oder Näpfchen vorgesehen ist und dass

ein Regelkreis zum Vergleich der gemessenen Näpfchenvolumina mit einem Sollwert vorgesehen ist, wobei durch die Abweichungen Steuersignale erzeugt werden, um die Abweichungen zu beseitigen.

8. Verwendung einer Anordnung zur Materialbearbeitung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Gravur von Vertiefungen oder Näpfchen in die Bearbeitungsfläche (81).

9. Verwendung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Raster für den Offsetdruck, den Tiefdruck, den Hochdruck, den Siebdruck, den Flexodruck und den Transferdruck erzeugt werden.

Es folgen 38 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

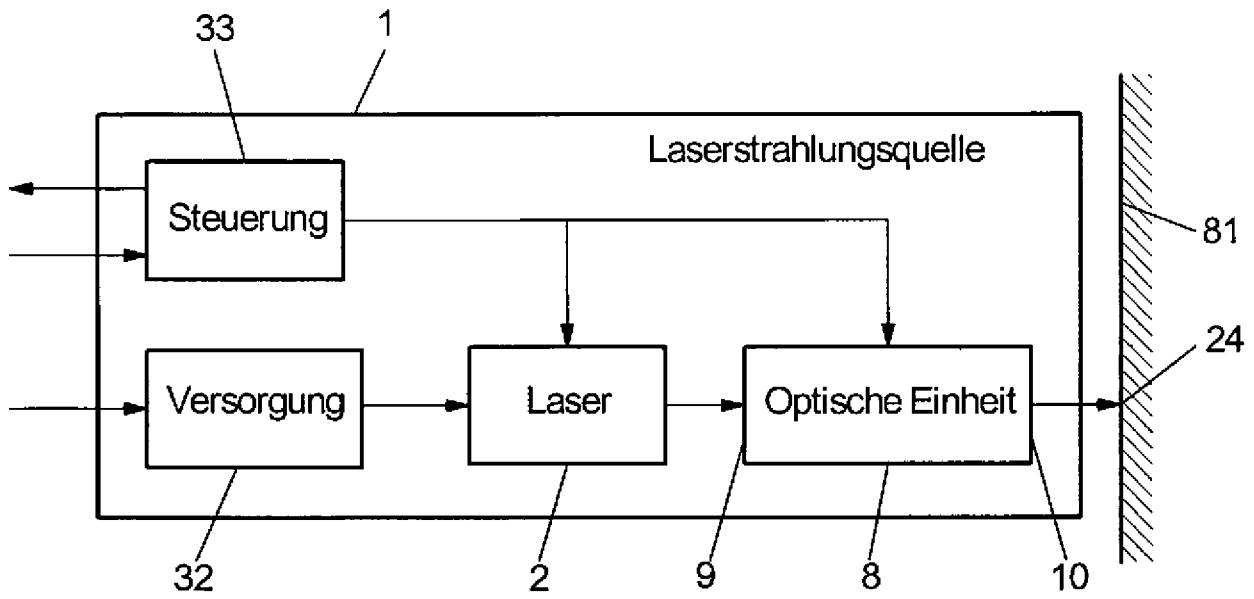


Fig. 1

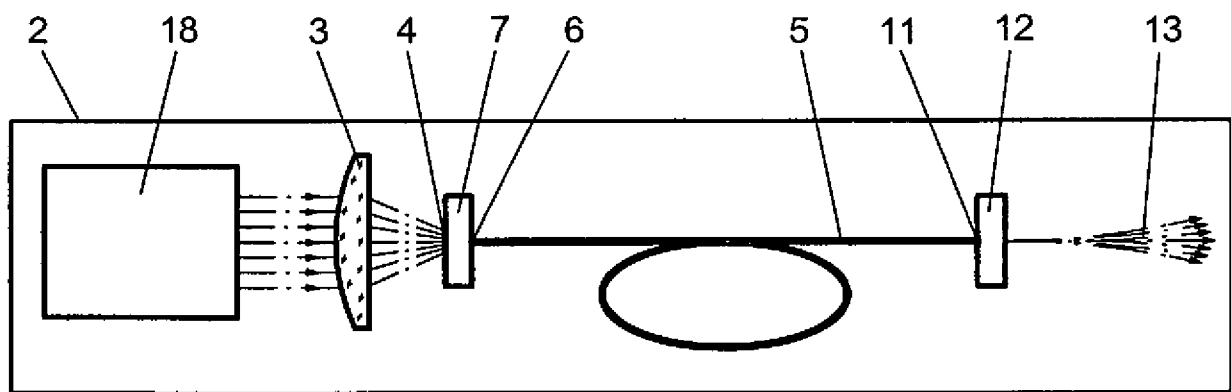


Fig. 2

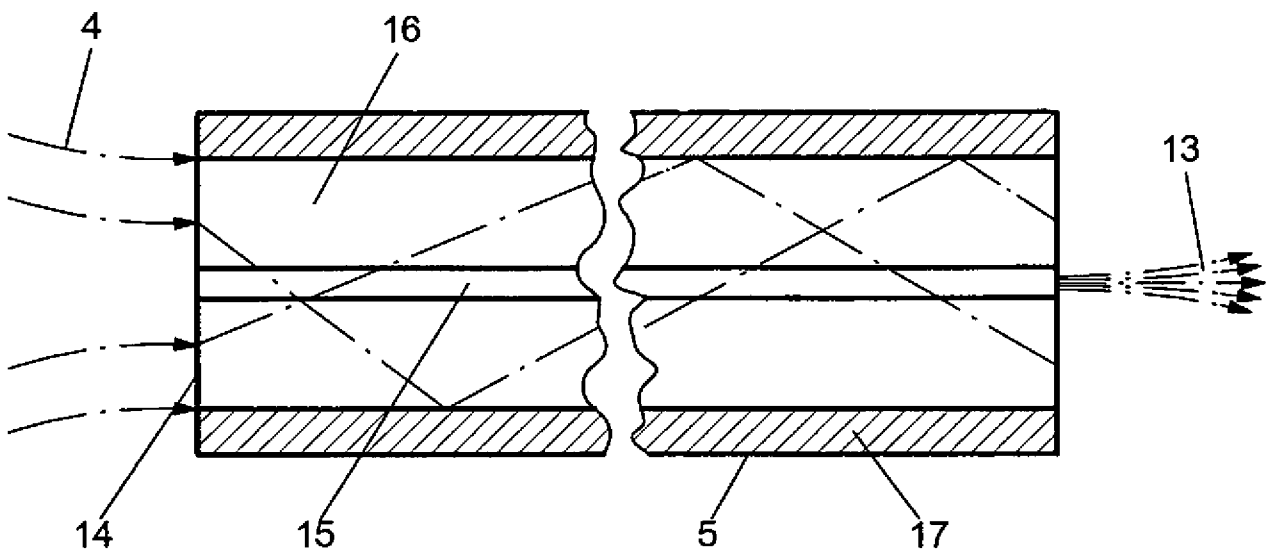


Fig. 2a

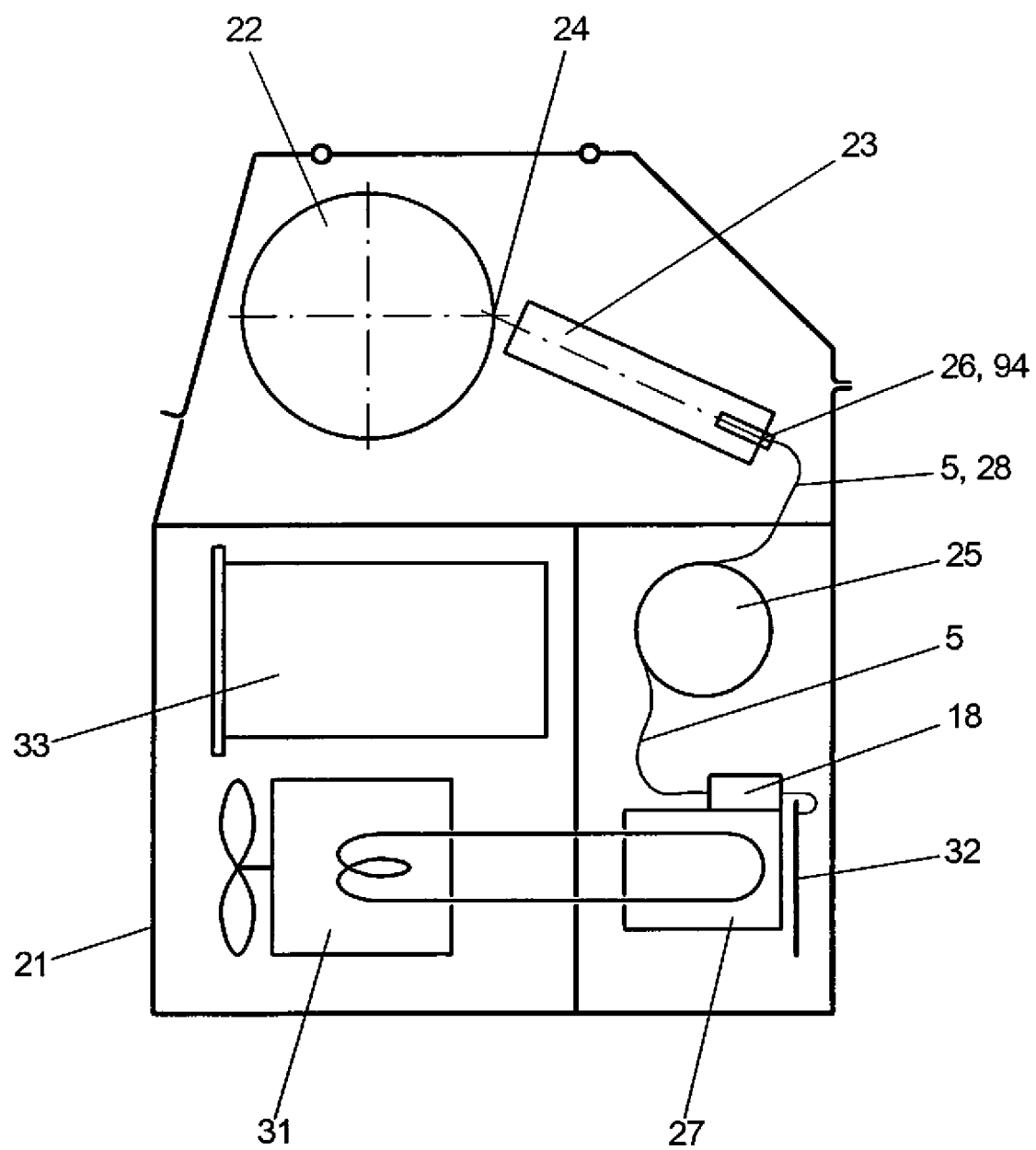


Fig. 3

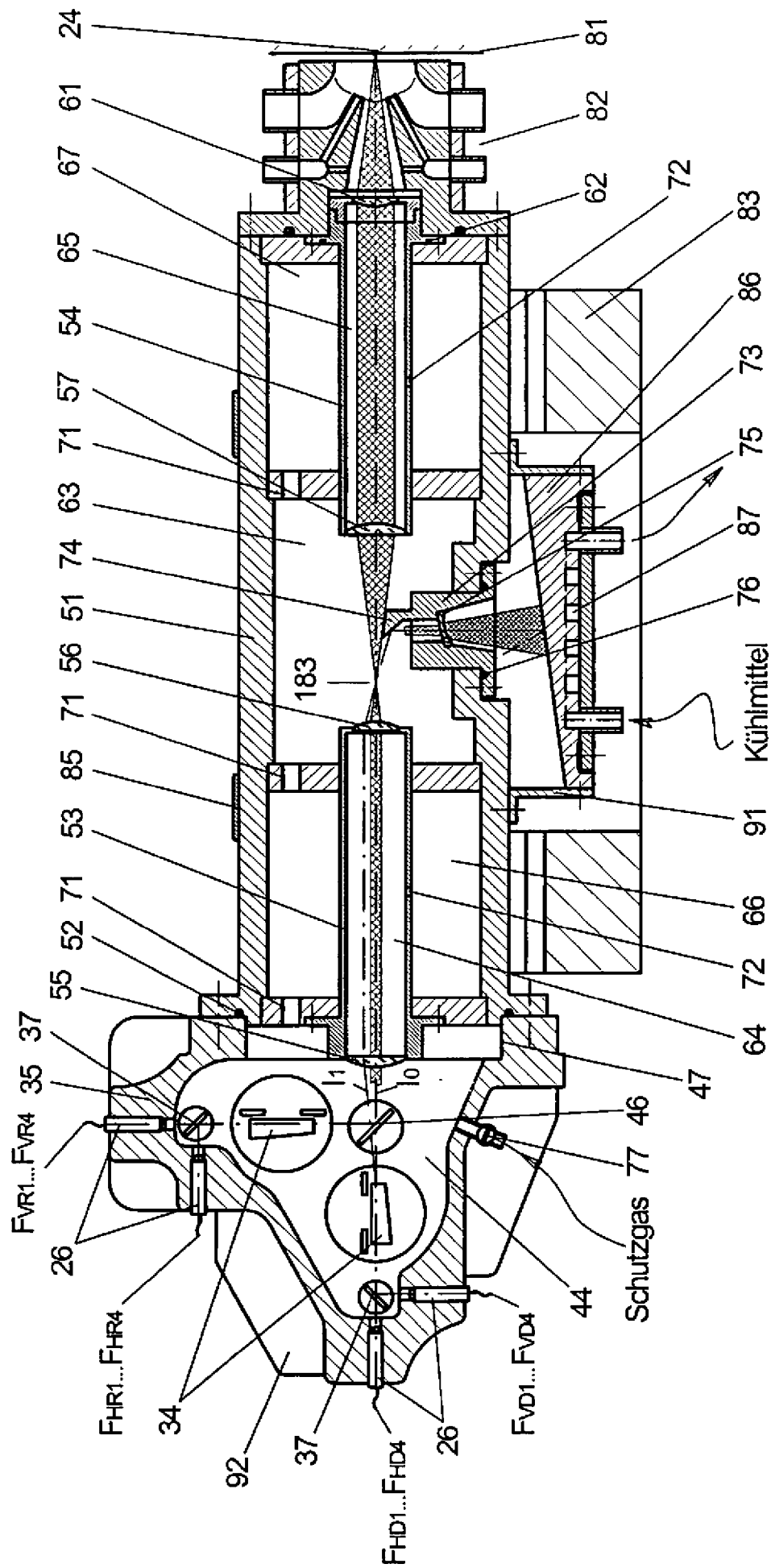
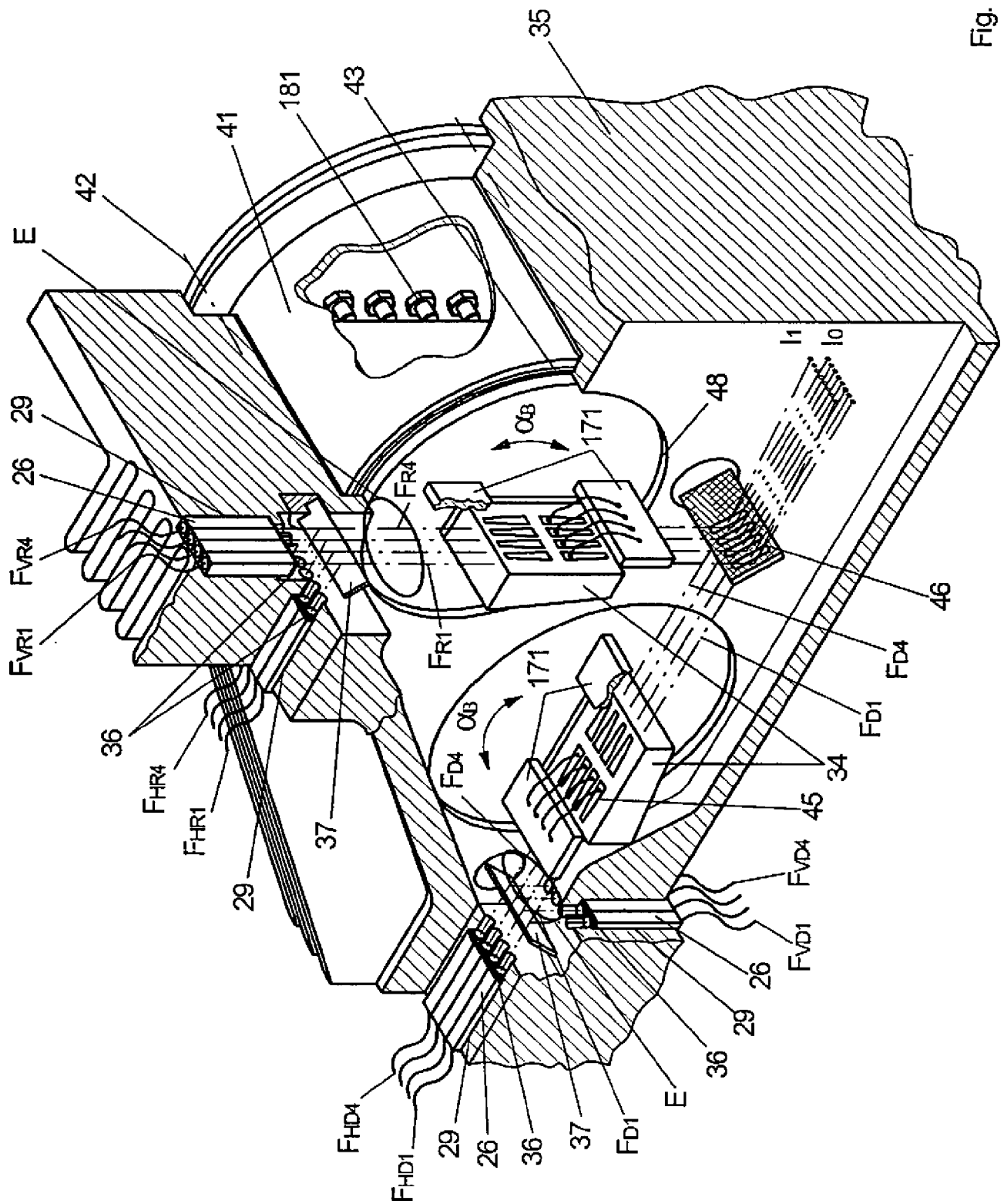


Fig. 4

Fig. 4a



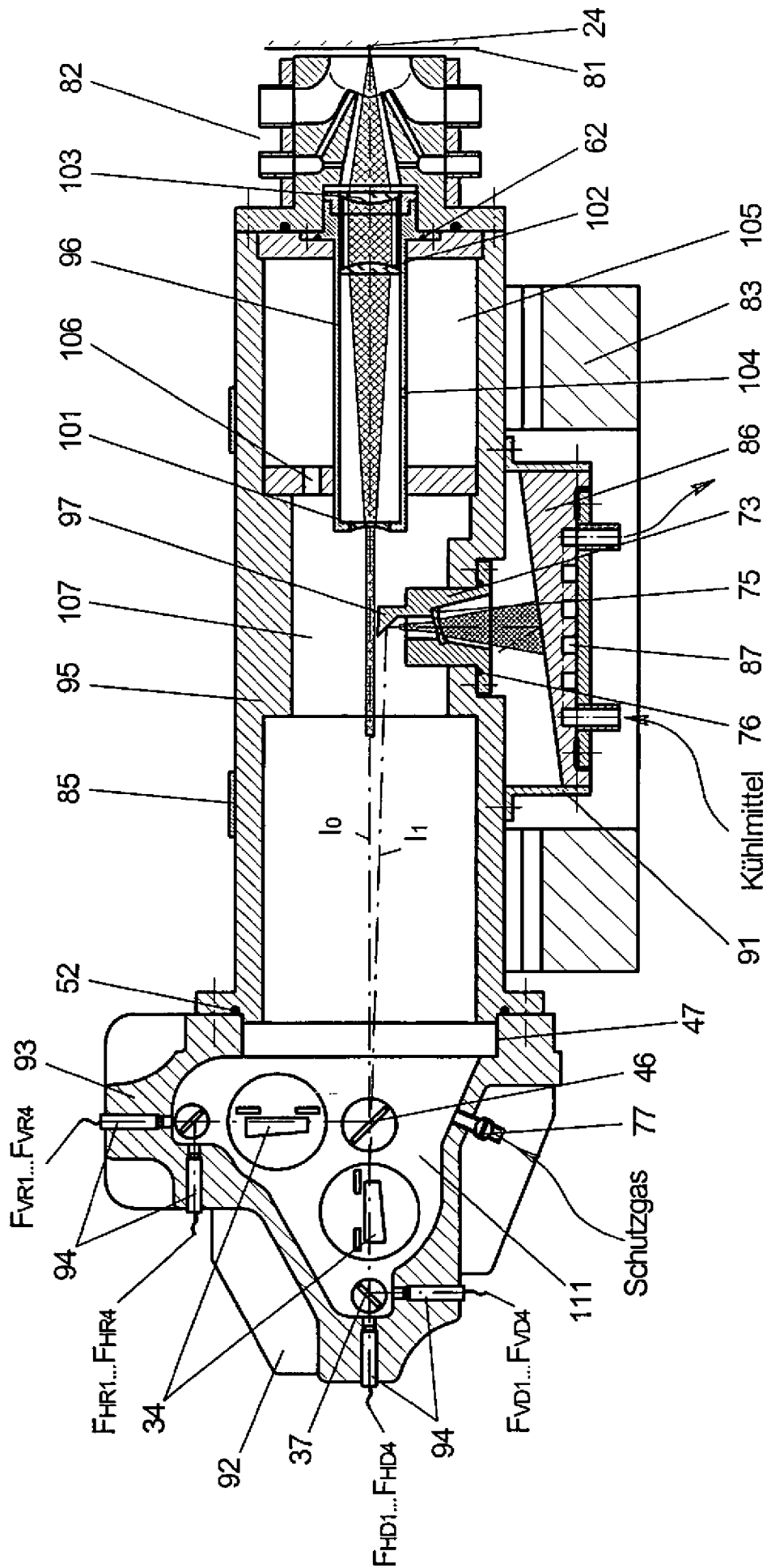


Fig. 4b

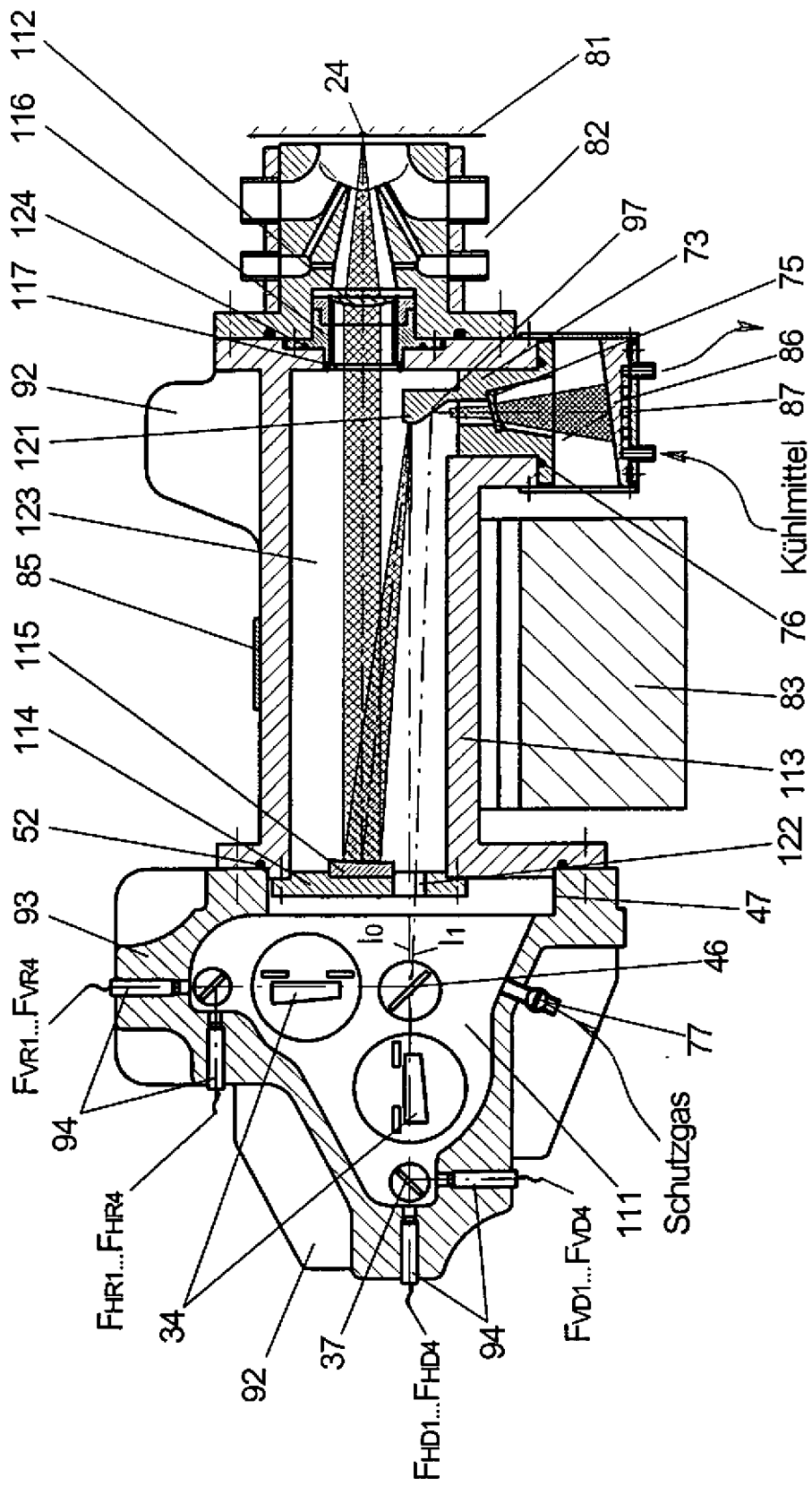


Fig. 4c

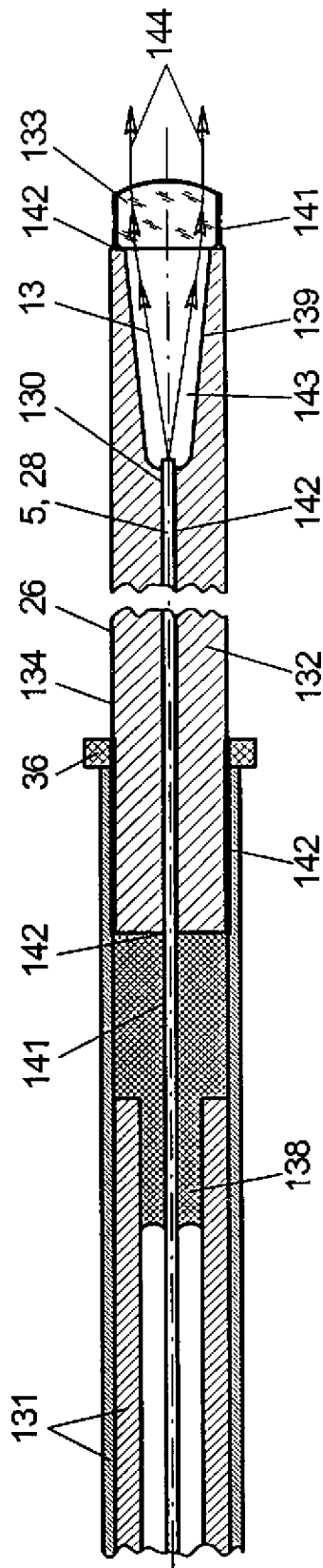


Fig. 5

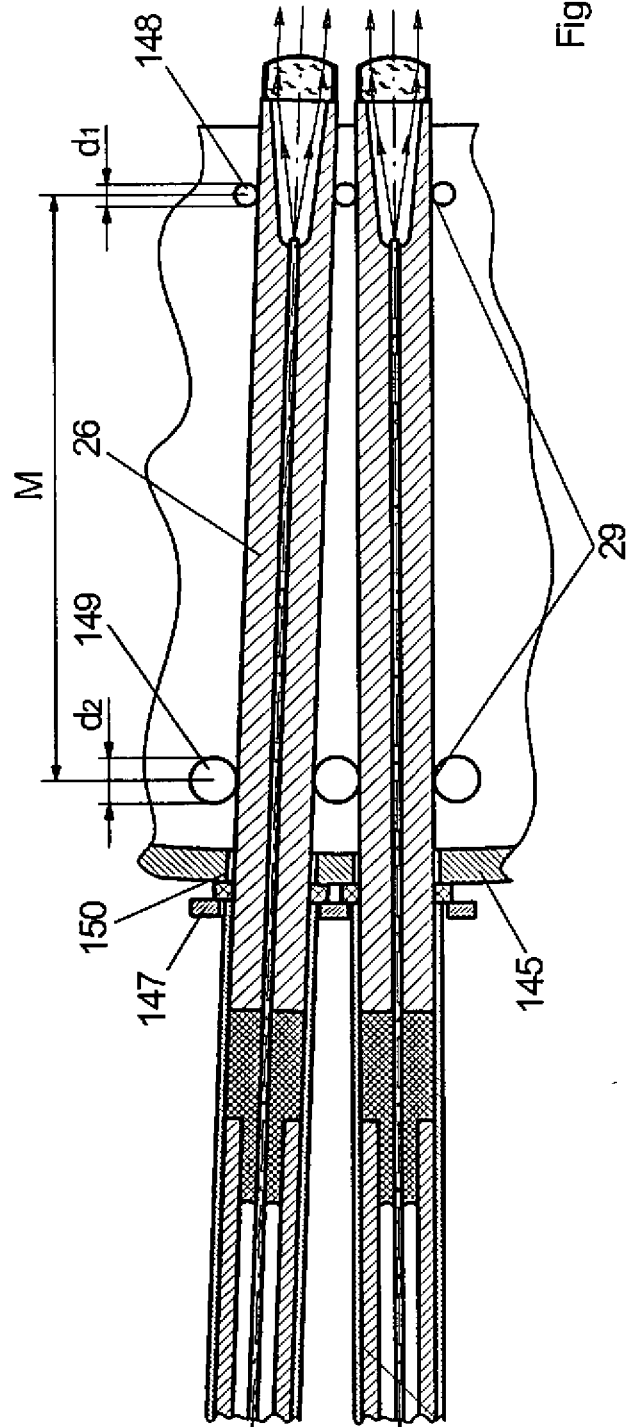
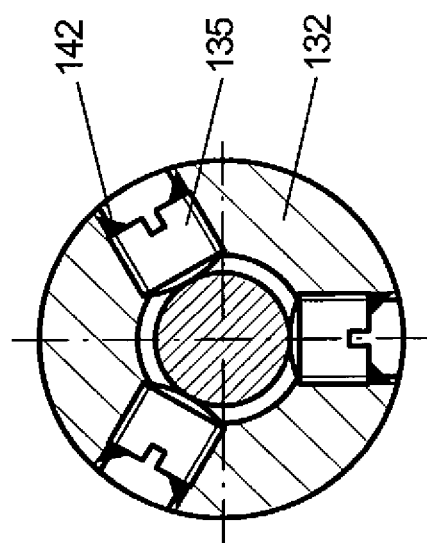
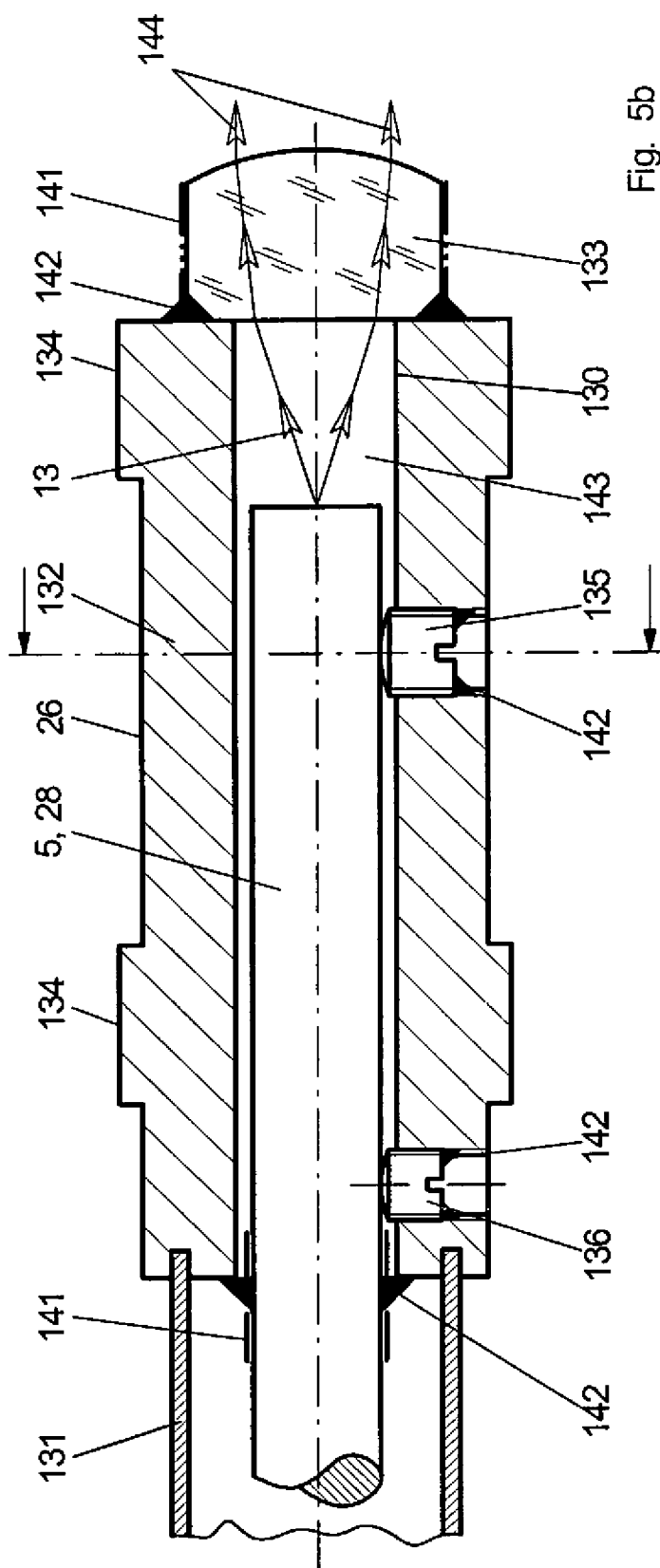


Fig. 5a



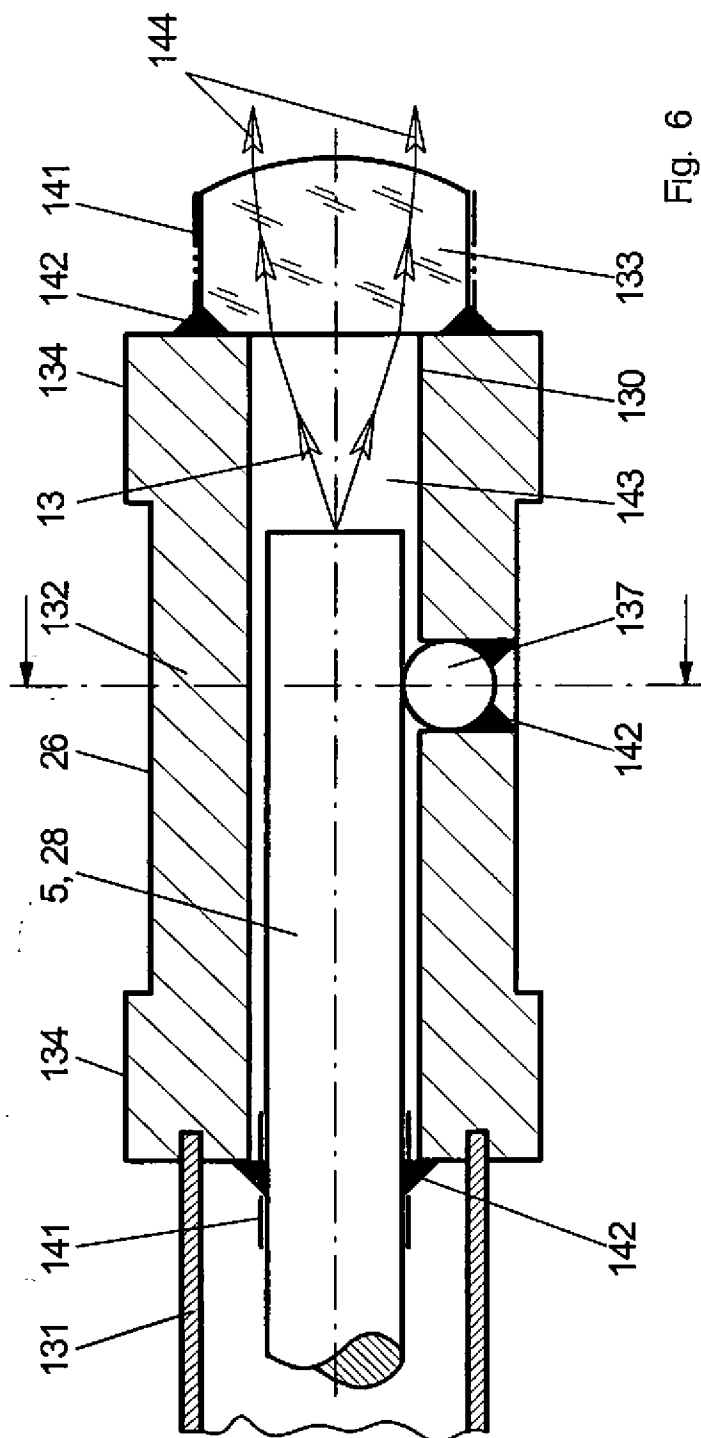


Fig. 6

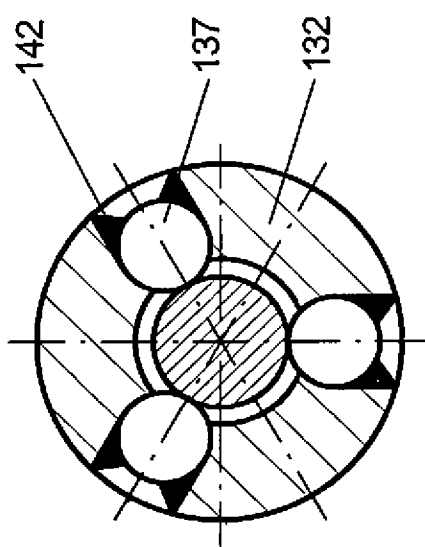


Fig. 6a

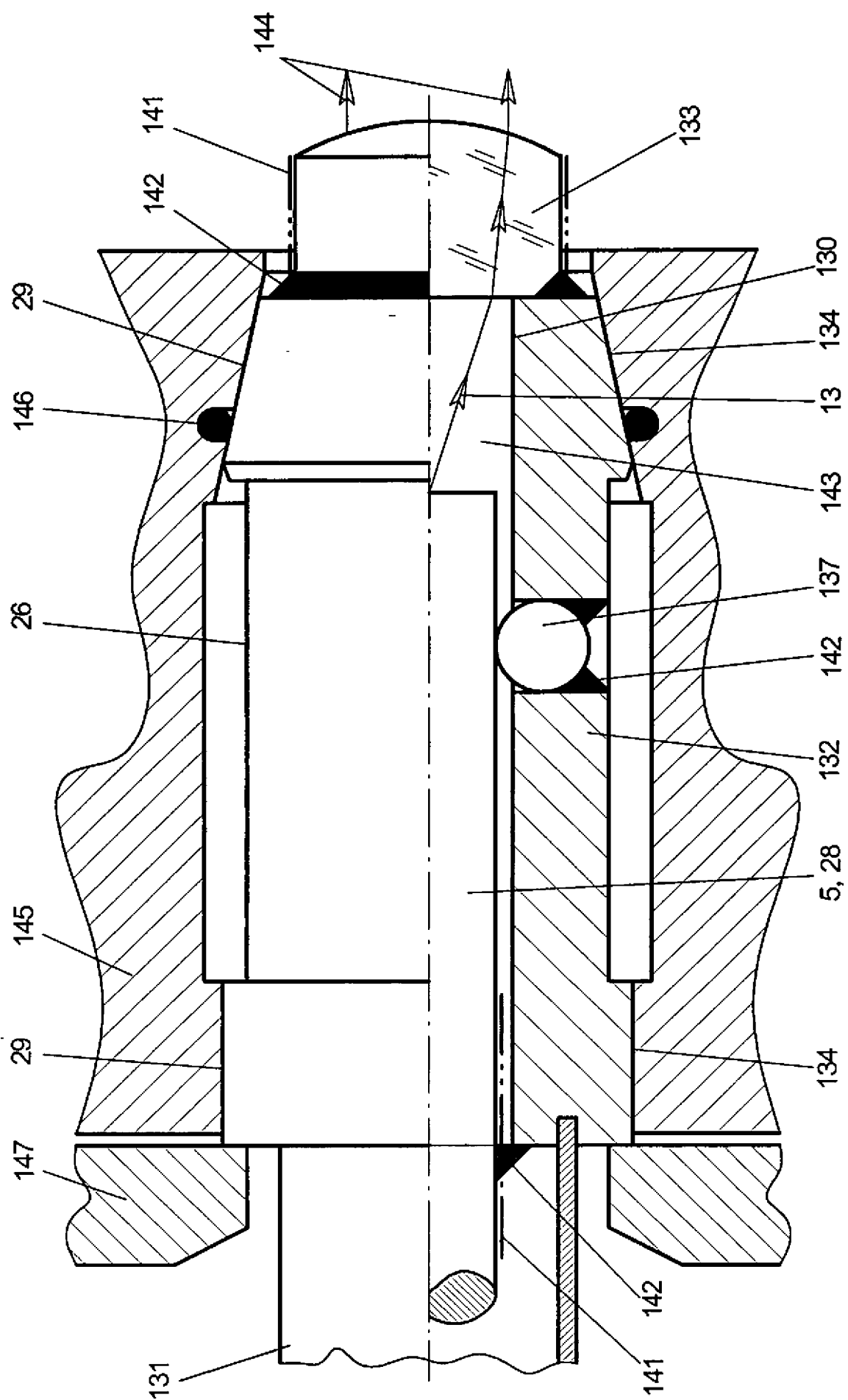
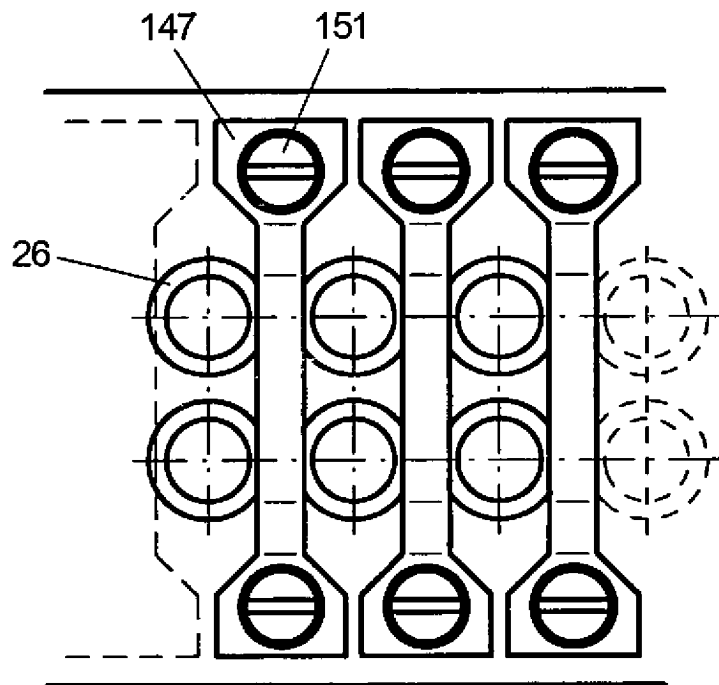
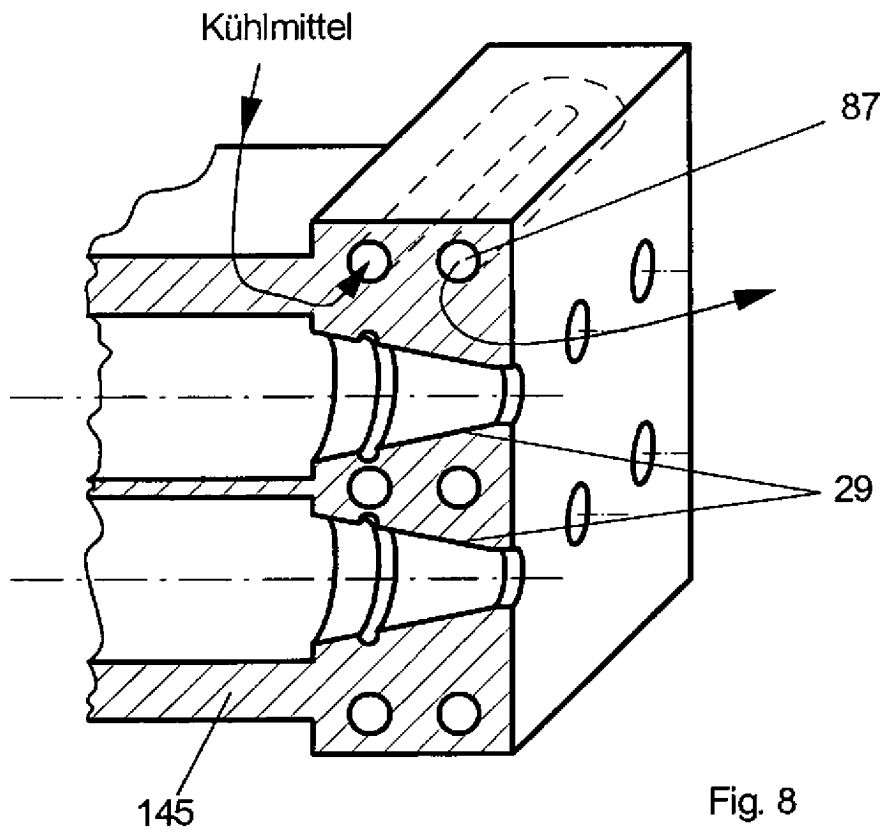


Fig. 7



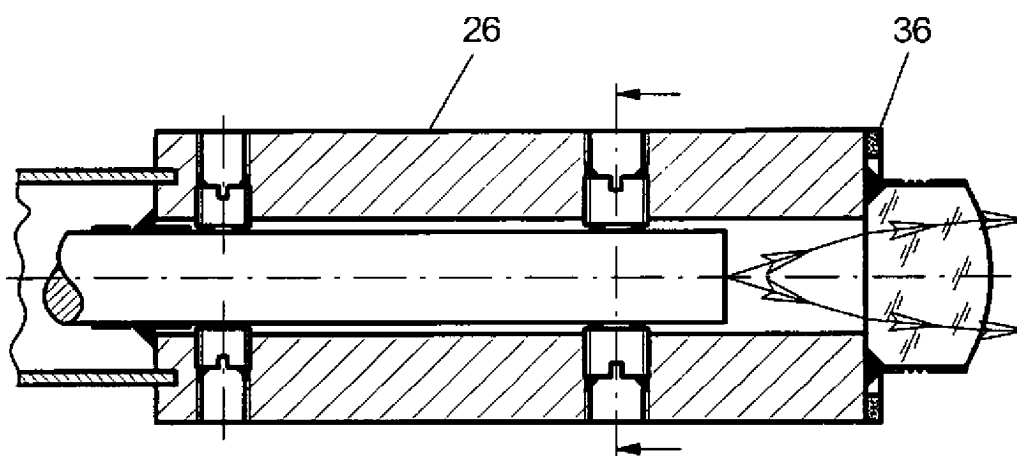


Fig. 9

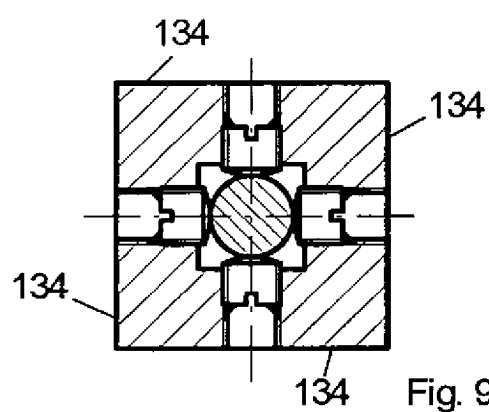


Fig. 9a

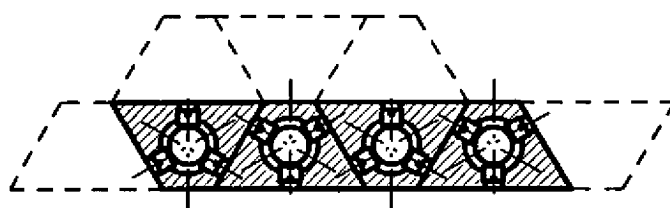


Fig. 11

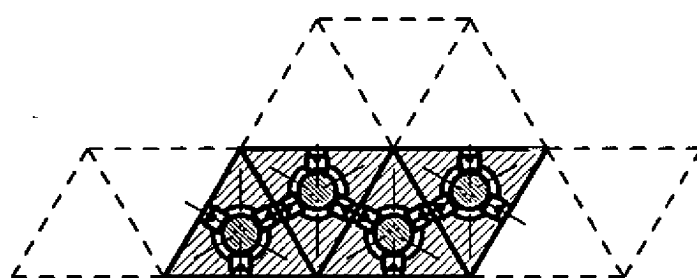


Fig. 11a

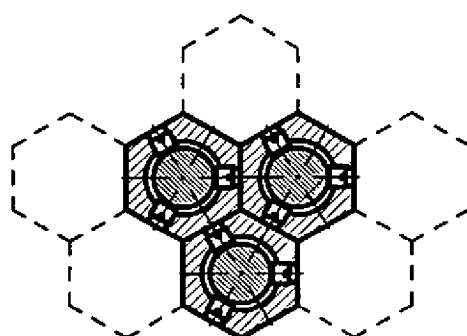
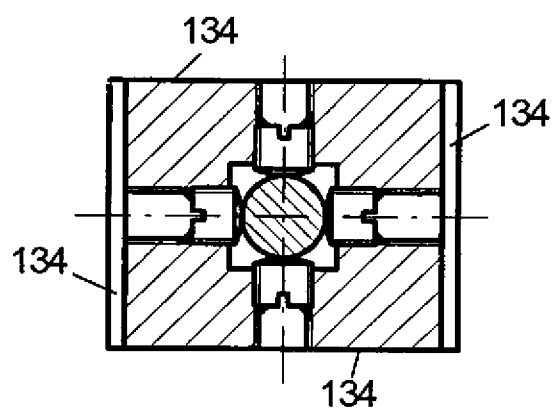
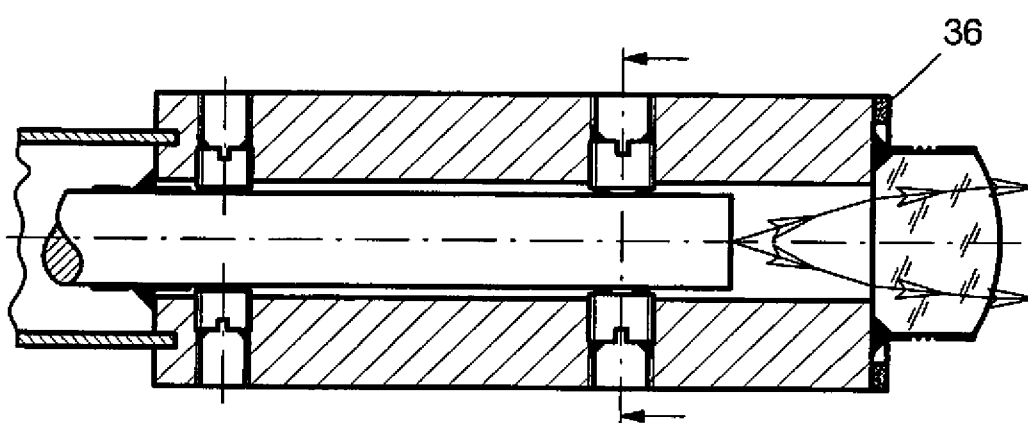
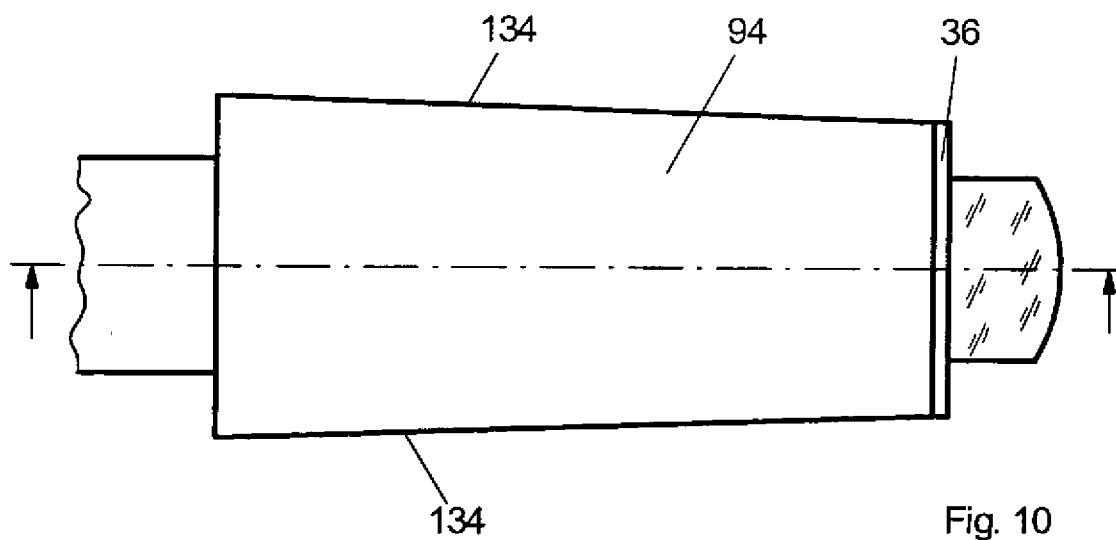


Fig. 12



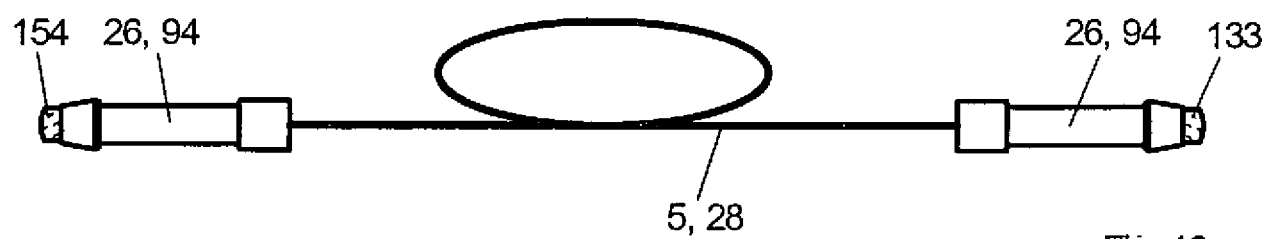


Fig. 13

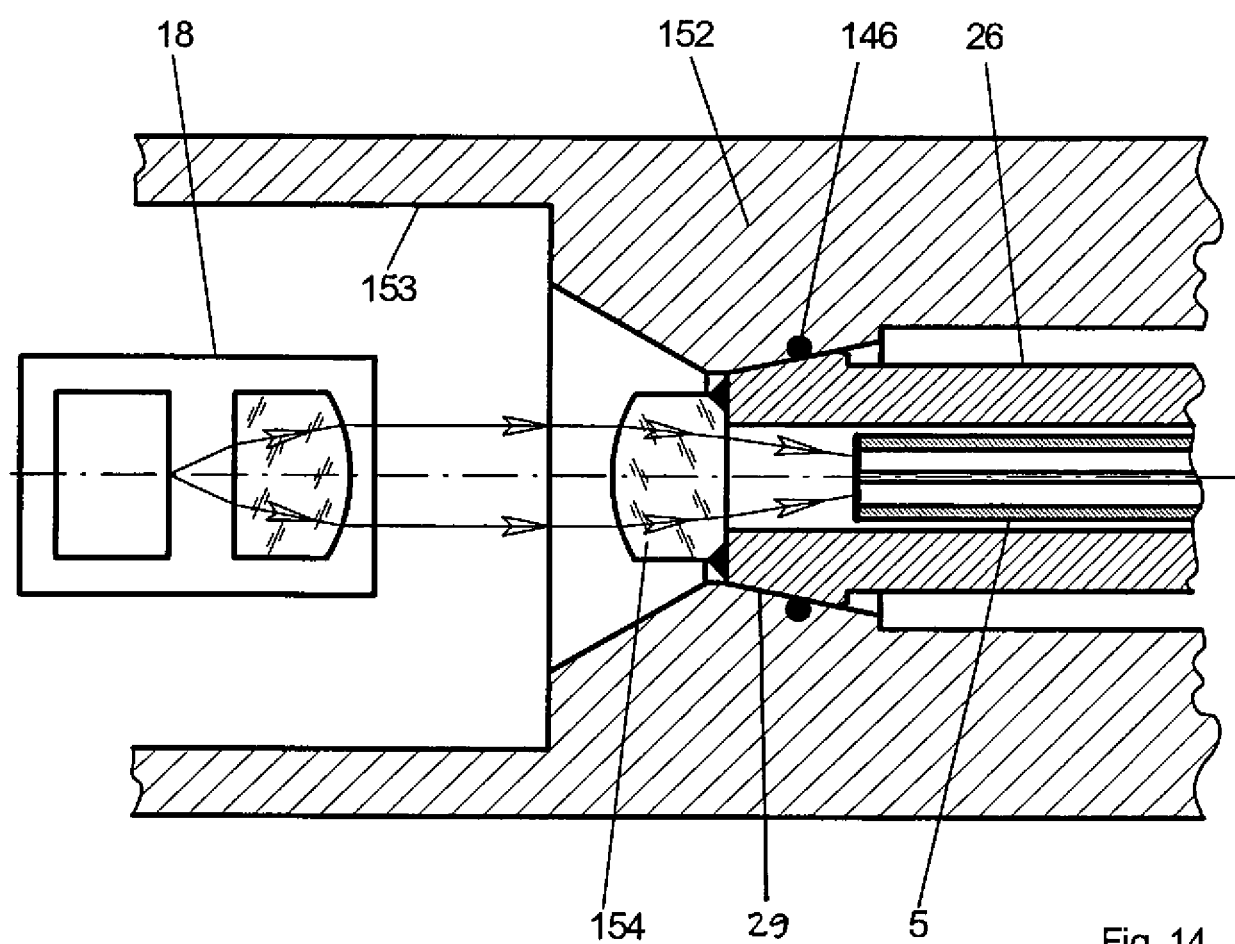


Fig. 14

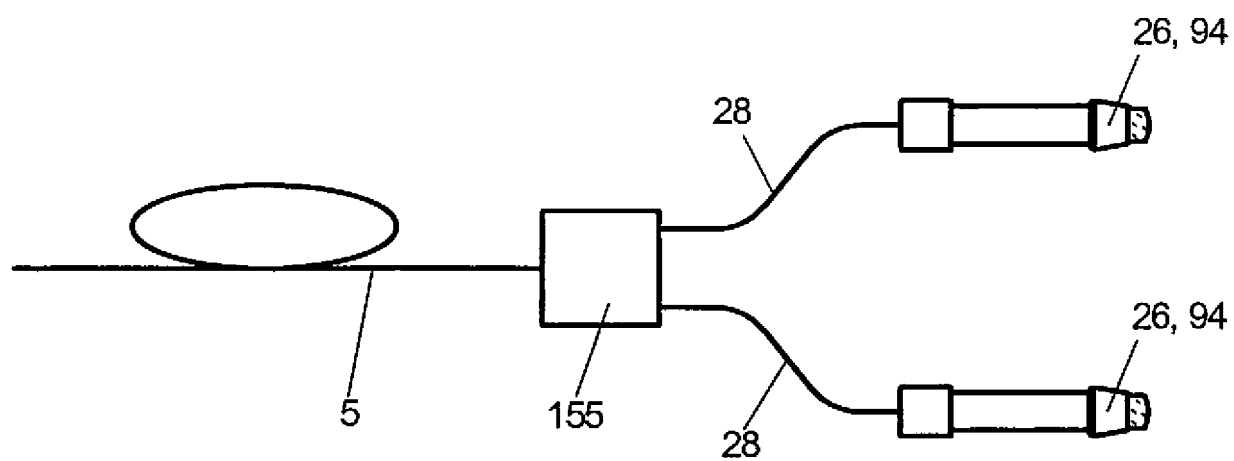


Fig. 15

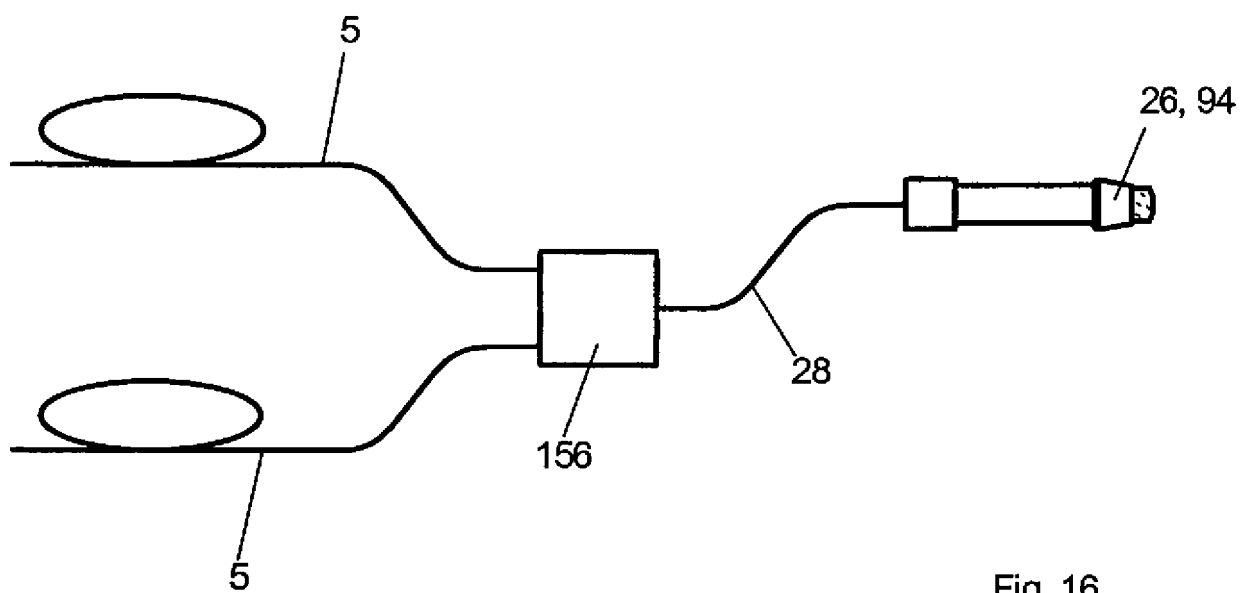
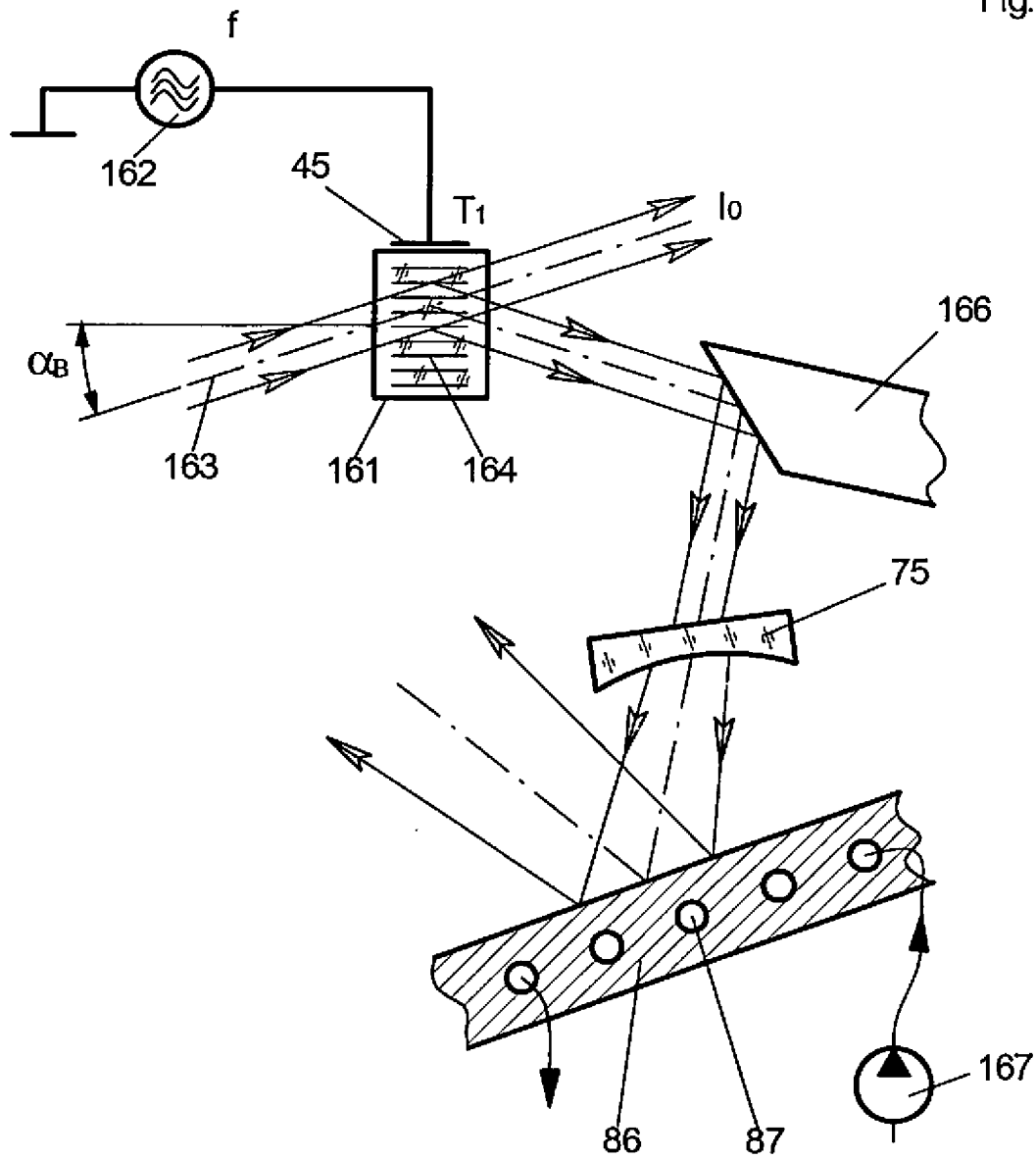
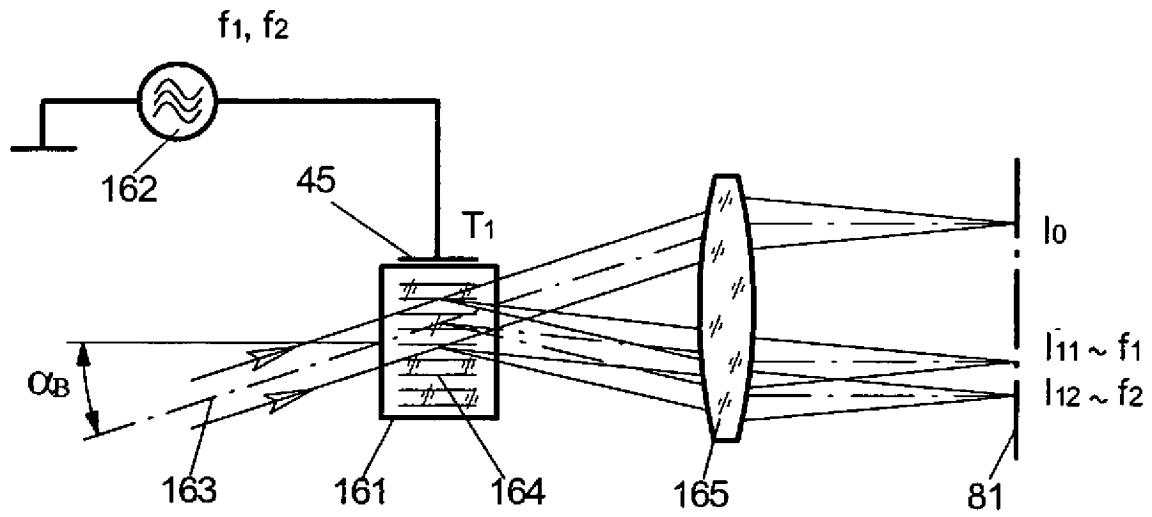


Fig. 16



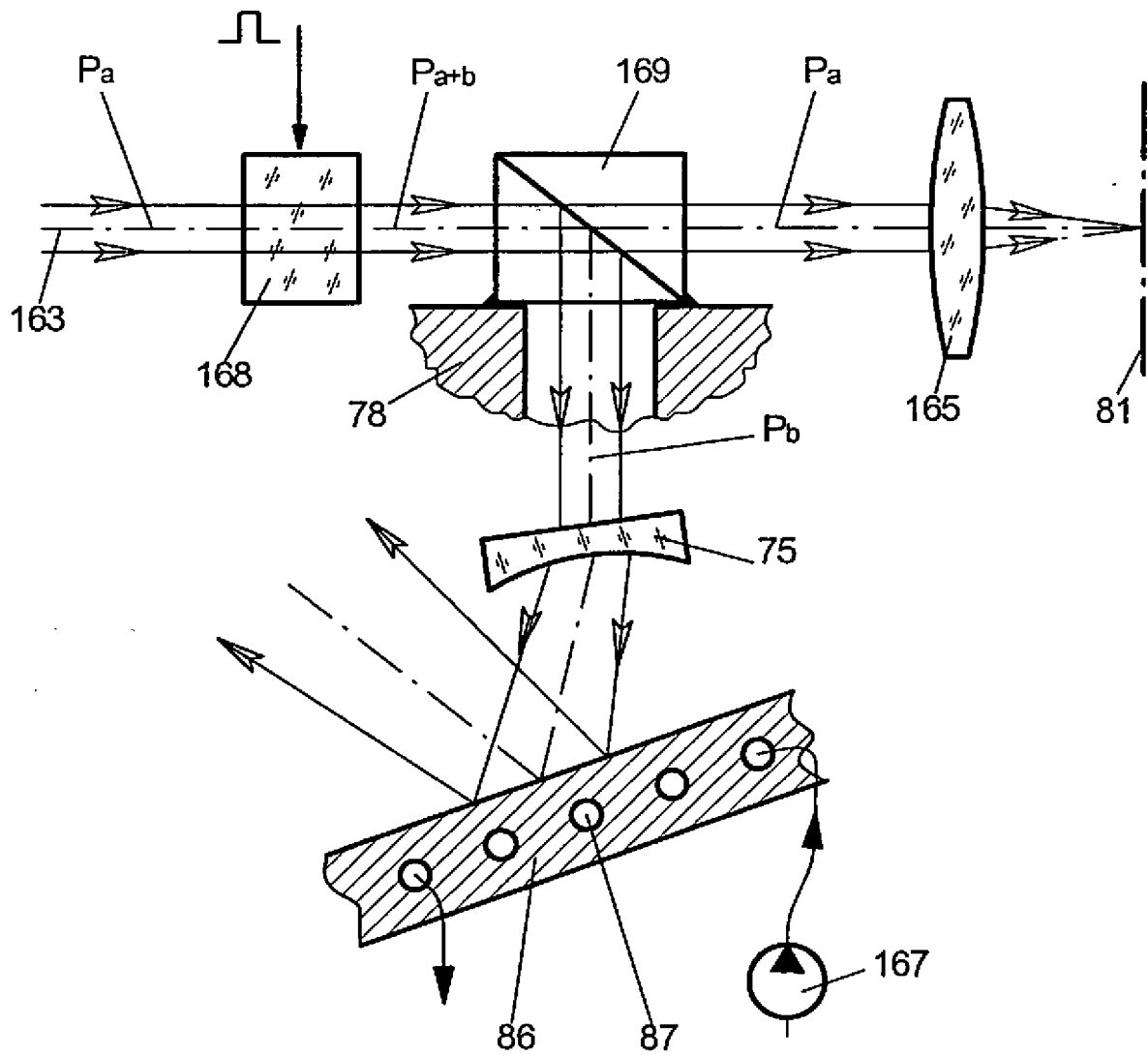
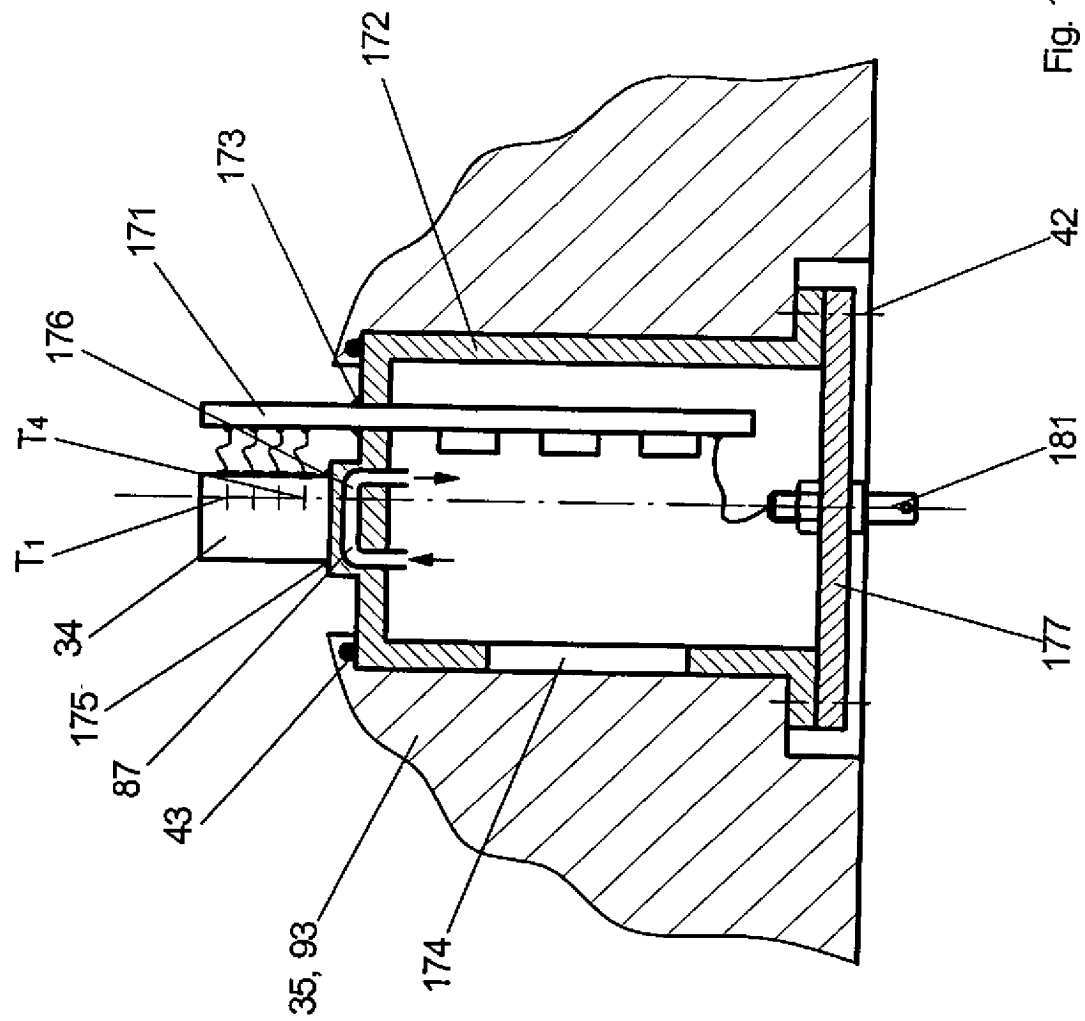
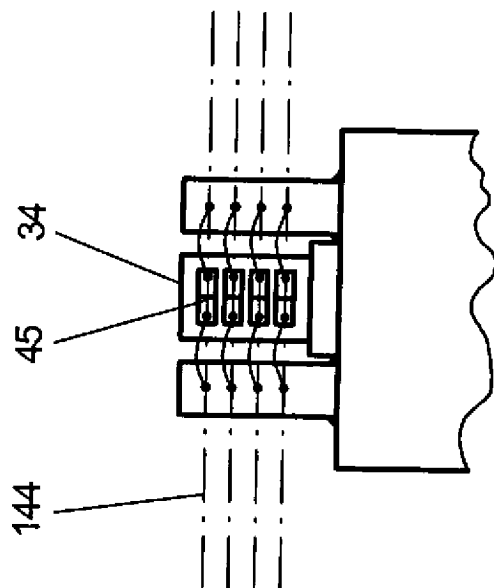


Fig. 18a



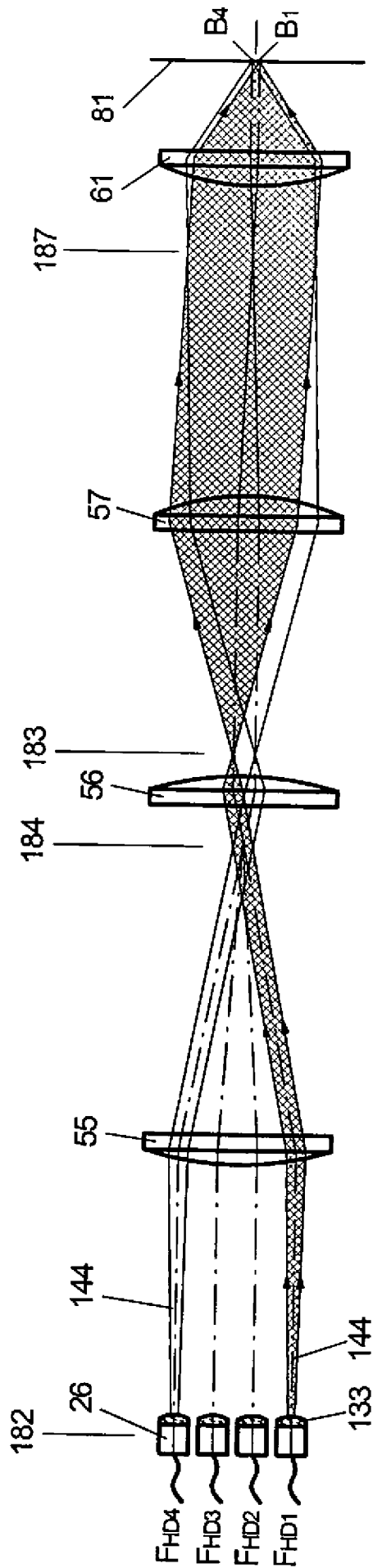


Fig. 20

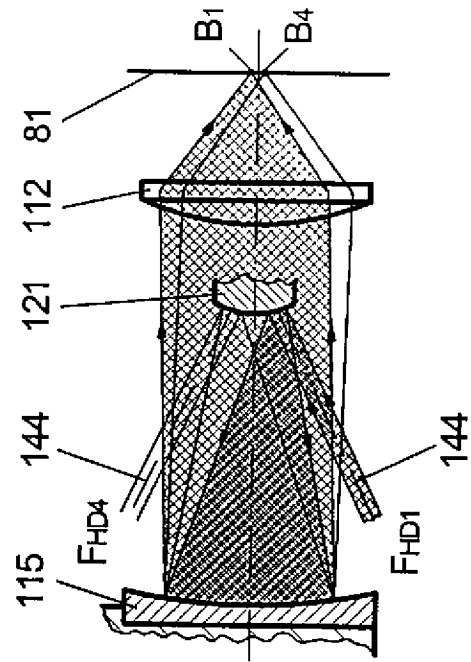


Fig. 22

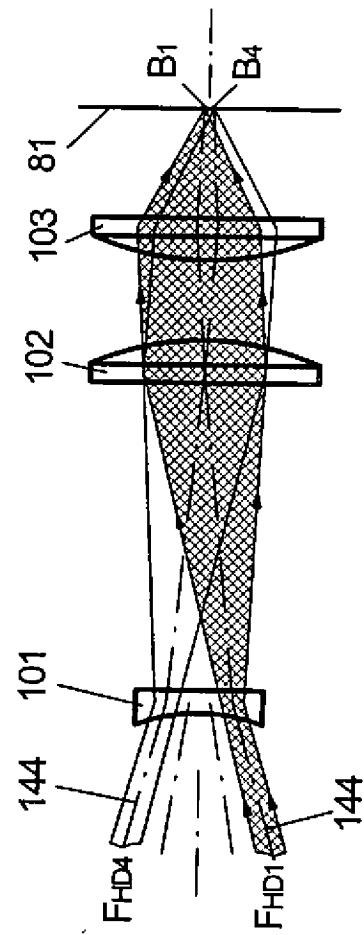


Fig. 21

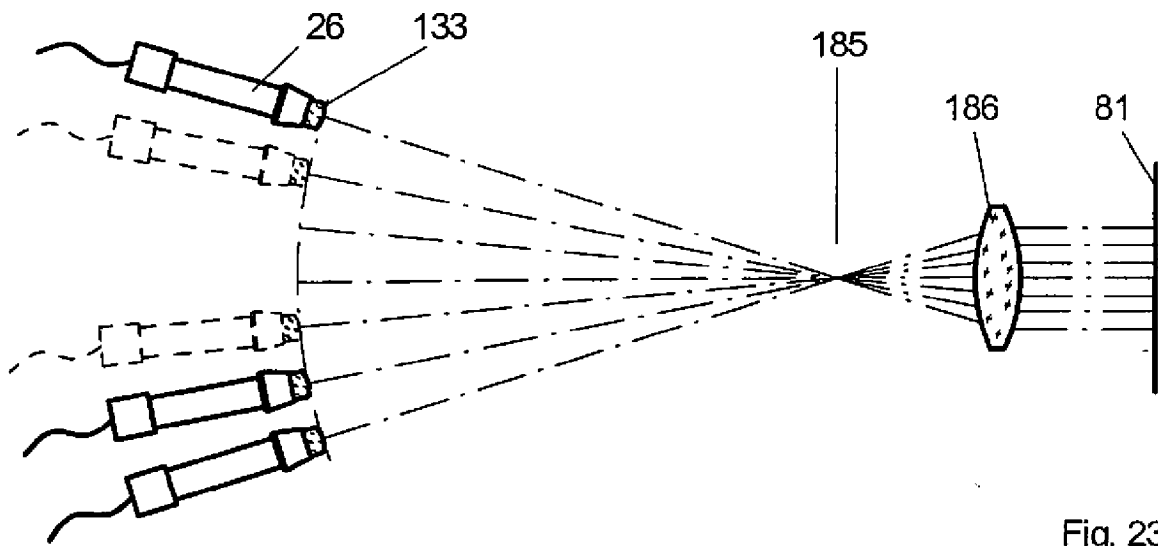


Fig. 23

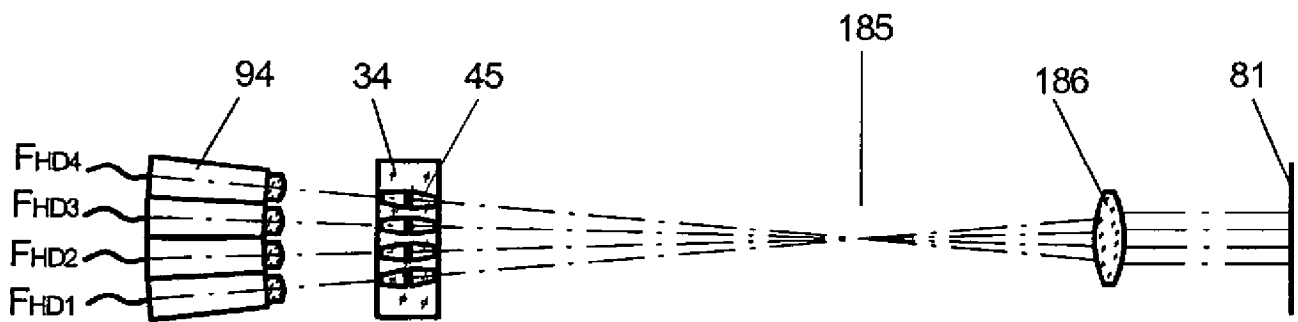


Fig. 24

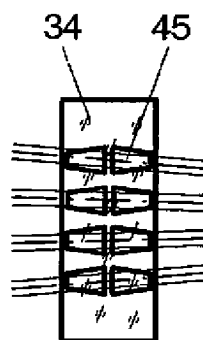


Fig. 24a

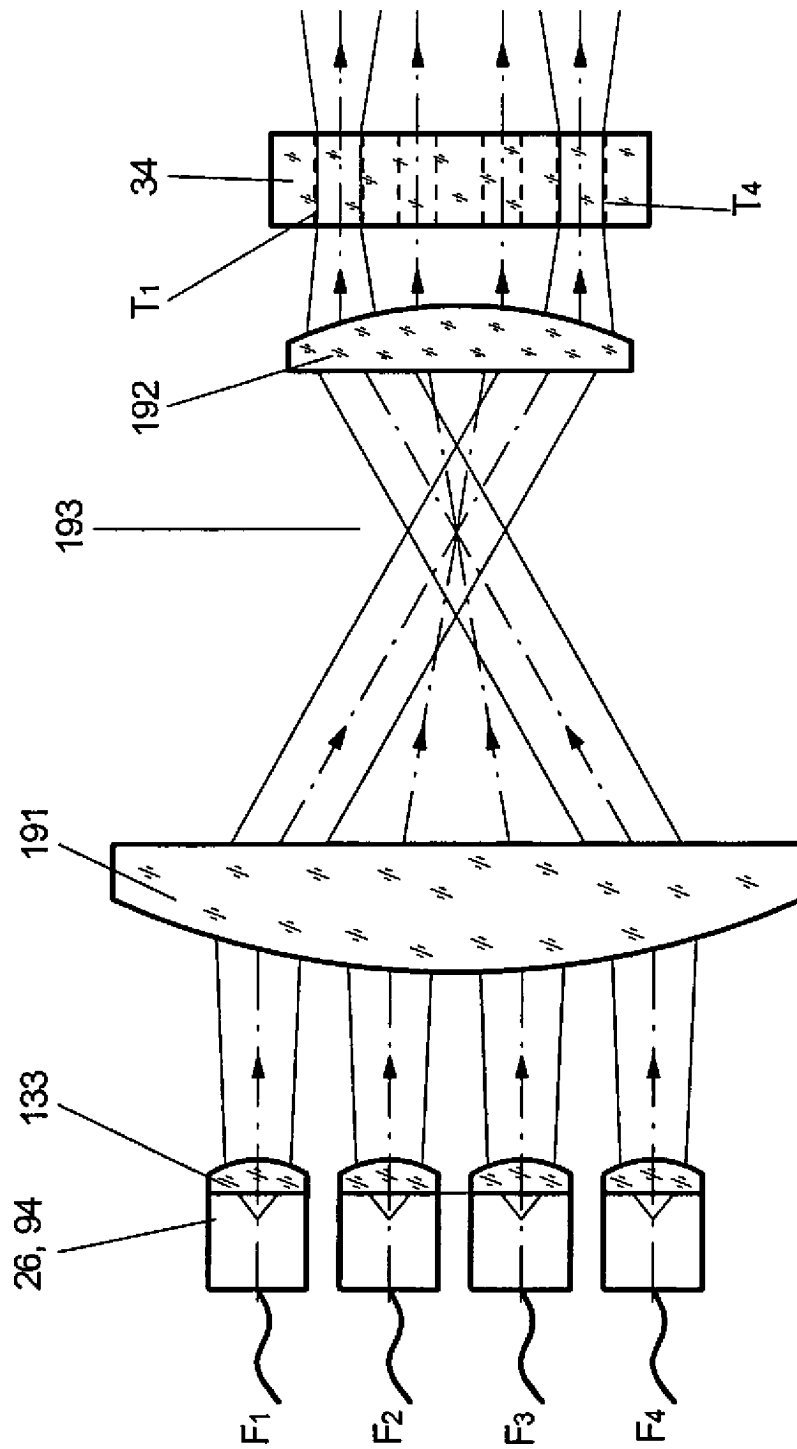


Fig. 25

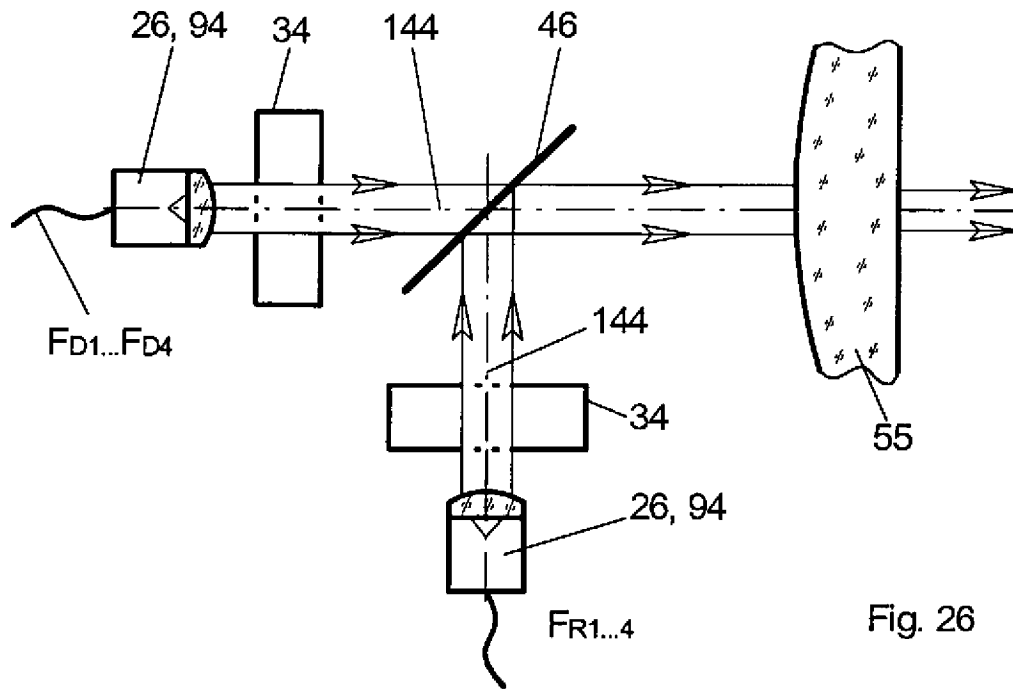


Fig. 26

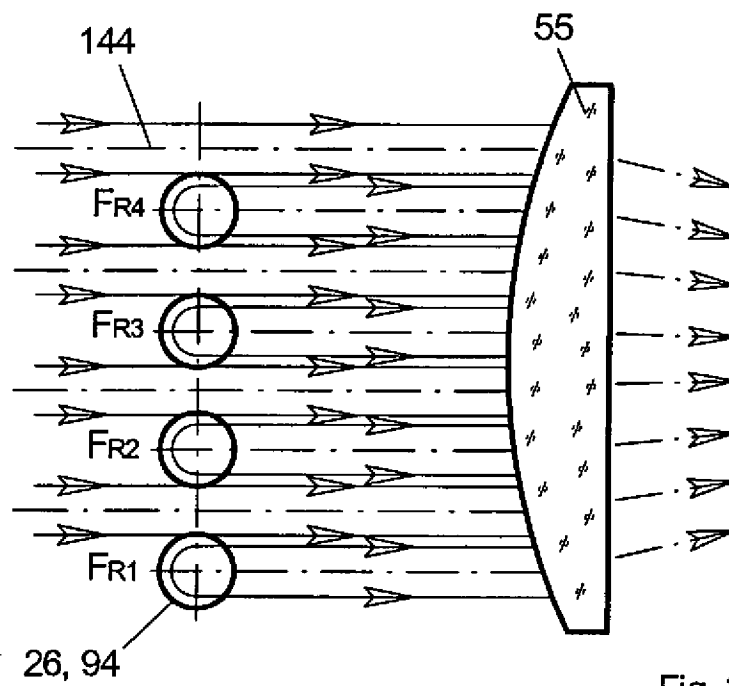


Fig. 26a

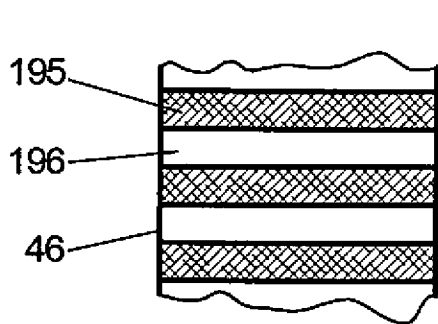


Fig. 27

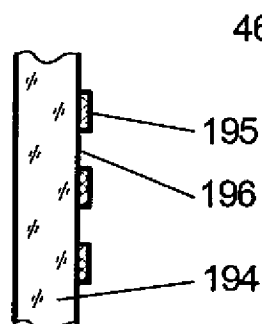


Fig. 27a

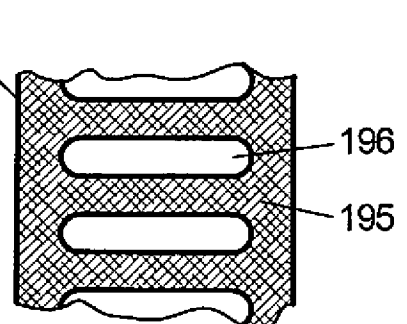


Fig. 27b

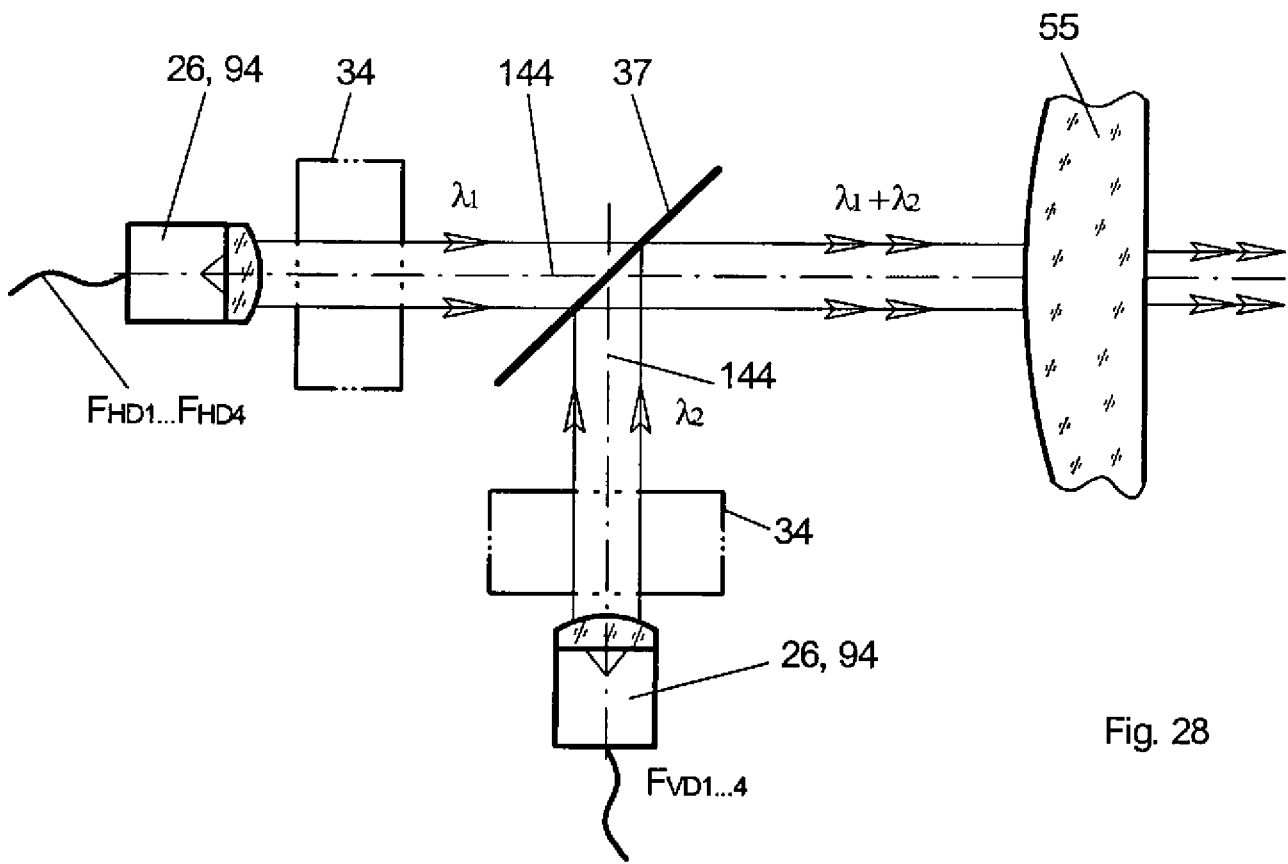


Fig. 28

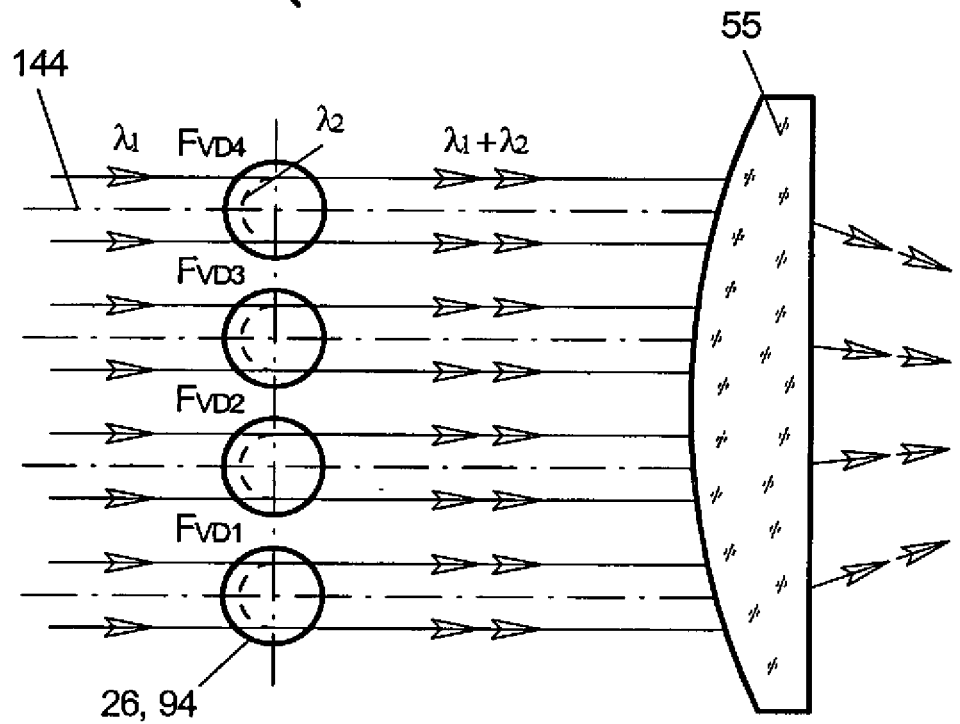


Fig. 28a

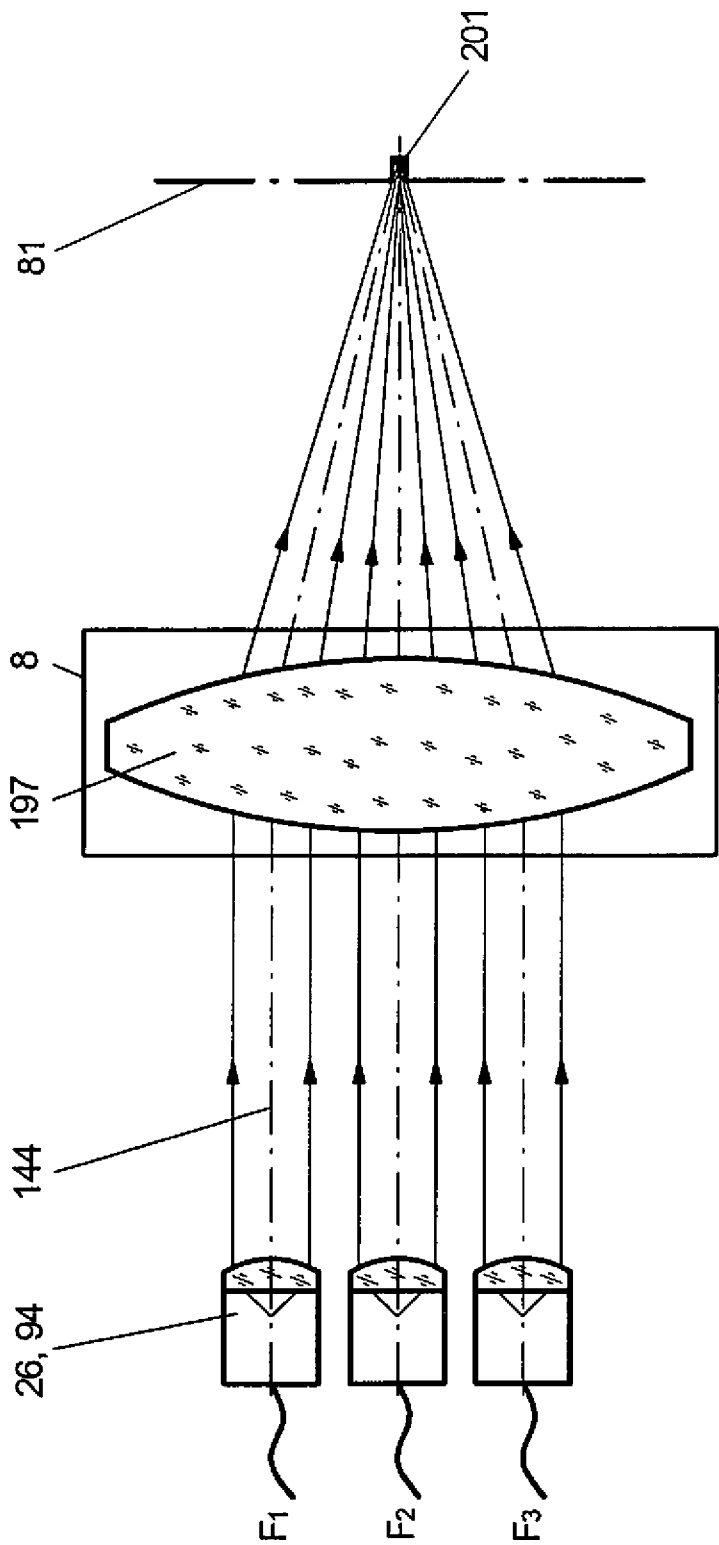


Fig. 31

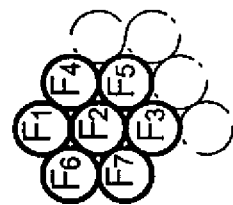


Fig. 30

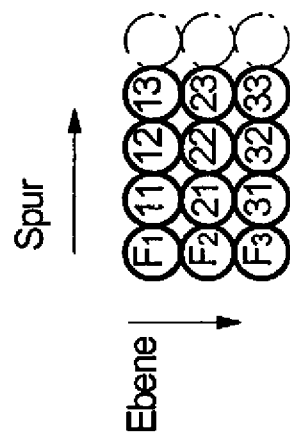


Fig. 29

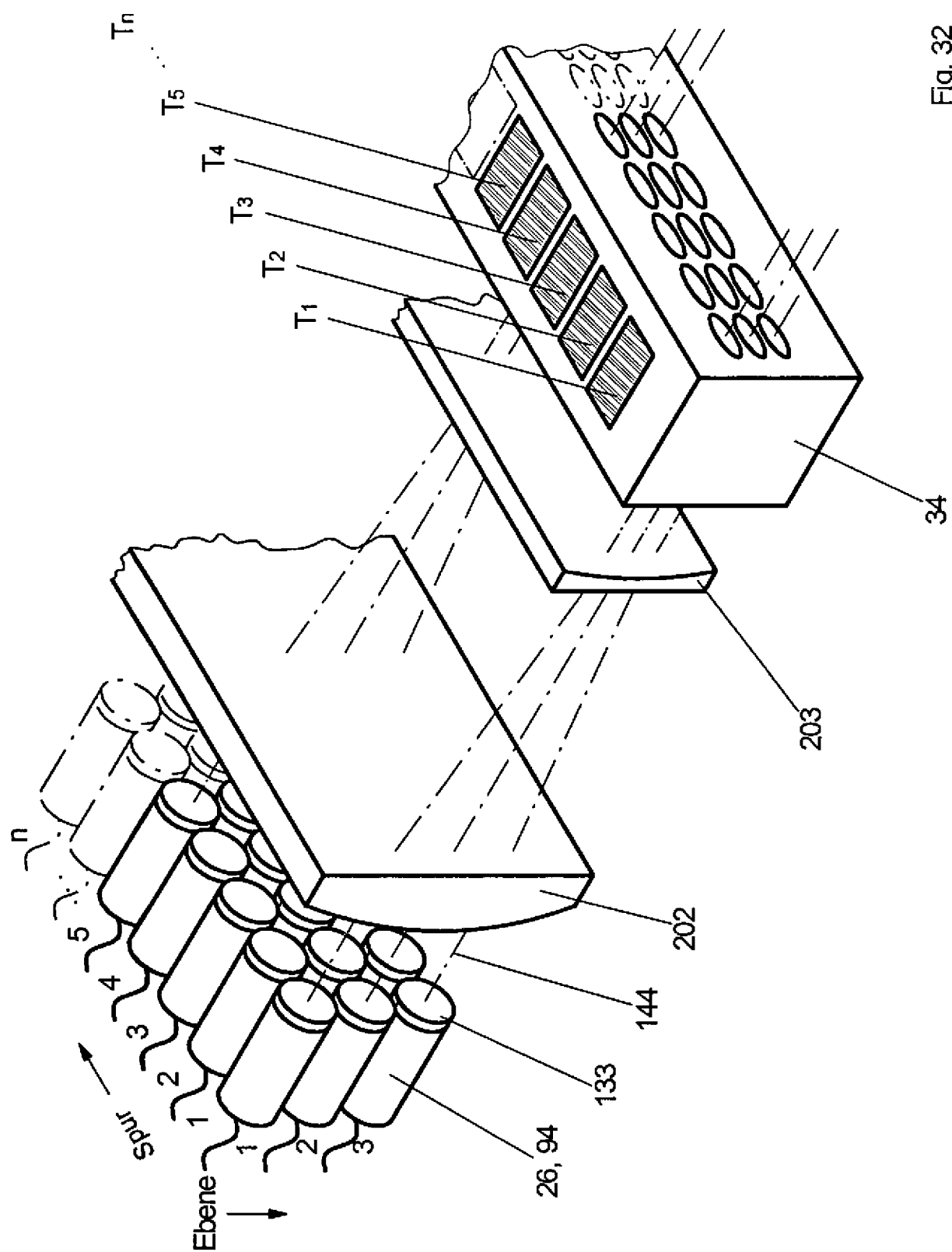


Fig. 32

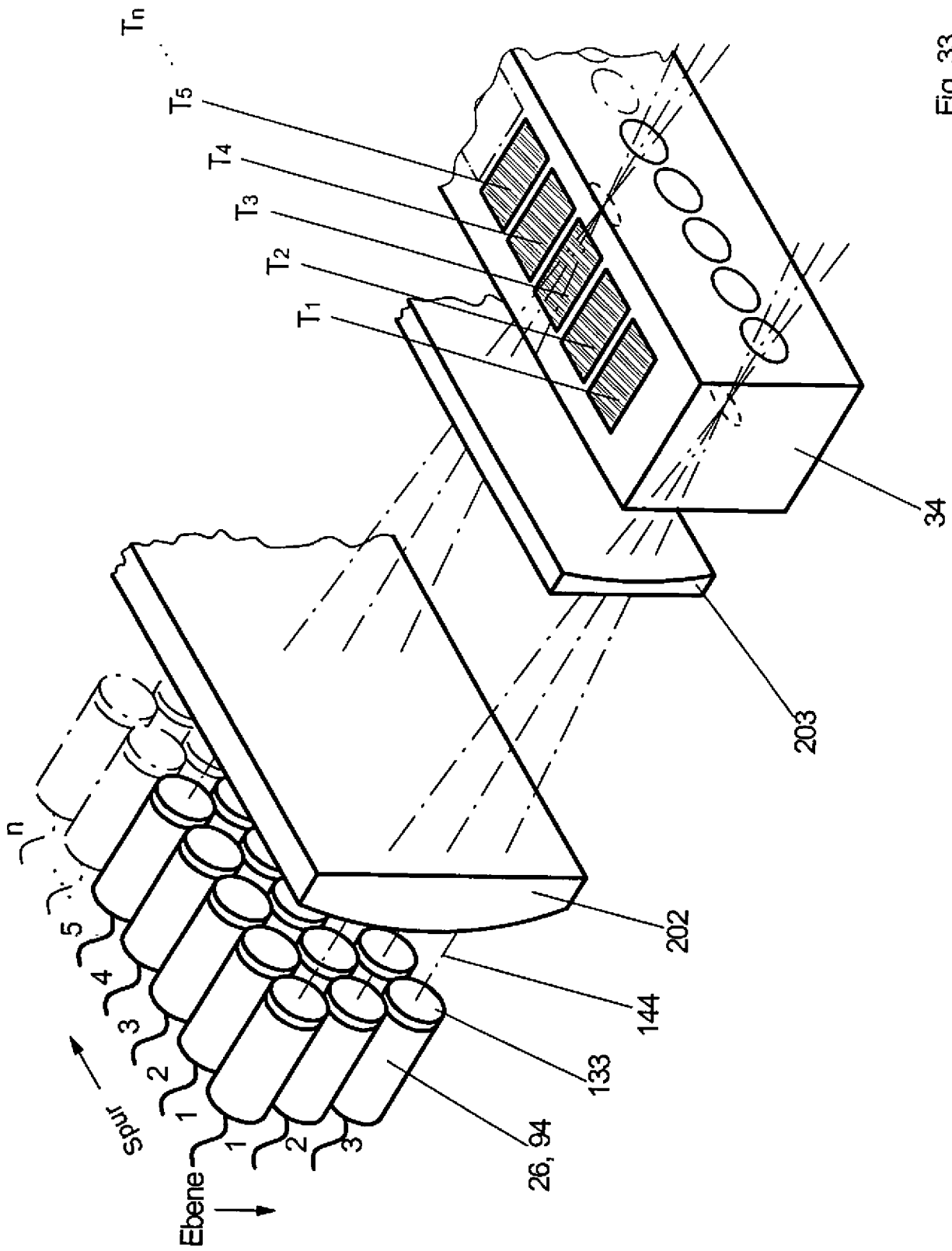


Fig. 33

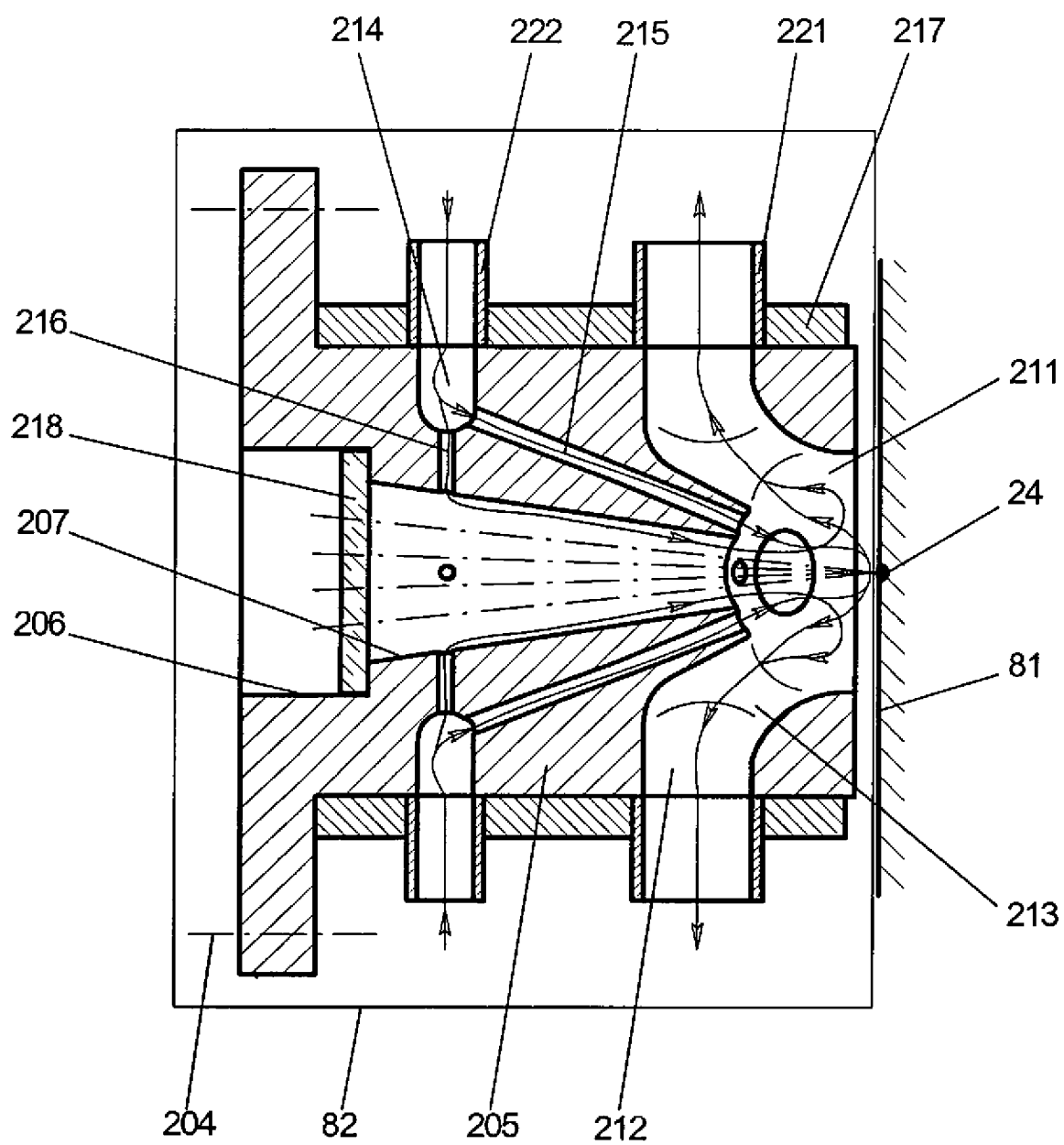


Fig. 34

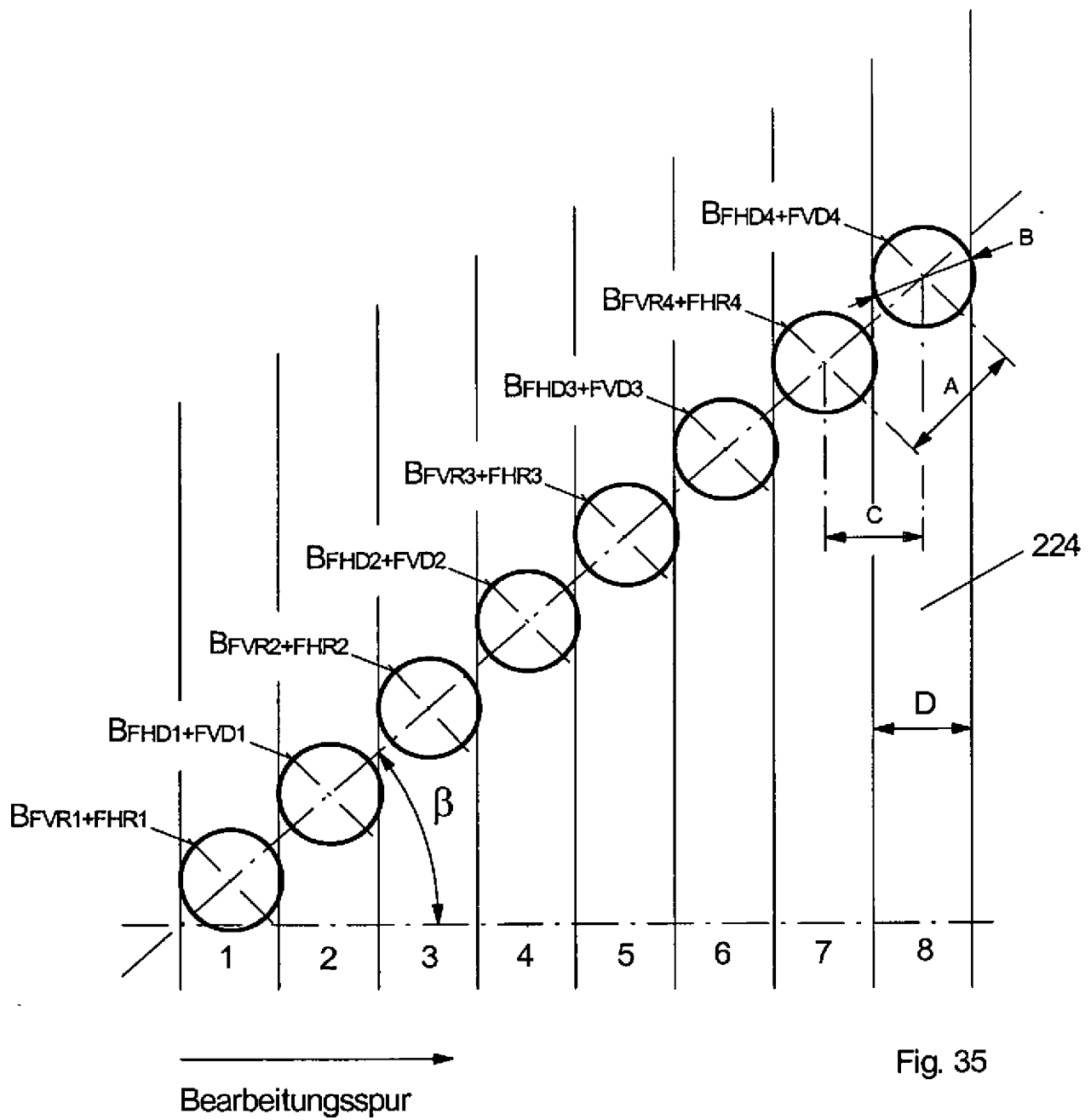


Fig. 35

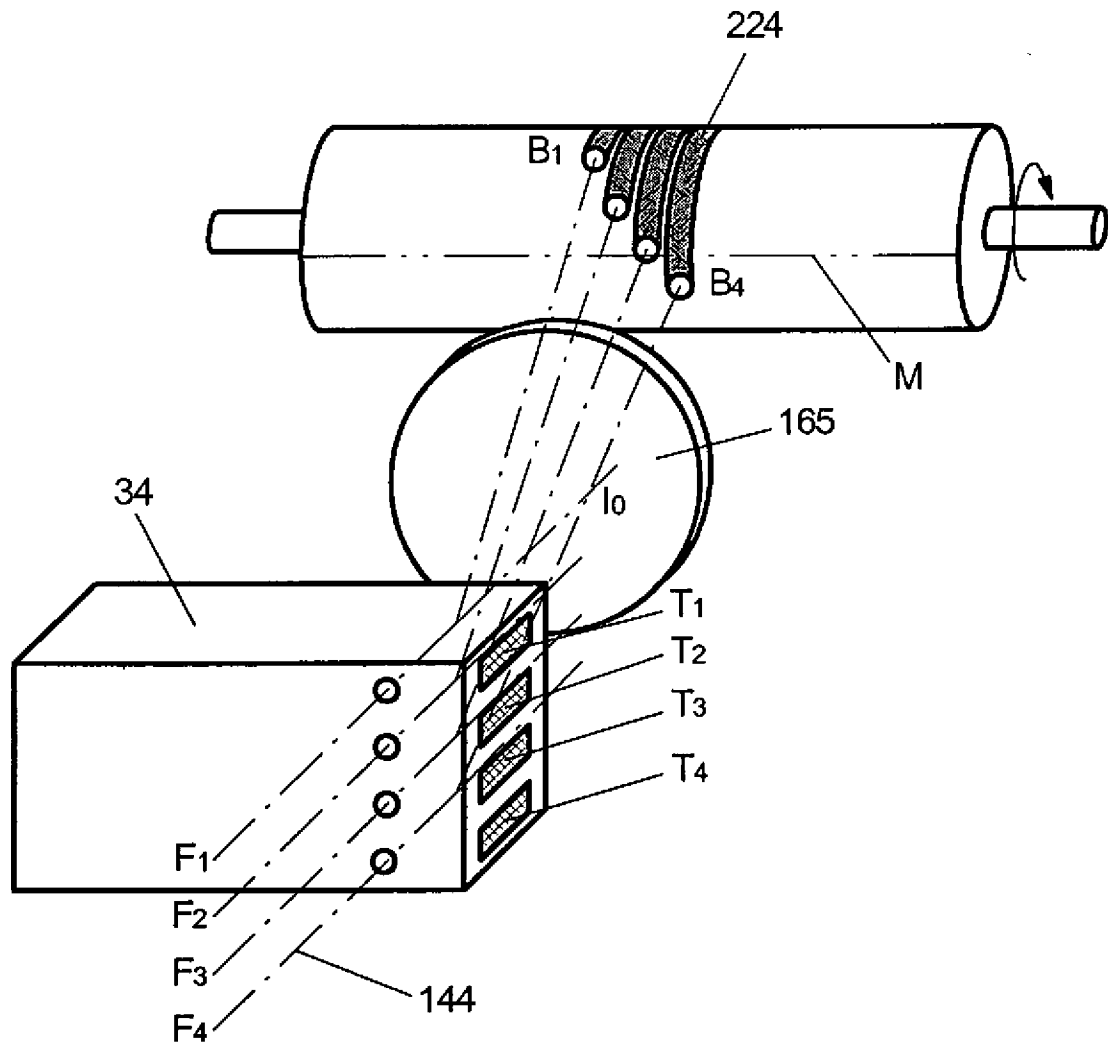


Fig. 36a

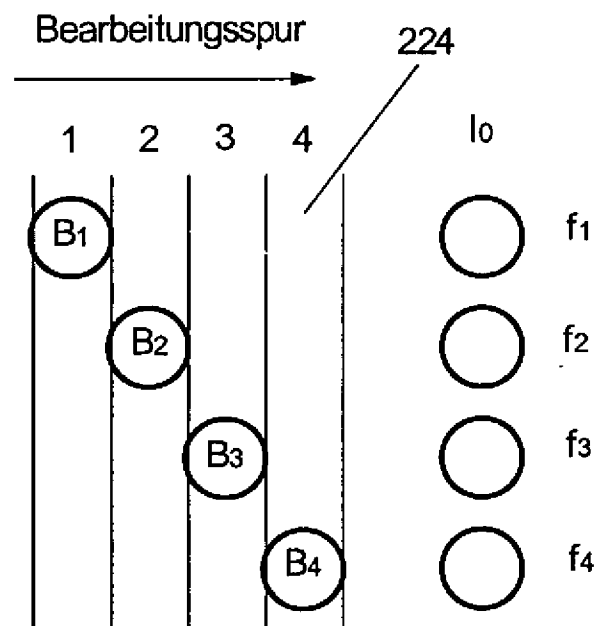


Fig. 36

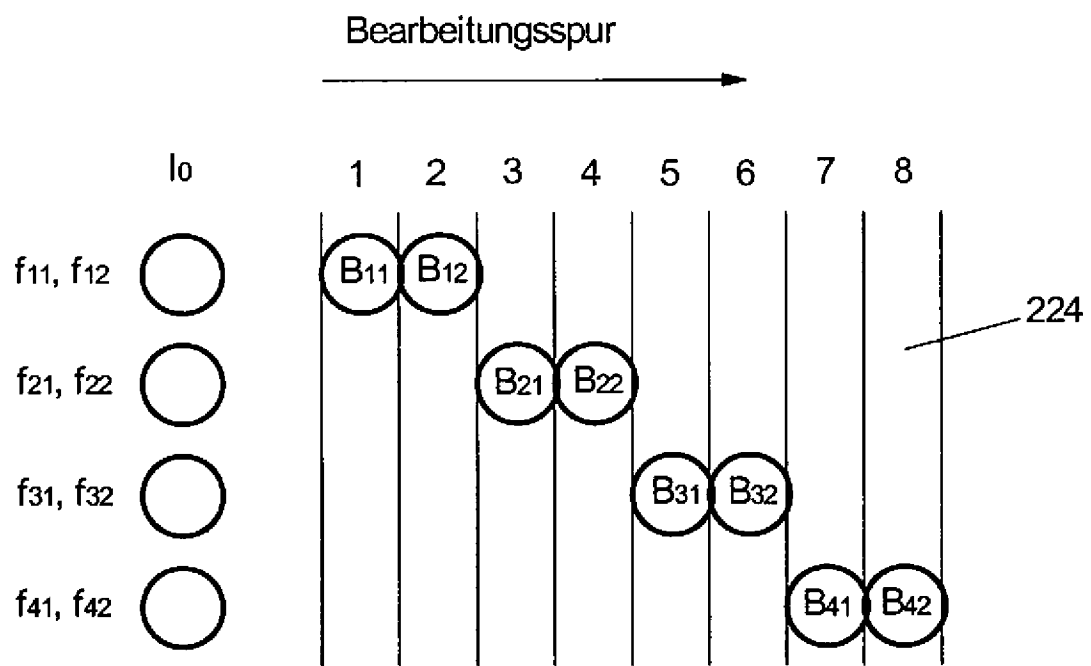
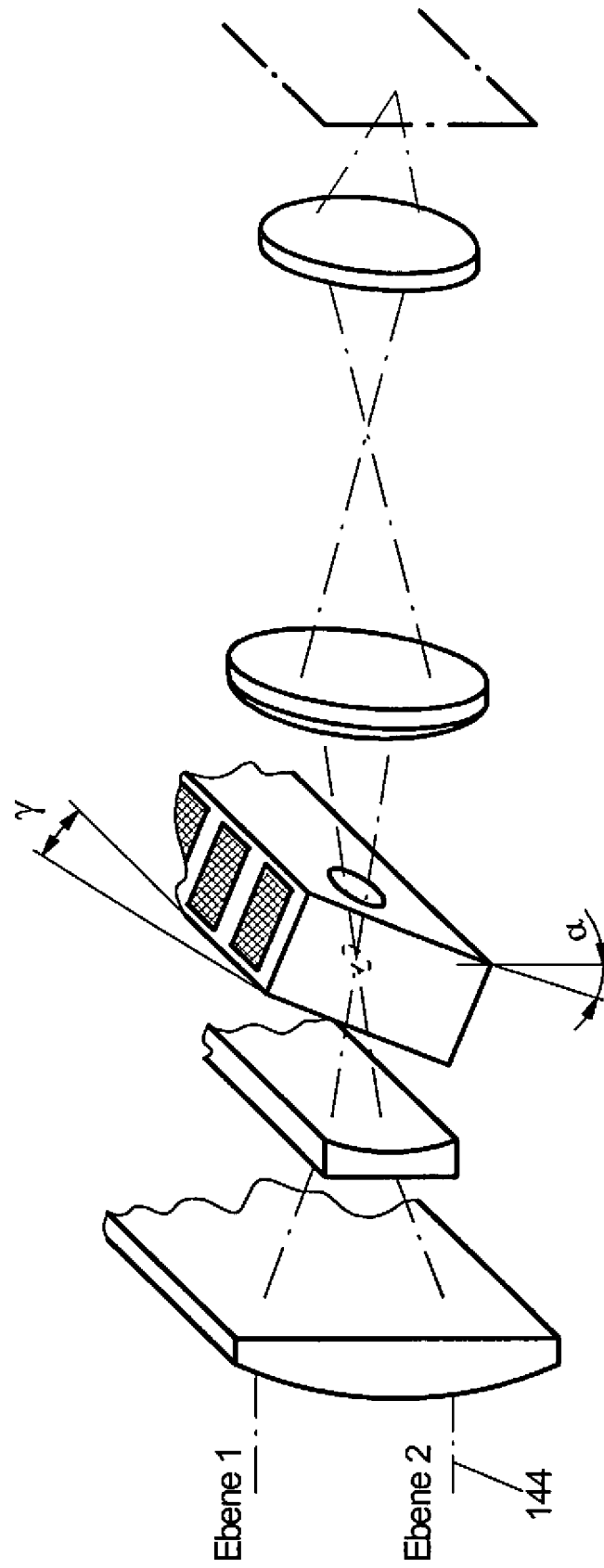


Fig. 37



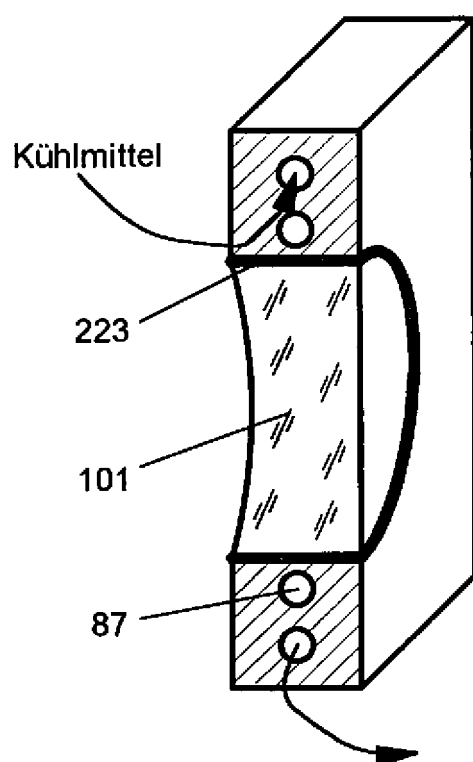


Fig. 39

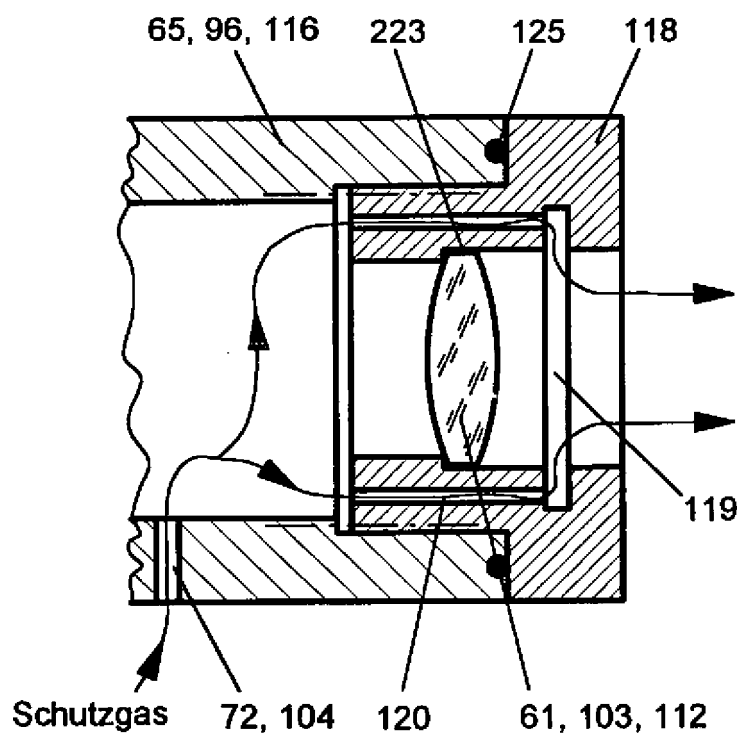


Fig. 39a

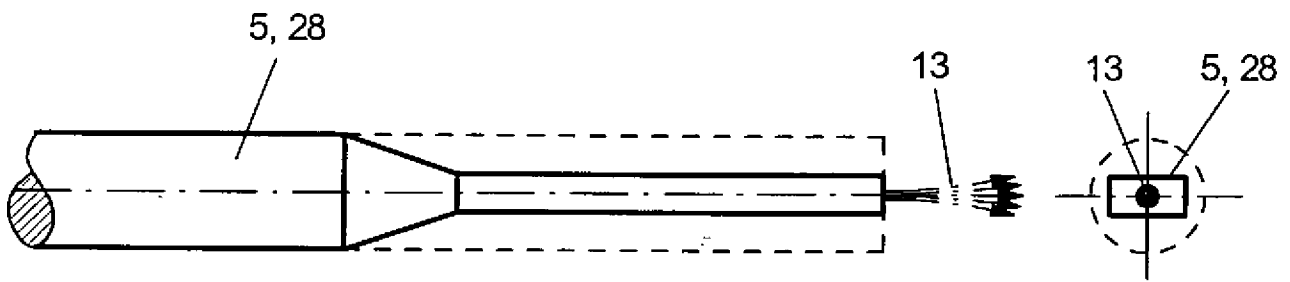


Fig. 40

Fig. 40a

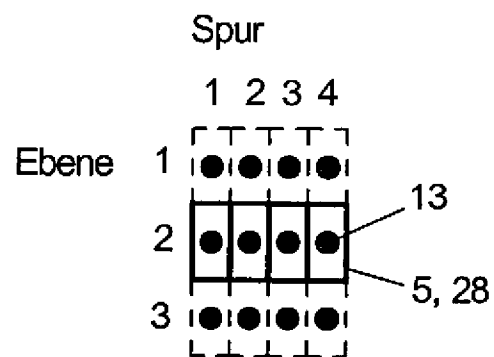
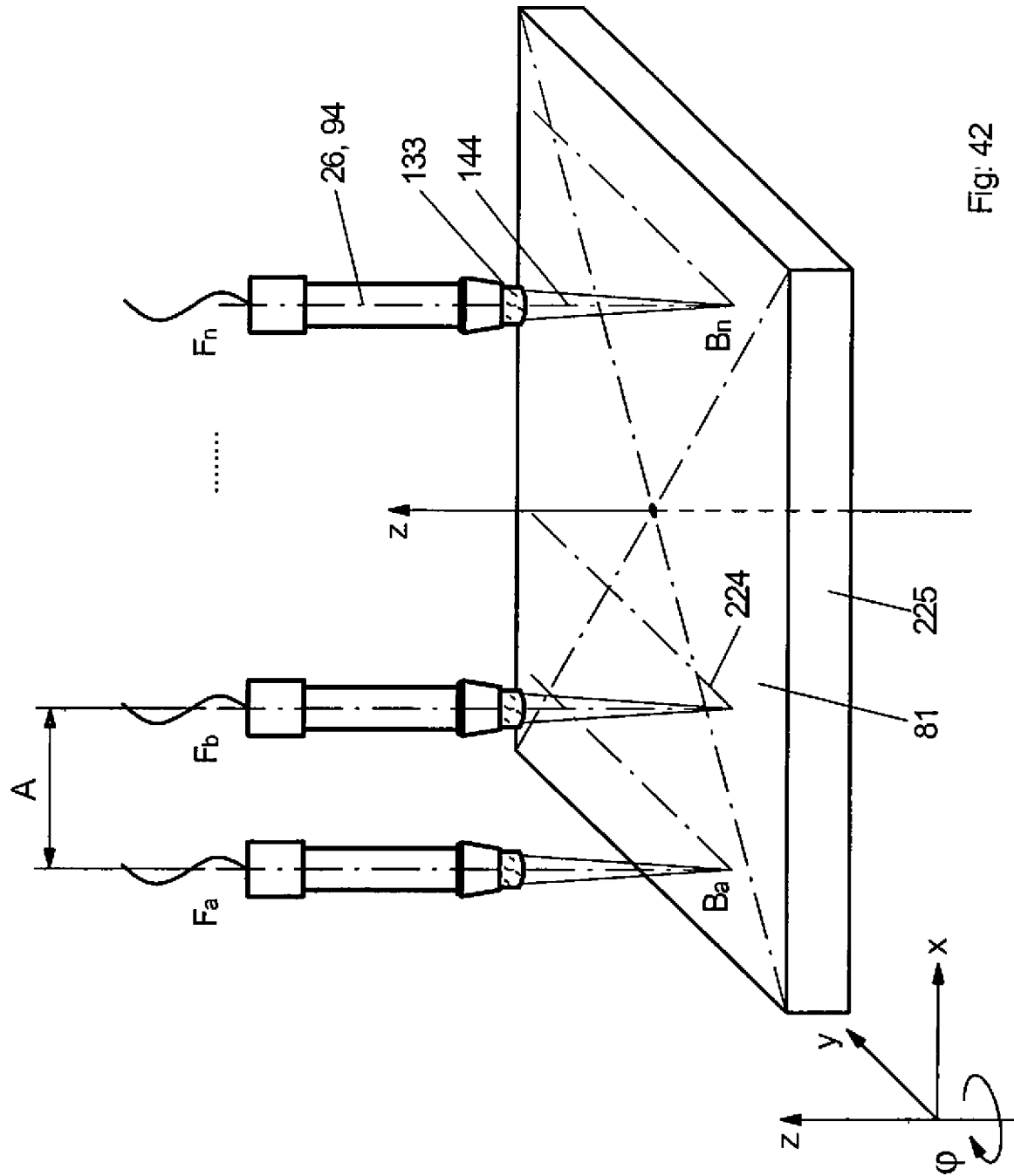


Fig. 41



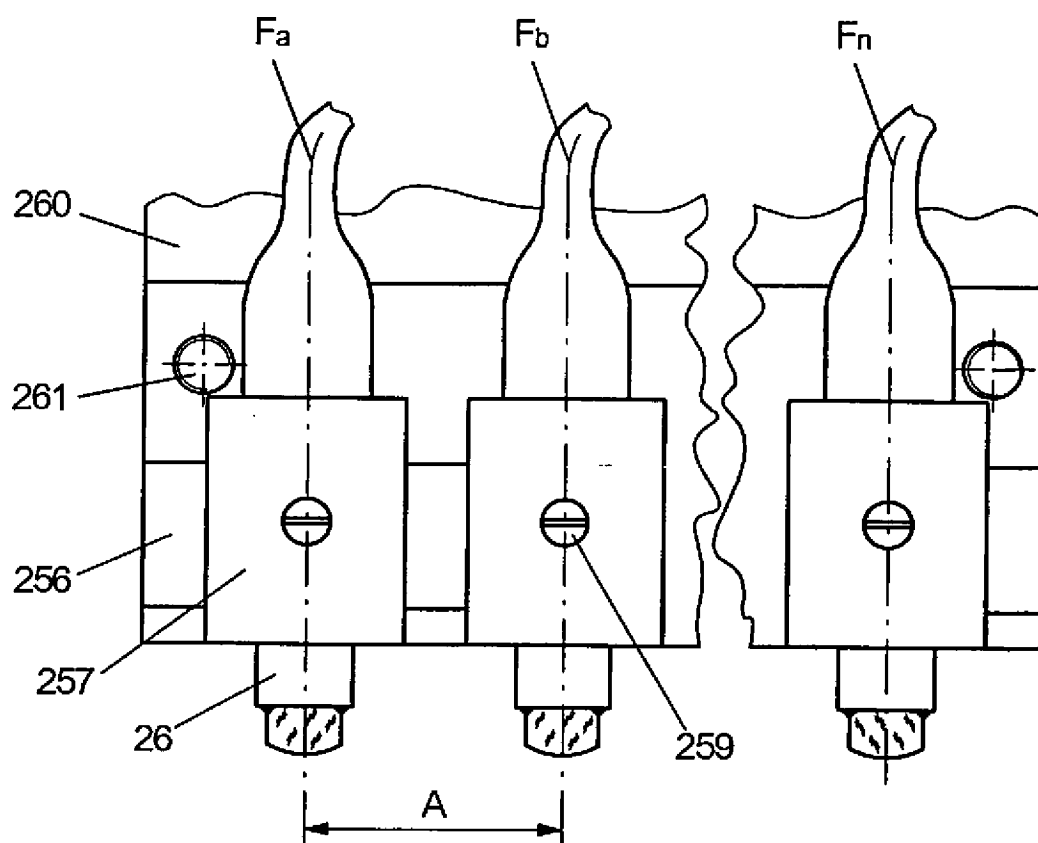


Fig. 42a

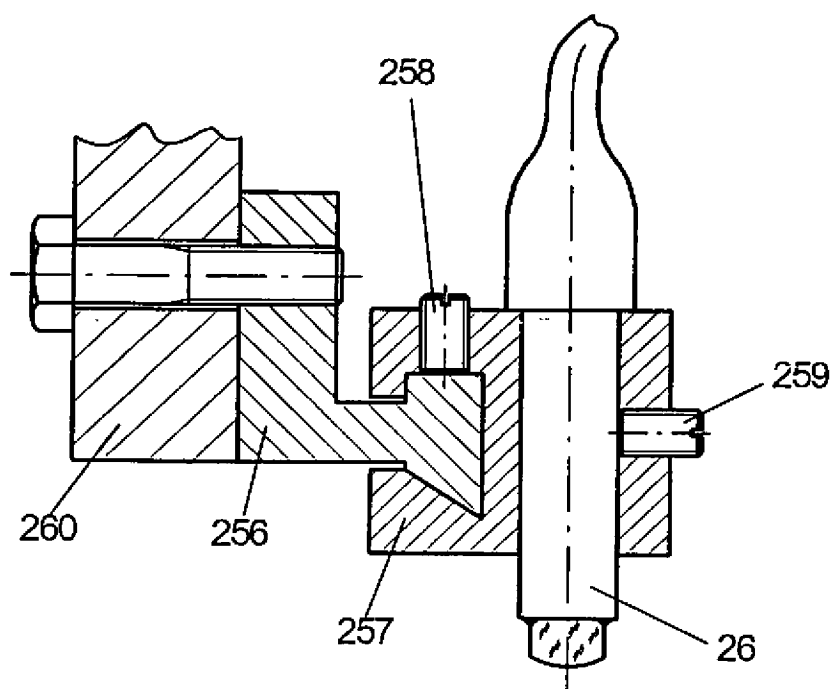


Fig. 42b

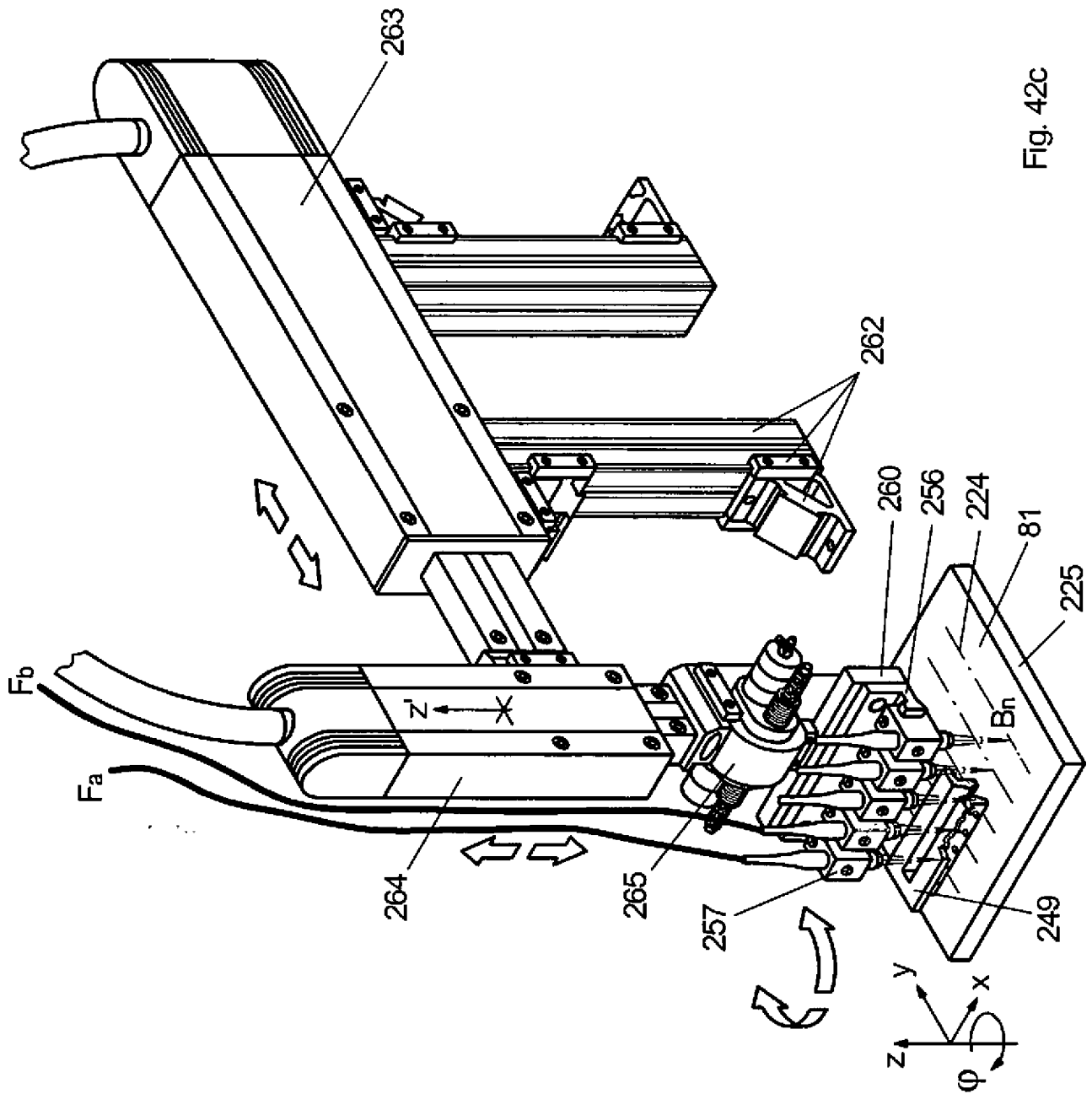


Fig. 42c

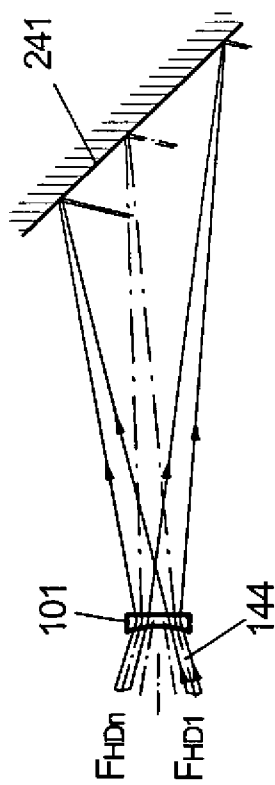


Fig. 43a

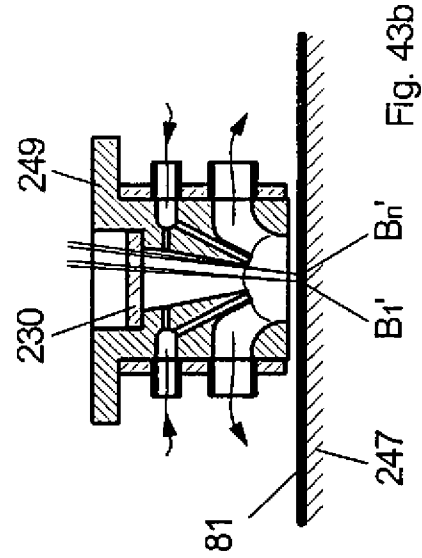


Fig. 43b

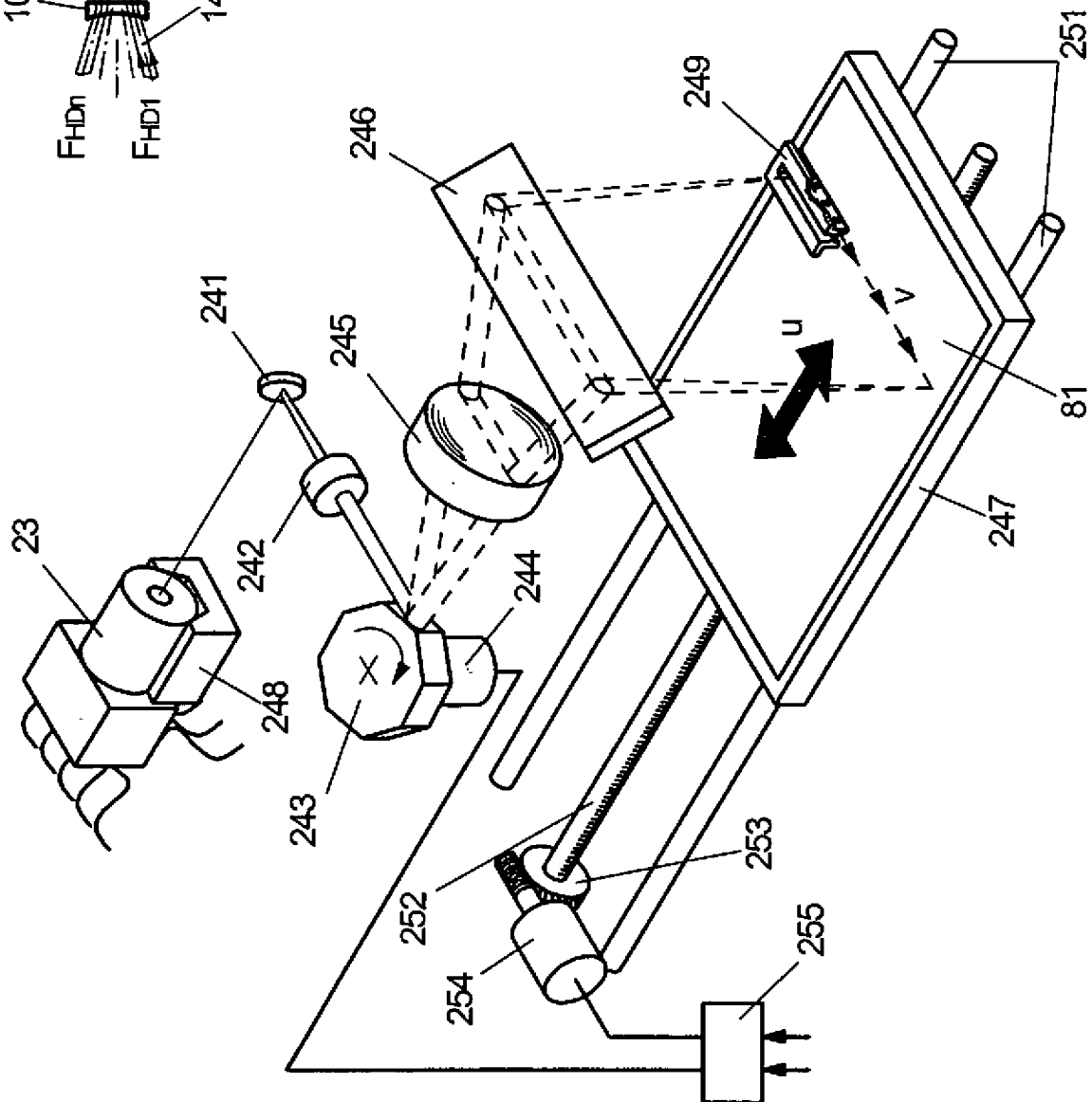


Fig. 43

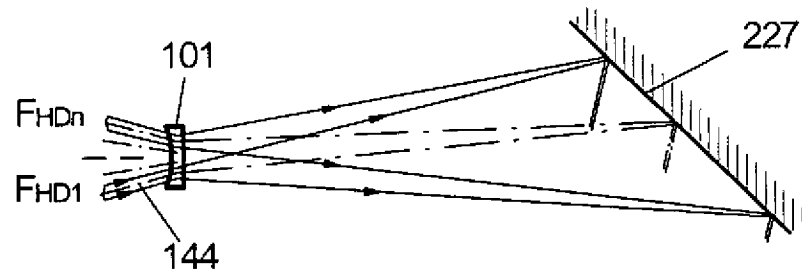


Fig. 44a

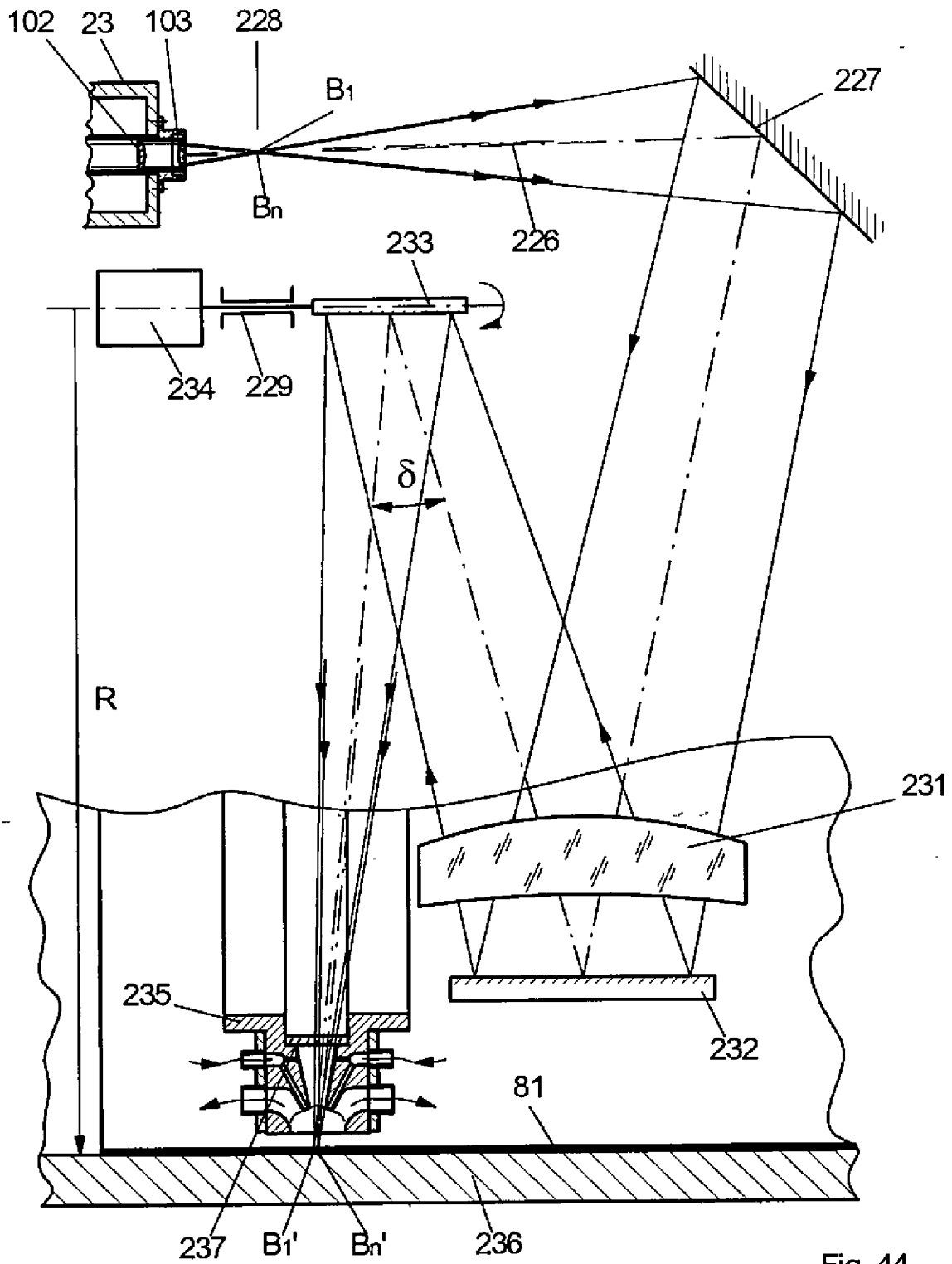


Fig. 44