

(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 001 327 B4 2006.06.14**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 001 327.6**
 (22) Anmeldetag: **08.01.2004**
 (43) Offenlegungstag: **04.08.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **14.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B26F 1/31 (2006.01)**
B23K 26/38 (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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Grosse, Werner, 45657 Recklinghausen, DE

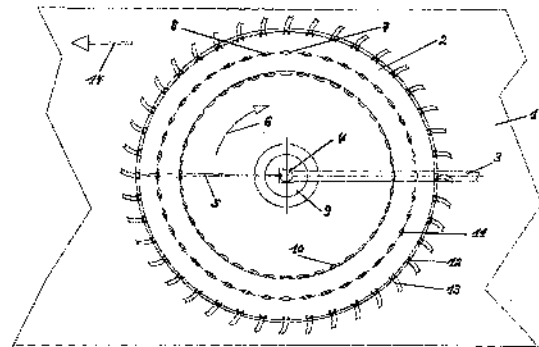
(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 29 18 283 C2
DE 195 11 393 A1
DE 102 51 610 A1
DE 37 42 553 A1
DE 28 28 754 A1
FR 01 30 698

US2003/01 31 865 A1
US2002/01 58 050 A1
US2001/00 38 368 A1
US 60 64 032 A
US 57 46 229 A
US 54 04 889 A
US 41 18 619 A
US 62 29 115 B1
EP 09 09 606 A1
EP 06 24 424 B1
WO 99/58 006 A
WO 98/39 135 A
JP 10-0 34 365 A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Laserperforation von breiten Warenbahnen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Laserperforation von breiten Warenbahnen (1), wie z.B. für Zigaretten, Mundstückbelag- oder Kaffeefilterpapiere, Filterumhüllungspapiere so genannte Plug-Wraps, Sicherheitspapiere, holografisch bedruckte, foliengepresste, beschichtete oder metallisierte Papier- oder Verpackungs- oder Kunststoffbahnen wie BOPP, LDPE, HDPE oder Spinnvliese mit sichtbaren oder unsichtbaren Laserstrahlen, deren Lochreihen (23) im wesentlichen parallel zur Transportrichtung (14) der Warenbahn (1) ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine kontinuierliche Vollkreisumlaufbewegung ein oder mehrere Laserstrahlen (5), die von oben und/oder unten dem rotierenden, kubischen Strahlteiler (36) zugeführt und auf die Horizontalebene umgelenkt sind, so dass alle im Außenkreis des optischen Hochleistungslasermultiplexers (2) umlaufend befindlichen, optischen Einzelkanäle (7, 8) vom einem oder mehreren, rotierenden Laserstrahlen (37, 40, 41, 42) über die Eintrittszylinderlinsen (29) innerhalb eines bestimmten und für alle Einzelkanäle gleiches Zeitfenster versorgt werden, so dass mindestens 40 optische Einzelkanäle mit minimalen Übertragungsverlusten der Strahlleistung und Strahlqualität verfügbar sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung beschreibt und umfasst ein Verfahren und Vorrichtung zur Laserperforation in bis zu 600 m/min bewegten und bis zu 2000 mm breiten Warenbahnen, wobei die erzeugten Laserlochreihen oder Lochreihengruppen im wesentlichen parallel zur Transportrichtung der Bahn angeordnet sind.

[0002] Unter bewegtem Warenbahnen sind im Zusammenhang dieser Erfindung insbesondere Papier- oder anderweitig veredelte Bahnen zu verstehen, wie z.B. Zigaretten-, Mundstückbelag- und Kaffeefilterpapiere, Filterumhüllungspapiere so genannte Plug-Wrap, Sicherheitspapiere, holografisch bedruckte, foliengepresste, beschichtete oder metallisierte Papier- oder Verpackungs- oder auch bestimmte Kunststoffbahnen wie BOPP, LDPE, HDPE, Spinvliese usw. die zumindest im Bereich der Perforationen ein gewisses Maß an Gas- oder Wasserdurchlässigkeit aufweisen. Diese Materialien werden für verschiedene Weiterverarbeitungsprozesse im Format von 400–2000 mm als Großrollen, oder auch Jumbo Rollen genannt, in Längen bis zu 25.000 Metern und Rollendurchmessern bis 1500 mm ab- und aufgerollt. Daher sind in dieser Erfindung mit Breitbahnen Materialbreiten von mindestens 200 mm, was für Mundstückbelagpapiere auf mindestens 3 Bobbienen übertragbar ist, anzusehen.

[0003] Im gleichen Zusammenhang wird die Laserperforation als Offline Perforation bezeichnet, und grenzt sich damit eindeutig zur Online Laserperforation an Zigarettenherstellungs- bzw. Filteransetzmaschinen oder auch Verpackungsmaschinen ab. Die mit dem menschlichen Auge normalerweise nicht sichtbaren, oder wenn gewünscht sichtbaren, Perforationen sind mit fokussierbaren Einzellaserstrahlen sehr präzise in der Lochgröße und Lochposition erzeugbar. Aufgrund der physikalischen Bedingungen und thermischen Eigenschaften und damit verbundenen Absorptionen der vorzugsweise verwendeten Warenbahnen kommen CO₂-Leistungslaser im Wellenbereich von 10.4–10.8 µm zum Einsatz.

[0004] Hierzu lassen sich die wesentlichen Fakten und Anforderungen der Offline Laserperforation für die eingangs genannten Warenbahnen wie folgt zusammen fassen:

- Materialflächengewichte: 16–100 g/m²
- Materialbahndicken: 30–80 µm
- Materialbedruckungen: unterschiedlichster Art und Positionen – meist außerhalb der Perforationsbereiche
- Bahnbreiten: 400–2000 mm
- Bahngeschwindigkeiten: bis zu 600 m/min
- statische Porositätsmessung: Luftdurchsatzmeßsysteme, z.B. Borgwaldt oder Sodimat
- physikalische Messeinheit der Gasdurchlässigkeit, hier als Porosität genannt für diese Meßsys-

teme: Coresta Units – ml/min/cm

- Porositätsbereiche: 80–4000 C.U.
- Porositätsvariationen: < 3 % bei Porositätsbereichen von > 400 C.U.
- Lochgrößen: 60–300 µm, als Mikro- oder Makrolöcher
- Lochdichten: 5–40 Löcher pro cm in Bahnlaufrichtung
- Lochformen: optimal rund bis leicht oval, ohne Außengrad
- Porosität pro Perforationsloch: 8–80 C.U.
- Anzahl der Laserlochreihen pro Bobbienseite und Bobiene: 2–6 auf jeder Seite – somit 4–12 für jede einzelne Bobiene
- minimale Abstände zwischen zwei nebeneinander liegenden Lochreihen: 1.0 mm
- Lochreihen- oder Lochreihengruppenabstand untereinander: 10–40 mm
- Anzahl der Einzellochreihen über die Bahnbreite verteilt: 8–120 und mehr
- Positionierung jeder Laserlochreihe über die Bahnbreite: +/- 0.1 mm
- Lochanzahl für alle Lochreihen zusammen: 100.000–2.000.000 Löcher pro Sekunde
- Kinetische Energie pro erzeugtes Laserloch – je nach Materialart: 2.0–4.0 mJ
- Zeitfenster des Laserstrahles pro Perforationsloch: 20–50 µs
- CO₂ Laser 10.6 µm Wellenlänge und optische Leistungen von 500–4000 Watt
- CW- oder Puls-Betrieb bis 10.000 Hz, einstellbares Impuls-Pausen-Verhältnis
- Schwankungen der optischen Laserleistung: 2–4 % max.
- Lasermoden: TEM₀₀ Grundmode oder höhere Moden
- Strahlqualitätsfaktor: M = 0.6–1.0 mrad
- Energiedichten bei Fokussierungen des Hauptstrahles in Größenordnungen von 100–200 µm: 1–10·10⁸ Watt/cm²
- Durchmesser des zugeführten Laserstrahles: 8–12 mm
- sehr präzise und gleich bleibende Materialbahnführung im Fokusbereich mit Bahnschwankungen < 100 µm
- Rotation von Drehspiegeln oder anderen optischen Elementen: 10.000–50.000 U/min

[0005] Unter diesem physikalisch, technischen Hintergrund und den hohen Produkthanforderungen ist die nachstehende Erfindung der Offline Laserperforation zu sehen und sind deren vorteilhaften Lösungen erarbeitet.

Stand der Technik

[0006] Der Stand der Technik für das Auslenken, Umlenken, Weiterführen und Pulsen von CO₂ Laserstrahlen ist in einer Vielzahl von internationalen und nationalen Patenten beschrieben, so dass an dieser

Stelle die Schutzrechte mit dem Stand der Technik angegeben werden, die unmittelbar oder mittelbar mit dem Perforieren der Warenbahnen aus den o.g. Anwendungsbereichen im Zusammenhang stehen.

[0007] In den Patenten DE 29.18.283 C2, DE 195.11.393A1, FR 21.30.698 A1 und US 41.18.619 A sind grundlegende Verfahrensweisen und Vorrichtungen angegeben und ausführlich beschrieben, mit denen Laserstrahlen durch Drehspiegel, Polygone oder diffraktive, optische Elemente auch DOE's genannt, in einem Winkel meist unter 90 Grad ausgelenkt und/oder verdoppelt auf durchlaufende Papierbahnen zur Perforation benutzt werden.

[0008] Diese Verfahrens- und Vorrichtungstechniken sind in den Jahren danach für viele Offline Laserperforationsmaschinen, als mehrfach Bobienenperforationsanlagen mit bis zu vier gleichzeitig bearbeiteten Bobienen, Bobienenlängen bis 4000 Metern, bis zu 32 Einzelstrahlkanälen, Bahnbreiten bis zu 400 mm, Bahngeschwindigkeiten bis 600 m/min und Lochsequenzen bis zu 500.000 L/Sek. erfolgreich konvertiert worden.

[0009] Aus Patenten zur Online Perforation Zigarettenherstellungs- oder Filteransetzmaschinen, z.B. der US 5.404.889 A, US 5.746.229 A, JP 100.34.365A, US 6.229.115 B1, US 6.064.032 A, US 200.100.38.068 A1, US 200.301.31.856 A1, und US 200.201.580.50 A1 sind technologisch hochwertige Lösungen zur Laserstrahlum- und Auslenkung mit oszillierenden Spiegeln und speziellen, optischen Teilungselementen vertieft beschrieben. Diese beziehen sich ausschließlich auf maximal zwei Bobienen- bzw. zwei Bobienenstreifen, wobei die Laserperforation häufig durch die Mundstückbelagpapiere hindurch in den Filter eintritt, um die Nikotin- und Schadstoffanteile der unmittelbar danach hergestellten Zigaretten gesteuert abzusenken.

[0010] In der PCT WO-99/58006 A1 und EP 0.624.424 B1 sind ON-LINE Laserperforationsverfahren und Vorrichtungen beschrieben, welche optische Elemente, z.B. akusto-optische Wandler, Prismenstrahlumlenkungen bei spezieller Papierbahnführung benutzen, um maximal zwei Bobienenstreifen direkt vor der Herstellung der Zigaretten zu perforieren. Dies gilt auch für die Offenlegungsschrift DE 43.28.894 A1, in der zur Mehrfachstrahlteilung Prismelemente sowie Strahlumlenkungs- und Linsen zur Perforationen von Substratbahnen verwandt werden.

[0011] Wie aus diesen Dokumenten zu ersehen ist, werden in der Regel zwei Bobienenstreifen Online perforiert sowie bei den Offline Laserperforationen bis maximal 4 Bobienen und 32 Einzelstrahlkanälen bei 90 Grad zur Bahnaufrichtung mechanisch sehr aufwendigen, optischen Strahlführungen und Fokus-

sierungen, um so die Positionierung jeder Laserperforationslinie auf die durchlaufende Materialbahn zu erzielen.

[0012] In der Anmeldung DE 28.28.754 A1 werden zur Laserperforation schräg gestellte, rotierende, optische Zerhackerscheiben verwendet, durch deren Öffnungen und Reflektionselemente der Laserstrahl zur Perforationsstelle gelangt. Verständlicherweise sind hiermit eine Reihe von Nachteile hinsichtlich der Laserleistungsverluste, Strahlqualitätseinbußen an den optischen Kanten, der relativ schwierigen Positionierung der einzelnen Laserstrahlen, deren geometrischen Flexibilität und eine Limitierung der optischen Einzelkanäle von deutlich kleiner als 40 und damit verbundenen Bobienenanzahl und Materialbahnbreite verbunden.

[0013] Aus der Anmeldung DE 37.42.553 A1 ist bekannt, dass pendelnde Galvanometer einen Laserstrahl im Winkelbereich von z.B. +/- 30 Grad auslenken und auf Sammellinsen treffen, durch denen dann der aus gelenkte Laserstrahl in angekoppelte Einzel Fasern eintreten und weitergeführt werden kann. Hierbei handelt es sich nicht um eine rotierende Umlaufbewegung im Vollkreis von 360 Grad, was bei diesem Verfahren und deren Vorrichtung nicht vorgesehen und auch nicht praktisch machbar ist.

[0014] In der Anmeldeschrift DE 199.29.426 A1 wird der Laserstrahl mittels einer Lochblende in drei Teilstrahlen aufgeteilt und einem vierkantigen Prisma Stumpf zugeführt. Damit findet die Laserstrahlteilung bereits an der Lochblende statt, was bekannte Nachteile in der Einbuße der Strahlqualität an diesem Element und in weiteren an den optischen Kanten des Prisma Stumpfes beinhaltet.

[0015] Dem Stand der Technik bekanntes Verfahren und deren Vorrichtung zum Multiplexen eines Laserstrahles ist in der Anmeldung DE 40.08.605 A1 beschrieben, mit denen der Laserstrahl durch schwenkbare und halbdurchlässige Umlenkspiegel in Einzel Fasern einmündet. Diese Methode ist nicht zum Laserperforieren geeignet, da sie im optischen Leistungsbereich von 500 Watt-4000 Watt enorme Verluste beim Strahlblocken auslöst, die Anzahl der optischen Einzelkanäle aufgrund des festen Aufbaues gering und die Bearbeitungsstelle des Lasers fest eingestellt ist.

[0016] Ein Verfahren und Vorrichtung zur OFF-LINE Laserperforation von breiten Mundstückbelagpapierbahnen ist in der Patentschrift EP 0.909.606 A1 angegeben. Hier werden mit fest um 90 Grad zur Bahnaufrichtung ausgerichteteten, mechanisch sehr aufwendigen Laserstrahlführungen, bis zu 40 Einzelstrahlkanäle über die Bahnbreite generiert und mit automatisierten Bobienenwechseleinrichtungen ganze Produktionsrollen, und dies auch mit Online Poro-

sitätseinrichtungen, welche direkt nach der Perforationssektion angeordnet sind, perforationstechnisch veredelt.

[0017] Zum Stand der Technik und dieser Erfindung nahe stehenden Patentschrift EP.0.909.606 A1 zeigt eine erste Betrachtung, dass die Gesamtzahl der optischen Strahlkanäle auf 40 und die daraus resultierenden Laserperforationslinien auf eine pro Bobienseite bei 20 Bobienen limitiert ist. Dies resultiert aus den geometrischen und räumlichen Ausdehnungen sowie des technologisch immensen Aufwandes der starren und präzisen Laserstrahlführungen sowie deren Umlenkungen und Fokussierungen auf die Materialbahn. Dies ist ein großer Nachteil bei der Breitbahn Laserperforationen mit bis zu 20 gleichzeitig verarbeiteten Bobienen, da produktionstechnisch auch zwei oder drei Laserperforationslochreihen pro Bobienseite und somit bis zu 120 optische Einzelkanäle benötigt werden. Dies lässt sich selbstredend mit festen Laserstrahlführungen nicht realisieren.

[0018] Als Ergänzung und im Zusammenhang mit dieser Erfindung stehenden Informationen als Zukaufteile oder Systeme für flexible Laserstrahlführungen sowie zu Mehrfach-Strahlteilern finden sich in den nachstehenden Publikationen.

- Standardisierte, flexible Strahlführungssysteme für die Lasermaterialbearbeitung, Photonik 5/2002, Dieter Frank, Firma GMS Frank Optic Products GmbH Berlin.
- Flexible Hohlwellenleiter für Laseranwendungen, Prof. Dr. K. Behler, Fachhochschule Gießen-Friedberg, Fachbereich Elektrotechnik II, Hannover-Messe 2002.
- Flexible hollow-Core-Waveguides for CO₂-Lasers, potential and limitation as beam guiding system for material processing, Prof. Dr. Behler 2003, Second International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing June 2003, Munich.
- Hollow Silica Waveguides from Polymicro Products; high-power laser fibres, CeramOptec GmbH 2003, data sheet PT-HSW/12-02, <http://www.Polymicro.com>.
- Lincoln Laser high-speed scanner Laser products: Firma Lincoln Laser, Phönix USA
- Ligo Laboratory G030270-00-D: suspension with quadruple beam splitters. Edmund Optics: multiple beam splitters, <http://www.edmundoptics.de>
- Laserline GmbH: Strahlweichen/Strahlteiler für Diodenlaser, <http://www.laserline.de>
- Omicron Laserage: Lasereffekte mit Mehrfachstrahlteilern, <http://www.laserage.de>
- Spekle-Messtechnik am Lehrstuhl für Messsystem/Sensortechnik, <http://zeus.eikon.de>
- Ein neues Slablaser-Konzept ermöglicht verbesserte Strahleigenschaften, Keming Du, Edge Wave GmbH 2003, IPL-Aachen.
- Weg des Laserstrahles vom Lasergerät zum Werkstück 2003, Firma Trumpf GmbH.

- Press-release Perfolite, high-end-Perfolas, 2001–2003, Rofin Baasel Lasertech GmbH.
- Laserperforation mit MLP-10 und MLP-50, MLT-Micro Laser Technology GmbH.

[0019] Ein wesentlicher Aspekt der Laserperforation ist in der Limitierung der Lochsequenzen bei 100.000 bis ca. 400.000 Löcher pro Sekunde, der zugeführten, optischen Strahlleistung eines Laserstrahles von derzeit ca. 2000 Watt bei Offline und ca. 300 Watt bei Online Laser-Perforationssystemen mit hoch rotierenden Polygon- oder Drehspiegeln zu sehen, da ansonsten die Einzelenergien für jedes erzeugte Laserloch in der Materialbahn nicht mehr ausreichen. Dies lässt sich nach der angegebenen Auflistung leicht ermitteln.

[0020] Des weiteren ist aus den Patentschrift DE 29.18.282 A1, DE 195.11.393 A1, FR 21.30.698 A1, US 41.18.619 A und der PCT WO-99/58006 A1 sowie aus den praktischen Verfahrensweisen von im Markt befindlichen Laserperforationsanlagen bekannt, dass eine automatisierte und völlig selbsttätige Einstellung der Laserlinienpositionierung und Fokussierung auf die Materialbahn gänzlich unmöglich ist, weil zum einen die optischen Einzelstrahlkanäle nicht motorisch verstellbar und/oder keine geometrische Perforations- und optische Porositäts erfassung nach der Perforationssektion, und andererseits optische Online Positions-Porositätsmesssysteme, wie z.B. wie in der auf die gleiche Anmelderin zurückgehende DE 102.51.610 A1 beschrieben, nicht vorhanden sind. Und dies bei Anlagen mit bis zu 32 optischen Einzelkanälen.

[0021] Daher ist daher leicht einzusehen, dass eine manuelle Einstellung der Geometrien aller Einzelstrahlkanäle außerordentlich mühevoll, zeitintensiv und im weiteren eine spätere Kontrolle während der laufenden Perforation fast gänzlich unmöglich ist, so dass Abweichungen in der Laserlinienposition wie auch in der Lochqualität einzelner Lochreihen und damit verbundener Porositätsabweichung, z.B. ausgelöst durch Verschmutzungen an den Laserköpfen, Einflüsse der Absaugluft und Verschmutzungen der Umlenkwalzen auf die Fokussierung, geringer Bahnkantensatz und der gleichen mehr, erst zum Ende der produzierten Bobiene und zum Stillstand der Maschine erkennbar sind.

[0022] Auch sind in der Produktionspraxis die mit Änderungen der Lochqualitäten verbundene Porositätsabweichungen während der laufenden Perforation nicht direkt kompensierbar, da fast ausschließlich alle Verfahren die optische Laserleistung als Strahlquelle sehr konstant halten, aber nach der Strahlauflistung und Fokussierung keine Einwirkungsmöglichkeiten auf die Änderung der Intensität der optischen Einzelstrahlkanäle bestehen.

[0023] Somit sind Lochqualitäts- und Perforationsprofilkontrollen und dem sich anschließenden Regelkreis zu Trendnachführungen für das Perforationssystem simultan nicht möglich, was beim hohen Automatisierungsgrad der Produktionsanlagen äußerst nachteilig ist. Dies gilt im besonderen Maße für ein automatisiertes, schnelles Rüsten und Einstellen der Perforationsköpfe über die Bahnbreite hinsichtlich der Positionierung und Anfangsoporosität, wie dies z.B. zur motorischen Unter/Obermesserpositionierung von Rollenschneidanlagen bekannt ist.

[0024] Abschließend sei noch erwähnt, dass fast alle Offline Laserperforationsverfahren und im Markt erhältlich Laserperforationsanlagen Bobiene für Bobiene veredeln, was praktisch bedeutet, dass nach jedem Bobienenschnitt von 3000 oder 4000 Metern Länge die Maschine angehalten wird, Bobienen ausgetauscht und dann die Maschine wieder in den Produktionsbetrieb versetzt wird. Dieser Start-Stopp-Betrieb reduziert nicht nur die Gesamteffizienz der Anlage sondern erzeugt durch die Beschleunigungs- und Bremsphasen auch einen nicht unerheblichen Anteil von Ausschussmaterial in der Größenordnung von 4–8 %.

[0025] Daher ist leicht einzusehen, dass bei sehr hohen Bahngeschwindigkeiten bis zu 600 m/min und hochgerüsteten Laser- und Perforationsleistungen die Stoppphasen zum Austausch der fertigen und zur Vorbereitung der neuen Bobienen bis zu 5 Minuten betragen kann, was dazu führt, das bei 3000 Meter langen Bobienen die Stillstandzeit zwischen 30–50 % betragen kann.

Aufgabenstellung

[0026] Daher liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die aufgezeigten Nachteile der dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren und Vorrichtungen auszugleichen und hiermit eine technische Lösung anzugeben, mit der eine deutlich höhere Anzahl von Laserstrahlkanälen, und dies von 40 bis zu 120 Einzelkanälen und mehr bei Bahnbreiten bis zu 2000 mm, möglich sind.

[0027] Das erfindungsgemäße Verfahren und Vorrichtung zur Laserperforation von breiten Warenbahnen wird durch die Merkmale des Verfahrens nach Anspruch 1 bzw. durch die Merkmale der Vorrichtung nach Anspruch 16 gelöst.

[0028] Die Lösung besteht darin, dass mit einem Hochleistungslasermultiplexer, in deren Zentrum sich ein rotierender, kubischer Strahlteiler befindet, der zugeführte Laserstrahl in einem 360 Grad Vollwinkel in zwei oder vier Einzelstrahlen an deren Seitenflächen geteilt austritt und auf eine hohe Zahl von optischen Eintrittskanälen mit angekoppelten Fasern gelenkt wird. Die Enden aller Fasern sind mit Kollimator-

und Fokussieroptiken als Mikroperforationsköpfe versehen und können durch deren Flexibilität und räumlichen Freiheitsgrad auf ideale Weise und mit den im Markt befindlichen motorischen Positionierungssystemen, wie z.B. an Rollenschneidern verwandt, in die durchlaufende Materialbahn mit den Laserperforation an beliebigen Stellen und nach Maßgabe der Perforationsraster, versehen. Somit werden in dieser Erfindung die in der bisherigen Technik sehr aufwendig eingesetzten, optischen Umlenkungs- und mechanisch hochwertigen Führungselemente gänzlich vermieden.

[0029] Ein weiterer Erfindungsvorteil ergibt sich dadurch, dass mit dem kubischen Strahlteiler durch die Zweifach oder Vierfach Laserstrahlteilung deren Rotationsfrequenz sich um den Faktor 2 bzw. um Faktor 4, gegenüber nur einem umlaufenden und zuvor abgelenkten Laserstrahl reduziert, was die Belichtungszeit, also die Laserverweilzeit auf jeden einzelnen optischen Kanal, verlängert und so die eingangs genannten Energierelationen bei zu 120 und mehr optischen Einzelkanälen einhält.

[0030] Erfindungsgemäß ist erkannt und durch eine Vielzahl von Untersuchungen und praktischen Tests bestätigt worden, dass nur mit einer kreisförmigen Anordnung eines Hochleistungslasermultiplexer die hohe Zahl von optischen Einzelkanälen von z.B. 80, 120 oder mehr, möglich sind, als dies bisher mit der Polygonstrahlauffächerungs- und Wellenbogentechnik bis maximal 32 Einzelkanälen mit Strahlauslenkungen eines Laserleistungsstrahles von kleiner 90 Grad praktiziert wird.

[0031] Des weiteren ist es technologisch und produktionstechnisch ein großer Vorteil, das mit dem zweifach oder vierfach Strahlteiler die kreisförmig umlaufenden Laserstrahlen mit sehr hohen optischen Leistungen betrieben werden können, was eine elementare Voraussetzung für die notwendige Laserenergie pro Perforationsloch von 2.0–4 mJ in der Materialbahn ist.

[0032] Darüber hinaus sind Zweifach-Laserstrahl- ausgänge als Laserquellen, mit jeweils 2·500 Watt oder 2·2000 Watt optischer Leistung, verfügbar, was die Zuführung auf die erfinderische Vorrichtung mit bis zu 120 oder auch mehr optischen Einzelkanälen deutlich vereinfacht.

[0033] Eine Alternative für den Einsatz von speziellen optischen Fasern und deren Laserstrahlweiterführung vom Hochleistungslasermultiplexer zum Perforationsort der Warenbahn besteht aus motorisch verstellbaren Umlenkspiegeln und den sich in senkrechter Ebene anschließenden Fokussiereinheiten und Mikroperforationsköpfen. Hierbei ist die kreisförmige Laserstrahlauffächerung des Hochleistungslasermultiplexer konstruktiv so gestaltet, dass deren

Gesamtdurchmesser kleiner oder auch größer ist als die Bahnbreite und die Einrichtung ober- oder unterhalb der durchlaufenden Materialbahn zur Anordnung kommt. Mit der geometrischen Verstellung der Umlenkspiegel aller Einzelstrahlkanäle gegenüber dem Zentrum der Strahlzuführung, und der dabei entstehenden Schrägverstellung gegenüber der quer durchlaufenden Materialbahn, lassen sich die Laserperforationslinien an den gewünschten Positionen erzeugen. Da sich die Strahlführungen eines jeden Einzelkanals nur in der Länge ändern, bleiben die Fokussierungs- oder Strahldivergenzeigenschaften in erster Näherung unberührt, so dass der zuvor angegebene Strahlqualitätsfaktor erhalten bleibt. Und dies unter Beachtung der sehr nah und oder weiter voneinander positionierten Laserlochlinien, von z.B. 1.0 mm und 40 mm, je nach Bobienbreite und Rasterung. Durch eine leichte Schrägstellung der Gesamtanordnung gegenüber der Materialbahn werden Überlappungen im 90 und 180 Grad Bereich der Einzelkanäle vermieden.

[0034] Weitere Alternativen zum rotierenden, kubischen Strahlteiler im Zentrum des Hochleistungslasermultiplexers lassen sich durch die Verwendung von rotierenden Umlenkelementen oder auch Polygone mit geneigten Facetten angeben, welche dann den oder die beiden zugeführten Laserstrahlen in 360 Grad Vollkreis mit hoher Geschwindigkeit umlaufen lassen. Im Innenkreis des Hochleistungslasermultiplexers wird dann in gleicher Weise der umlaufende Laserstrahl in jeden optischen Einzelkanal eingekoppelt.

[0035] Eine Besonderheit stellt hierbei die Alternative mit dem hoch rotierenden Polygonrad und geneigten Facetten, z.B. sechs Facetten, dar. Die vierfach und nicht gepulste Laserstrahlzuführung und damit verbundene Strahlauflächerung im Bereich von jeweils 4·2·45 Grad der zugeordneten Kreisabschnitte von z.B. 4·30 Einzelkanälen bietet eine gute verfahrenstechnische und technologische Realisierung der eingangs genannten Basisvoraussetzung.

[0036] Durch die Neigung der Polygonflächen lassen sich z.B. vier Laserstrahlen von oben schräg einfallend zuführen, ohne dass eine Lückung zur Stahlabdeckung der zuvor genannten Teilkreisabschnitte von z.B. 4·2·45 Grad im Vollkreis des Hochleistungsmultiplexers in horizontaler und gleicher Ebene zu den optischen Einzelkanälen entsteht.

[0037] Weitere Verfahrens- und Vorrichtungsvorteile dieser Erfindung ergeben sich aus der relativ einfachen Laserstrahlführung mit konventionellen, optischen Komponenten, der absoluten Baugleichheit aller Einzelkanäle, der kompakten Ausführung aller Umlenk- und Perforationsköpfe, deren mechanisch-motorischen Lineareinheiten sehr preiswert, zu erwerben sind.

[0038] Des weiteren ist hervor zu heben, dass der technologische und mechanische Aufwand zur Strahlführung und Erzeugung von hoher Anzahl optischer Einzelkanäle mit dem erfinderischen, kreisförmigen Hochleistungslasermultiplexer deutlich geringer ist, als dies mit konventionellen festen Strahlführungen bei deutlich geringeren, optischen Einzelkanälen machbar wäre. Damit sind die technologische Realisierung und der investive Aufwand für bis zu 120 oder mehr optischen Einzelkanälen und Breitbahnen bis zu 2000 mm praktisch erst machbar geworden.

[0039] Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil der erfinderischen Lösung besteht darin, dass die eingangs genannte geometrische Perforations- und optische Porositätsfassung, z.B. wie in der DE 102.51.610 A1 beschrieben, eingesetzt werden kann und durch deren funktionalen Rückführung alle Laserstrahlführungen und damit verbundene Perforationslochlinien quer zur Materialbahn automatisiert und exakt positionierbar sind. Sowie deren Porositäten und Lochqualitäten einer jeden Lochreihe oder Lochreihengruppe zu erfassen und über die motorischen Fokussierungen der erfinderischen Vorrichtungen in bestimmten Bereichen, ohne dass sich deren Lochqualitäten verschlechtern, nachzustellen, um so die wesentlichen Produktgrößen bei dem Laserperforieren weitgehend konstant zu halten.

[0040] Nachstehend einige Berechnungen, welche beispielhaft für Mundstückbelagpapierbahnen ausgeführt sind, was eine Vergleichbarkeit mit den eingangs aufgestellten Anforderungen erlaubt. Wie aus den Ergebnissen zu ersehen ist, wird dies in vorteilhafter Weise erfüllt, was praktische Tests der ersten technologischen Industrieausführungen bestätigt haben. Gleichermaßen lassen sich weitere Berechnungsbeispiele mit anderen physikalischen Bedingungen für andere Materialbahnarten daraus ableiten.

[0041] Für die Lochwiederholungsrate einer jeden Lochreihe und insgesamt für alle gilt:

- bei A = 20 Löcher pro cm perforierter Lochlinie und Bahngeschwindigkeiten von 120 m/min: $(120 \text{ m/min}/60\text{Sek./min}) \cdot 100 \text{ cm} \cdot 20 \text{ Löcher/cm} = 4000 \text{ Löcher pro Sekunde pro cm} - \text{ pro Einzellochreihe}$
- bei 120 Einzelkanälen: $120 \cdot 4000 \text{ Löcher/Sekunde} = 480.000 \text{ Löcher pro Sekunde}$
- bei B = 20 Löcher pro cm perforierter Lochlinie und Bahngeschwindigkeiten von 300 m/min: $(300 \text{ m/min}/60\text{Sek./min}) \cdot 100 \text{ cm} \cdot 20 \text{ Löcher/cm} = 10.000 \text{ Löcher pro Sekunde pro cm} - \text{ pro Einzellochreihe}$
- bei 120 Einzelkanälen: $120 \cdot 10.000 \text{ Löcher/Sekunde} = 1.200.000 \text{ Löcher pro Sekunde}$

[0042] Zur Rotation des Strahlteiles oder geneigten Polygons gilt:

Für den Vierfachsstrahlteiler errechnet sich eine Rotation von:

- bei A = $4000 \text{ L/Sek}/4 = 1000 \text{ U/Sek.}$

[0043] Für das Polygon mit 6 Facetten und vier Laserstrahlen:

- bei A = $4.000 \text{ L/Sek.}/6/4 = 166.66 \text{ U/Sek.}$
- bei B = $10.000 \text{ L/Sek.}/6/4 = 416.66 \text{ U/Sek.}$

[0044] Kalkulation der Zeitdauer und Laserenergie pro zugeführtem oder geteiltem Strahl:

Für den Vierfachsstrahlteiler errechnet sich theoretisch:

- bei A = 1000 U/Sek. und 120 Einzelkanälen: $1/1000 \text{ Sek.}/(120/4) = 33.2 \mu\text{s}$ abzüglich der Zeit für das Ein- und Austauchen des Laserstrahles in die volle optische Öffnungsweite des Eintrittskanals mit ca. 40 % = ca. 20 μs
- bei A = 4000 Löcher/Sek. und 3.5 mJ/Loch = $4000 \cdot 3.5 \text{ mJ} \cdot 30 = 420 \text{ Watt}$

[0045] Für geneigte Polygon mit 6 Facetten errechnet sich theoretisch:

- bei A = 1000 U/Sek. und 120 Einzelkanälen: $1/1000 \text{ Sek.}/(120/4/6) = 200 \mu\text{s}$ abzüglich der Zeit für das Ein- und Austauchen des Laserstrahles in die volle optische Öffnungsweite des Eintrittskanals mit ca. 40 % = ca. 120 μs
- bei A = 4.000 Löcher/Sek. und 3.5 mJ/Loch = $4000 \cdot 3.5 \text{ mJ} \cdot 30 = 420 \text{ Watt}$ pro Laserleistungsstrahl – bei 4 Strahlen = 1680 gesamte Laserleistung
- bei B = 10.000 Löcher/Sek. und 3.5 mJ/Loch = $10.000 \cdot 3.5 \text{ mJ} \cdot 30 = 1050 \text{ Watt}$ pro Laserleistungsstrahl – bei 4 Strahlen = 4200 Watt gesamte Laserleistung

[0046] Wie aus den einfachen, theoretischen Berechnungsbeispielen zu ersehen ist, bewegen sich die wesentlichen physikalischen Größen in den eingangs aufgelisteten Größenordnungen, was sich in der Praxis weiter bestätigt hat.

[0047] Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten, weiterzubilden und anzugeben. Dazu ist einerseits auf die in den Patentansprüchen 1–20 beschriebenen Ausführungen, und andererseits auf die nachfolgenden Erläuterungen mehrerer Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen 1–15 zu verweisen.

Ausführungsbeispiel

[0048] In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung und mittels der Zeichnungen werden auch im allgemein bevorzugten Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. Dies insbesondere für Materialbahnen wie Mundstückbelagpapiere wie aber auch Ver-

packungsbahnen jeglicher Art und Ausführung.

[0049] Hierbei zeigen die Zeichnungen im einzelnen:

[0050] **Fig. 1:** die schematische Draufsicht des Hochleistungslasermultiplexers mit der Zuführung eines Laserstrahles und rotierendem Umlenkelement für 80 optische Einzelkanäle und Faserauskopplung auf die darunter befindliche Materialbahn

[0051] **Fig. 2:** die schematische Seitenansicht des in **Fig. 1** dargestellten, erfinderischen Hochleistungslasermultiplexers mit Laserstrahlzuführung und Einzelfaserauskopplung

[0052] **Fig. 3:** die Seitenansicht der Faserauskopplung mit dem Perforationskopf über die Materialbahn

[0053] **Fig. 4:** Draufsicht auf die Materialbahn mit den Laserlochreihen nach **Fig. 1**

[0054] **Fig. 5:** die schematische Draufsicht auf den Hochleistungslasermultiplexer mit der Zuführung eines Laserstrahles, dem rotierenden Umlenkelement, 80 optische Einzelkanäle sowie die motorisch verstellbaren Strahlumlenkungs- und Fokussiereinrichtungen auf die darunter befindliche Materialbahn

[0055] **Fig. 6:** eine Seitenansicht zu **Fig. 5**

[0056] **Fig. 7:** eine Seitenansicht der **Fig. 5** mit Laserstrahlzuführung, dem rotierenden kubischen Strahlteiler sowie die motorisch verstellbaren Strahlumlenkungs- und Fokussiereinrichtungen auf die darunter befindliche Materialbahn

[0057] **Fig. 8:** eine schematische Draufsicht auf den Hochleistungslasermultiplexer, der Rotation von vier Laserstrahlen nach deren Teilung durch den rotierenden kubischen Strahlteiler, 80 optischen Einzelkanäle, motorisch verstellbaren Strahlumlenkungs- und Fokussiereinrichtungen und die darunter befindliche Materialbahn

[0058] **Fig. 9:** eine Seitenansicht der **Fig. 8**, allerdings mit vierfach Laserstrahlzuführung, einem rotierenden Polygonrad mit geneigten Facetten, der Einzelstrahlumlenkung durch die motorisch verstellbaren Strahlumlenkungs- und Fokussiereinrichtungen und die darunter befindliche Materialbahn

[0059] **Fig. 10:** eine Draufsicht auf die Materialbahn mit den Laserlochreihen nach **Fig. 8**

[0060] **Fig. 11:** eine Draufsicht auf die Materialbahn mit den Laserlochreihen nach **Fig. 8** und weiteren Lochreihendetails

[0061] **Fig. 12:** eine Draufsicht auf die Materialbahn

mit den Laserlochreihen nach **Fig. 8** und weiteren Lochreihendetails

[0062] **Fig. 13:** die Gesamtansicht der Breitbahn-Laserperforationsmaschine

[0063] **Fig. 14:** die Seitenansicht der Breitbahn-Laserperforationsmaschine

[0064] **Fig. 15:** die Gesamtansicht der Faser gekoppelten Perforationssektion

[0065] **Fig. 1** zeigt die schematische Draufsicht der 360 Grad-Vorrichtung als optischer Hochleistungslasermultiplexer (2) mit der Laserstrahlzuführung (3) für den Laserhauptstrahl und rotierendem Umlenkelement (4), welcher vom High-Speed Motor (9) betrieben ist. Der umlaufende Laserstrahl (5) mit Richtungsangabe (6) überstreicht zu jedem 360 Grad Vollwinkelumlauf die 80 hier dargestellten optischen Einzelkanäle (7, 8) mit deren optischen Einlassöffnung mit vorgesetzter Zylinderlinse (10). Die Eintrittslinsen (10), deren Angabe (7, 8) gleichzeitig den ersten und letzten optischen Kanal definieren, fokussieren den jeweils eintretenden Laserstrahl auf die Fasereinkopplung (12). Die Auskopplungen erfolgen über die CO₂-Hohlfaser (13). Unterhalb der Hochleistungslasermultiplexers ist die durchlaufende Materialbahn (1), mit der Vorschubrichtung (14), eingezeichnet.

[0066] Durchmesser und räumliche Anordnung des optischen Hochleistungslasermultiplexers (2) sind völlig unabhängig von der Materialbahnbreite und nur bestimmt durch die geometrischen Dimensionen und optischen Elementanordnungen. In diesem Beispiel erfolgt die Anordnung direkt über die Materialbahn (1), in der **Fig. 13** z.B. direkt am CO-2 Laserquellenausgang.

[0067] In Weiterführung dieser Ansicht zeigt **Fig. 2** die Seitenansicht mit der Laserstrahlzuführung (3) und der Laserstrahlzuführungsrichtung (15). Über den festen Strahlumlenkspiegel (16) gelangt der Laserhauptstrahl auf die Fokussierlinse (17), welche aufgrund der hohen Energiedichte meist wassergekühlt ist, mit der ein Strahldurchmesser von bis zu einer Größe von ca. 200 µm Durchmesser auf dem hoch rotierendem Umlenkelement (4) projiziert ist, und so um 90 Grad umgelenkt und im Vollkreiswinkel von 360 Grad durch die Rotationsrichtung (6) auf die Zylinderlinsen (10) zur jeweiligen Fokussierlinse (11) dann zur Fasereinkopplung (12) gelangt. Das hoch rotierende Umlenkelement (4) kann als Planspiegel oder als Parabolspiegel ausgebildet sein, und beinhaltet in seiner Halterung eine mechanisch präzise Auswuchtung zum Ausgleich der hohen Fliehkräfte.

[0068] Weitere optische Details bedürfen an dieser Stelle keiner weiteren Erläuterung, da sie in den ein-

gangs genannten Patentschriften ausführlich erklärt sind.

[0069] Jede mit dem Laserstrahl (3) beaufschlagte CO-2 Hohlfaser (13), mit z.B. 50 oder 200 µm Innenkerndurchmesser, ist der Weise nach **Fig. 3** ausgeführt. An deren Ende ist die Kollimatoroptik (19) und mit der motorisch verstellbaren Fokussieroptik (20) angeordnet und als Mikroperforationskopf ausgebildet, so dass eine sehr feine Fokussierung für Lochgrößen von 50–200 µm Durchmesser auf der in Vorschubrichtung (14) durchlaufenden Materialbahn (1) stattfinden kann. Diese Fokussieroptiken (20) sind auch als Mikroperforationsköpfe bezeichnet, und werden, wie eingangs detailliert beschrieben, über die Bahnbreite in zwei Reihen verteilt, motorisch und automatisiert positioniert und erzeugen so die jeweiligen Laserlochreihen.

[0070] Unter **Fig. 4** ist eine Draufsicht auf die Materialbahn (1) und deren (14) dargestellt. Zur exakten Materialbahnführung dienen die beiden Umlenkwalzen (22). Des weiteren ist anzugeben, dass die Kollimatoroptik (19) und damit ausgebildeten Perforationsköpfe, deren mechanischen Halterungen und motorischen Querverstellungen der Einfachheit an dieser Stelle nicht weiter dargestellt sind, da die Perforationsentstehung auf der Materialbahn (1) in den weiteren **Fig. 10**, **Fig. 11** und **Fig. 12** erfolgt.

[0071] Diese können in der Y-Ebene zweireihig aufgeteilt oder auch in der Y-Ebene zweireihig versetzt angeordnet sein. Als Beispiel der in dieser Verfahrensweise und Reihenfolge erzeugten Lochreihen sind mit (23, 24, 25, 26, 27, 28) gekennzeichnet. Die nicht weiter bezeichneten Kollimatoroptik und damit ausgebildeten Perforationsköpfe für die Lochreihen (24, 25, 26, 27, 28) sind mit dem unter (19) gleichwertig.

[0072] In **Fig. 5** bildet der Hochleistungslasermultiplexer (2) die Ausgangsbasis mit der darunter durchlaufenden Materialbahn (1) und deren Vorschubrichtung (14). Mit dem vom High-Speed Motor (9) angetriebenen, optischen Umlenkelement (4) wird der Laserstrahl (5) umgelenkt und belichtet bei jedem Vollkreisumlauf alle hier dargestellten 80 optischen Einzelkanäle. Im Unterschied zu den zuvor genannten Ausführungen sind hier motorisch verstellbare Strahlumlenkungs- und Fokussiereinrichtungen (30) für jeden optischen Einzelkanal verwandt, mit denen durch die Bewegungsrichtung und Schrägverstellung (32) und dem sich daraus ergebenden Verstellwinkel (33) gegenüber der X- und Y-Achse auftritt und somit die Positionen jeder einzelnen Laserlochreihe, und dies völlig unabhängig voneinander, in bestimmten Abstandsbereichen möglich sind. Ein jeder Perforationskopf (31) ist direkt in senkrechter Richtung zur Materialbahn (1) angeordnet, was in **Fig. 6** veranschaulicht ist.

[0073] Die Kennzeichnung für den ersten optischen Kanal (7) und der im Vollkreis umlaufend letzte optische Kanal (8) sind hier eingetragen. Die erzeugten Laserlochlinien unterliegen der gleichen Bezeichnung (23, 24, 25, 26, 27, 28), wobei der notwendige räumliche Versatz der einzelnen Perforationsköpfe zu eng benachbarten Laserlochreihen sich deutlich hervorhebt.

[0074] Grundsätzlich ist die Vollkreisanordnung des Hochleistungslasermultiplexers (2) und den Einzel- oder auch Mehrfachstrahlumlenkungen, welche in den Zeichnungsbeispielen nicht weiter angegeben sind, konstruktiv so gewählt, dass sowohl deren Gesamtdurchmesser kleiner aber auch größer als die Materialbahnbreite sowie ober- und unterhalb der Materialbahn (1) angeordnet sein kann, um auf diese Weise optimale Positionsverschiebungen und Geometrien für die Laserlochreihen zu erhalten.

[0075] Im weiteren sind die Ausführungsmöglichkeiten des Hochleistungslaserstrahlmultiplexers (2) auch so zu verstehen, dass durch mehrfache Einzelstrahlumlenkungen, ausgehend vom Strahlableitungszentrum und auch außerhalb der Bahnbreite, die Einzelstrahlen optisch auf die Bahnbreite wieder zurückgeführt sind was letztlich eine direkte Parallelverschiebung in X-Richtung gegenüber der in Y-Richtung durchlaufenden Materialbahn (1) erlaubt.

[0076] Dies hat den großen Vorteil, dass keine langen Verschiebewegungen, wie dies bei der Schrägverstellung und Veränderungen des Winkels in der X-Achse der Fall ist, ergeben, und so eine direkte Vergleichbarkeit in der Positionierung der Perforationslochreihen auf beliebigen Stellen der Materialbahn bei extrem kurzen Verschiebewegen gegeben ist, wie dies bei bisherigen Offline Laserperforationsanlagen für schmale Bahnbreiten mit bis zu vier Bobinen praktiziert wird.

[0077] Darüber hinaus soll noch erwähnt werden, dass der konstruktive Einheit des Hochleistungslaserstrahlmultiplexers (2) eine extrem hohe mechanische Stabilität aufweist und in der Präzision derart ausgeführt ist, wie dies von konventionellen CO2 Leistungsstrahlführungen bekannt ist.

[0078] Im Anschluss an **Fig. 5** ist deren Seitenansicht mit Details unter **Fig. 6** veranschaulicht. In der schon mehrfach beschriebenen Weise führt der von oben zugeführte Laserstrahl die Umlaufbewegung über das rotierende, optische Umlenkelement (4) und dem High-Speed Motor (9) in Rotationsrichtung (6) aus. Die Zylinderlinse (29) und die motorisch verstellbare Strahlumlenkungs- und Fokussiereinheit (30) mit dem festen Strahlumlenkspiegel (16) führt den umlaufenden Laserstrahl (34) umgelenkt vertikal nach unten (35) auf die motorisch verstellbare Fokussieroptik (20) zu, mit der im Fokus die Laserlochlinie

auf die Materialbahn (1), mit Vorschubsrichtung (14), entsteht.

[0079] In der Ausführung unter **Fig. 7** ist ein rotierender kubischer Strahlteiler (36) mit der Strahlzuführungsrichtung (15) von oben, anstelle des rotierenden optischen Umlenkelements (4), eingesetzt. Auch hier erfolgt der Antrieb über den High-Speed Motor (9). Der hoch rotierende Strahlteiler (36) hat die Grundform eines Kubus mit dem Strahleintritt (38) von unten und/oder oben und somit einem vierfachen Teilstrahlaustritt (39) an deren Seitenkanten bei unten und oben, bzw. zweifachen bei nur einer Zuführungsweise, bei fast identischen Leistungs- und Strahlqualitätsmerkmalen. Die Ausführungsvarianten sind an dieser Stelle nicht weiter angegeben, wobei auch anstelle der kubischen Zweifach- und Vierfachstrahlteiler (36) Vierfachparabolspiegel möglich sind.

[0080] Wie in **Fig. 6** erläutert, folgen die zwei oder vier umlaufenden Teilstrahlen (37) in jedem optischen Einzelkanal dem Weg zu den Zylinderlinsen (29), verschiebbaren (32) Strahlumlenkungsspiegeln (6) und als umgelenkter Teilstrahl (35) in vertikaler Richtung zu jedem Perforationskopf (31) und der adaptierten, motorischen Fokussieroptik (20). Mit dem fokussierten Laserstrahl (21) entstehen die gewünschten Laserlochreihen in der Materialbahn (1) bei deren (14).

[0081] Zum besseren Verständnis der rotierenden, vierfach Laserteilstrahlen (37, 40, 41, 42) nach **Fig. 7** ist hierzu in **Fig. 8** eine Draufsicht des Hochleistungslaserstrahlmultiplexers (2) dargestellt. Der rotierende kubische Strahlteiler (36) erzeugt die vier Teilstrahlen A-1 (37) und A-2 (41) aus dem Laserhauptstrahl A analog hierzu B-1 (40) und B-2 (42) aus dem Laserhauptstrahl B zeitlich simultan, so dass sich die optischen Strahlengänge (7, 8) mit den Zylinderlinsen (29) am Strahleintritt zu jedem 360 Grad Umlauf in Rotationsrichtung (6) und sich zeitlich um den Faktor vier schneller gegenüber dem rotierenden optischen Umlenkelement (4) belichten lassen. Dies hat die schon zuvor beschriebenen Vorteile hinsichtlich der gewünschten hohen Lochfolgefrequenz für jeden optischen Einzelkanal, vom ersten (7) bis zum letzten (8), und die daraus resultierenden Laserlochlinien (23, 24, 25, 26, 27, 28). Die Materialbahn (1) wird auch hierbei in Vorschubsrichtung (14) transportiert. Zur Positionierung der Strahlumlenk- und Fokussiereinrichtung 30 und dem Durchmesser der Hochleistungslaserstrahlmultiplexers (2) wird auf die Ausführungen der **Fig. 5** verwiesen.

[0082] Eine andere Ausführungsform ist in **Fig. 9** als Seitenansicht zur Strahlrotation mit einem Polygonrad und geneigten Facetten (43) zu sehen, welches ebenfalls vom High-Speed Motor (9) angetrieben wird.

[0083] Das Polygonrad (43) hat vorzugsweise 6 Facetten mit der z.B. bei vier gleichzeitig einfallenden Laserstrahlen auch vier Strahlauslenkungen über einen Auffächerungsbereich von viermal 90 Grad zum Vollwinkel von 360 Grad zur Versorgung aller optischen Einzelkanäle (7, 8) entstehen.

[0084] Der schräg von oben, z.B. in einem Winkel von 30 Grad, einfallende und vorfokussierte Laserstrahl (44) wird vorzugsweise mit einer wassergekühlten Fokussierlinse (17) auf einen sehr kleinen Durchmesser, z.B. im Bereich von 50 bis 200 µm, auf das rotierende Polygon (43) fokussiert, und trifft im definierten Winkelbereich mit dem un gelenkten rotierende Laserstrahl (45) die optischen Einzelkanäle mit deren Zylinderlinsen (29) am optischen Einlass. Die Strahlweiterführung innerhalb eines jeden optischen Einzelkanals erfolgt in der mehrfach beschriebenen Weise über feste Strahlumlenkspiegel (16) motorisch verstellbaren Strahlumlenk- und Fokussiereinrichtung (30), deren Bewegungsrichtung (32) dargestellt ist. Damit wird der um gelenkte Laserstrahl (35) auf die motorische verstellbare Fokussieroptik (20) und dem Perforationskopf (31) zugeführt.

[0085] Die Schrägzuführung, dies kann von oben oder unten erfolgen, des vorfokussierten Laserstrahles (44) auf das rotierende Polygon mit geneigten Facetten (43), welches im Zentrum des Hochleistungslaserstrahlmultiplexers (2) angeordnet ist, hat den schon zuvor genannten Vorteil, dass keine räumlichen Aussparungen oder Auslassungen im Hochleistungslaserstrahlmultiplexers (2) notwendig sind, und dieser Innenkreis und vollständig in sich geschlossen, umlaufend mit den optischen Einzelkanälen (7, 8) bestückt werden kann.

[0086] Über den Auffächerungsbereich von z.B. vier mal 90 Grad oder anderen Konstellationen zum Vollwinkel von 360 Grad und zur Versorgung aller optischen Einzelkanäle (7, 8) sind optische Laserleistungen von 4-500 Watt oder auch 4-1000 Watt einsetzbar, was mit aktuellen CO₂ Laserquellen problemlos realisierbar ist. Mit dieser Lösung lassen sich selbst extrem hohe Perforationsleistungen und damit verbundene Porositäten bis zu 1000 C.U. pro Lochreihengruppe, Vorschubgeschwindigkeiten der Materialbahnen (1) bis 300 m/min und Lochfrequenzen bis 2.000.000 Löcher pro Sekunde generieren.

[0087] Sich daran anschließend erklärt **Fig. 10** eine entsprechende Aufteilung der einzelnen Laserlochreihen über die Bahnbreite, wie dies schon in **Fig. 4** erstmalig ausgeführt ist. Die Materialbahn (1) ist über zwei Umlenkwalzen (22) sehr präzise in Vorschubrichtung (14) geführt und beinhaltet die beispielhaft von der Kollimatoroptik (19) generierte Laserlochreihe (23). Die anderen in der Y-Achse jeweils versetzten Kollimatoroptiken (19) und damit verbundenen Perforationsköpfe (31) erzeugen die Laserlochreihen

(24, 47, 48, 49, 50). Dieses Beispiel ist gut auf die Laserperforation von Verpackungsbahnen übertragbar.

[0088] Eine vergrößerte Darstellung der Laserlochreihen anordnung auf der Materialbahn (1), wie dies beispielhaft für Mundstückbelagpapiere in **Fig. 11** angegeben ist. Deutlich sind hier die zuvor angegebenen Laserlochreihen (23, 24, 25, 26, 27, 28) sowie im weiteren die Laserlochreihen (51, 52, 53, 54) im jeweiligen Abschnitt über die Bahnbreite verteilt zu erkennen. Die vorgesehenen Bobbieneabschnitte (55, 56, 57) sind entsprechend gekennzeichnet und werden im späteren Rollenschneidprozess dort geteilt. Für sich selbstredend sind die in Vorschubrichtung (14) der Materialbahn (1) ausgeprägten Laserlochreihen bei diesem Beispiel eine gewählte Doppelperforationslochreihengruppe pro Bobbienseite.

[0089] In der weiteren Vergrößerung der **Fig. 12** findet sich diese Anordnung wieder, wobei zusätzlich noch zwei Bedruckungsstreifen (61) und die spätere Schnittkanten (62) einer jeden Einzelbobbiene, auf jeden Bobbieneabschnitt (55, 56) widerspiegeln. Zur Veranschaulichung der Durchmesser eines jeden Laserperforationsloches (59), die sich im Größenbereich von 50-200 µm bewegen aber nur geringfügig während der Laserperforation sich verändern, sind deren Abstände (60) einer jeden Lochreihe in (14) angegeben.

[0090] Die abschließenden Zeichnungen der **Fig. 13-Fig. 15** vermitteln einen Gesamtüberblick und praktische Ausführungsbeispiele zur erfinderschen Breitbahn Laserperforationsanlage.

[0091] Danach zeigt **Fig. 13** die Gesamtansicht der Breitbahn Laserperforationsanlage mit der Abrolleinrichtung (63), mittig eingefügter Perforationssektion und mechanischer Einrichtung (69), dem sich anschließenden optischen Online Porositätsmesssystem (68) und der Aufrolleinrichtung (64). Die Materialbahn (1) rollt sich in der angegebenen Vorschubrichtung (14) ab. Die gemeinsame oder auch einzelnen CO₂ Laserquellen (66) führen in diesem Beispiel über zwei Strahlzuführungen (3) den beiden Hochleistungslaserstrahlmultiplexern (2) den Laserstrahl zu, der hier beispielhaft und aus Strahlführungsgründen nicht über die Materialbahn (1) sondern direkt nach der Laserquelle (66) positioniert sind. Alle Einzelfasern (13) sind in einfach zu installierender Weise den motorisch verstellbaren Fokussieroptiken (20) zuführbar.

[0092] Der räumliche Abstand zwischen beiden Hochleistungslaserstrahlmultiplexern (2) und der Perforationssektion kann bis zu fünf Meter betragen, wie dies z.B. von industriellen CO₂ Leistungslaseranlagen zum Schweißen, Fügen, Trennen, Veredeln und anderer Materialbearbeitungen bekannt ist, was die weiteren Vorteile, insbesondere auch die der ho-

hen Flexibilität und Integration der Laserstrahlfasern (13) auf beiden motorisch verstellbaren Einrichtungen zur Positionierung (67) eines jeden Perforationskopfes (31) innerhalb der Perforationssektion (69), in den erfinderischen Ausführungen besonders hervorhebt.

[0093] Fig. 14 vermittelt einen Eindruck der gesamten Breitbahnlaserperforationsmaschine in der Seitenansicht. Deutlich sind hierbei die beiden Umlenkwalzen (22) und die motorisch verstellbaren Fokussieroptiken (20) zu erkennen.

[0094] Einen weiteren Ausschnitt zeigt die abschließende Fig. 15 die gesamte Perforationssektion (69) und (14) der Materialbahn (1). In dieser Ansicht sind die beiden motorisch verstellbaren Einrichtungen zur Positionierung (69), mit Aufnahme der einzelnen Perforationsköpfe (31), deren Faserzuführung (13) vergrößert dargestellt. Alle weiteren Details bedürfen keiner weiteren Erläuterung.

[0095] Grundsätzlich ist noch anzufügen, dass bei allen hier beispielhaft beschriebenen Ausführungen die zugeführten Laserleistungsstrahlen im Dauerbetrieb, also nicht gepulst, aber auch zeitlich und in Abhängigkeit von den Rotationen der Strahlumlenkungs- oder Strahlteilungskomponenten und Strahlpositionen vor den Einlassöffnungen der Einzelkanäle getriggert, gepulst werden können.

[0096] Zum Abschluss sei hervorgehoben, daß die erfinderische Lehre durch die vielen Ausführungsbeispiele lediglich erläutert, jedoch keinesfalls eingeschränkt ist. Vielmehr lässt die erfindungsgemäße Lehre auch weitere Verfahrensschritte und Vorrichtungsvarianten zur Laserperforation von breiten Warenbahnen zu, die andere bzw. weitere konstruktive Merkmale aufweisen.

Bezugszeichenliste

- 1 durchlaufende, breite Warenbahn
- 2 Hochleistungslasermultiplexer
- 3 Laserstrahlzuführung
- 4 rotierendes optisches Umlenkelement
- 5 umgelenkter und rotierender Laserstrahl
- 6 Rotationsrichtung
- 7 erster optischer Kanal
- 8 letzter optischer Kanal
- 9 high-speed Motoreinrichtung für hohe Drehzahlen
- 10 Zylinderlinse für den Strahleintritt
- 11 Fokussierlinse
- 12 Fasereinkopplung
- 13 CO₂-Hohlleiterfaser
- 14 Bahnlaufrichtung
- 15 Zuführungsrichtung des Laserstrahles
- 16 fester Strahlumlenkspiegel
- 17 Fokussierlinse Null

- 18 fokussierter Laserstrahl
- 19 Kollimatoroptik am Hohlfaserende
- 20 motorisch verstellbare Fokussieroptik
- 21 fokussierter Laserstrahl auf der Warenbahn (1)
- 22 Umlenkwalzen
- 23 erzeugte Laserperforationsreihe 1
- 24 erzeugte Laserperforationsreihe 2
- 25 erzeugte Laserperforationsreihe 3
- 26 erzeugte Laserperforationsreihe 4
- 27 erzeugte Laserperforationsreihe 5
- 28 erzeugte Laserperforationsreihe 6
- 29 Zylinderlinse für den Strahleintritt
- 30 motorisch verstellbare Strahlumlenk- und Fokussiereinrichtung
- 31 Perforationskopf – bezeichnet nach der Strahlendfokussierung zur Warenbahn (1)
- 32 Bewegungsrichtung und Schrägverstellung der Strahlumlenkungseinheit 30
- 33 Verstellwinkel der Strahlumlenkungseinheit zur Bahnlaufrichtung (14)
- 34 der Strahlumlenkungseinheit zugeführter Laserstrahl
- 35 um gelenkter Laserstrahl
- 36 rotierender kubischer Strahlteiler für zwei- oder vierfach Laserstrahlteilung
- 37 umlaufender Teilstrahl A-1 von Strahlzuführung A – hier aus Zuführungsrichtung (15)
- 38 Laserstrahleintritt – von oben als A bezeichnet – in den rotierenden kubischen Strahlteiler (36)
- 39 Teilstrahlaustritt – hier nur als A-1 gezeichnet
- 40 rotierender Teilstrahl B-1 aus der Laserstrahlzuführung B
- 41 rotierender Teilstrahl A-2 aus der Laserstrahlzuführung A
- 42 rotierender Teilstrahl B-2 aus der Laserstrahlzuführung B
- 43 rotierendes Polygon mit geneigten Facetten
- 44 vorfokussierter Laserstrahl
- 45 vom Polygon um gelenkter und rotierender Laserstrahl
- 46 Schrägeinfallrichtung des Laserstrahles
- 47 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 3 auf der Warenbahn (1)
- 48 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 4 auf der Warenbahn (1)
- 49 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 5 auf der Warenbahn (1)
- 50 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 6 auf der Warenbahn (1)
- 51 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte

- Laserperforationslochreihe 7 auf der Warenbahn (1)
- 52 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 8 auf der Warenbahn (1)
- 53 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 9 auf der Warenbahn (1)
- 54 über einen optischen Kanal und zugehörigen Perforationskopf (31) erzeugte Laserperforationslochreihe 10 auf der Warenbahn (1)
- 55 späterer Bobienensegment 1
- 56 späterer Bobienensegment 2
- 57 späterer Bobienensegment 3
- 58 nicht benannt
- 59 mit dem Laserstrahl erzeugtes Einzelperforationsloch
- 60 Abstand der Einzelperforationslöcher in Bahnlaufrichtung (14)
- 61 Bedruckungsstreifen auf der Warenbahn (1)
- 62 spätere Schnittkante zur Aufspaltung der breiten Warenbahn (1) in einzelne Bobienensegmente
- 63 Abrolleinrichtung
- 64 Aufrolleinrichtung
- 65 Warenbahnrolle
- 66 CO₂ Laserquellen
- 67 motorisch verstellbare Einrichtung zur Positionierung eines jeden einzelnen Perforationskopfes (31) über die gesamte Breite der Warenbahn (1)
- 68 optisches online Porositätsmesssystem
- 69 Perforationssektion und deren mechanische Einrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Laserperforation von breiten Warenbahnen (1), wie z.B. für Zigaretten, Mundstückbelag- oder Kaffeefilterpapiere, Filterumhüllungspapiere so genannte Plug-Wraps, Sicherheitspapiere, holografisch bedruckte, foliengepresste, beschichtete oder metallisierte Papier- oder Verpackungs- oder Kunststoffbahnen wie BOPP, LDPE, HDPE oder Spinnvliese mit sichtbaren oder unsichtbaren Laserstrahlen, deren Lochreihen (23) im wesentlichen parallel zur Transportrichtung (14) der Warenbahn (1) ausgebildet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch eine kontinuierliche Vollkreisumlaufbewegung ein oder mehrere Laserstrahlen (5), die von oben und/oder unten dem rotierenden, kubischen Strahlteiler (36) zugeführt und auf die Horizontalebene umgelenkt sind, so dass alle im Außenkreis des optischen Hochleistungslasermultiplexers (2) umlaufend befindlichen, optischen Einzelkanäle (7, 8) vom einem oder mehreren, rotierenden Laserstrahlen (37, 40, 41, 42) über die Eintrittszylinderlinsen (29) innerhalb eines bestimmten und für alle Ein-

zelkanäle gleiches Zeitfenster versorgt werden, so dass mindestens 40 optische Einzelkanäle mit minimalen Übertragungsverlusten der Strahlleistung und Strahlqualität verfügbar sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass eine Laserstrahlzuführung (3) im Wellenlängenbereich von 10.4–10.8 µm zentrisch von oben und/oder unten in ein schnell rotierendes, kubisches Strahlteilersegment (36) erfolgt, und an deren Seitenflächen zeitlich simultan bei annähernd gleicher Leistungsteilung, vier Teilstrahlen (37, 40, 41, 42) an vier Seitenflächen oder zwei Teilstrahlen (37, 41) an zwei Seitenflächen ohne nennenswerte Verluste in der Divergenz oder Strahlqualität austreten und sich damit die Rotationsfrequenz des Strahlteilersegmentes (36) und deren umlaufenden Laserstrahlen (37, 40, 41, 42) um den Faktor vier bzw. zwei gegenüber nur einer Laserstrahlzuführung innerhalb des Hochleistungslasermultiplexers (2) reduziert.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 dadurch gekennzeichnet, dass die zeitlich simultan aus dem rotierenden kubischen Strahlteiler (36) austretenden Teilstrahlen (37, 40, 41, 42) durch Rotation (6) im 360 Grad Vollwinkel die umlaufend befindlichen, optischen Einzelkanäle (7, 8) in der Anzahl von 40–200 sequenziell versorgt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass anstelle des kubischen Strahlteilers (36) auch ein optisches Umlenkelement (4), als Einfach- oder Vierfach Parabolspiegel die Strahlumlenk- und Rotationsbewegung im Vollkreis von 360 Grad innerhalb des Hochleistungslasermultiplexers (2) ausführt.

5. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass zur Strahlumlenk- und Rotationsbewegung Polygone mit geeigneten Facetten (43) einsetzbar sind, deren Neigungsgrad und Anordnung so gewählt ist, dass bis zu vier Laserstrahlzuführungen möglich sind, und diese ausgelenkt (37, 40, 41, 42) jeweils mit zwei oder vier Kreisabschnitten von 180 oder 90 Grad innerhalb des Hochleistungslasermultiplexers (2) der optischen Einzelkanäle (7, 8) bedienen.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–5 dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Hochleistungslasermultiplexer (2) und deren direkter Positionierung ober- und/oder unterhalb der Warenbahn (1) mit den vielzahligen, sternförmig angeordneten, motorisch verstellbaren Strahlumlenk- und Fokussiereinrichtungen (30) und fest angebauten Strahlumlenkspiegeln (16) bei deren Zu- und Wegbewegung vom Zentrum eine Schrägverstellung (33) parallel zur Transportrichtung (14) entsteht, mit der sich die Laserlochreihen (23, 24, 25, 26, 27, 28) in bestimmten Bereichen über die Waren-

bahnbreite positionieren lassen.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–6 dadurch gekennzeichnet, dass durch eine zweireihige Aufteilung und Zuordnung der Einzelkanäle (7, 8) sowohl bei den sternförmig angeordneten, motorisch verstellbaren Strahlumlenkungs- und Fokussiereinrichtungen (30) wie auch bei der Hohlleiter Faserverwendung (13) eng benachbarte Positionierungen der Laserlochreihen (23, 24, 25, 26, 27, 28) möglich sind.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–7 dadurch gekennzeichnet, dass alle optischen Einzelkanäle (7, 8) eine motorisch verstellbare Fokussieroptik (20) zur Warenbahn verwenden, um so die Lochgrößen (59) und Porositäten einzustellen.

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–8 dadurch gekennzeichnet, dass Hohlleiterfasern (13) anstelle von festen Strahlführungen den Laserleistungsstrahl im optischen Hochleistungslasermultiplexer (2) aufnehmen, diesen flexibel der Perforationssektion (69) und deren mechanischen Einrichtung zuführen, dort motorisch positionierbar ist sowie jeder optische Einzelkanal (7, 8) am Ende der Hohlleiterfaser eine motorische Kollimatoroptik (19) und Fokussiereinheit (20) zur Warenbahn (1) als Merkmal besitzt.

10. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–9 dadurch gekennzeichnet, dass eine Strahlfokussierung (18) vor dem hoch rotierenden Umlenkelement (4), dem Parabolspiegel oder Polygon mit geneigten Facetten (43) im Durchmesserbereich von 50–500 µm vorgesehen ist.

11. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–10 dadurch gekennzeichnet, dass durch mehrere, vom kubischen Strahlteiler (36) erzeugte und simultan umlaufende Laserteilstrahlen (37, 40, 41, 42) oder direkt über ein rotierendes Umlenkelement (4) zugeführte Laserstrahlen mit hoher optischer Leistung im Bereich von 500–2000 Watt bis zu 200 optische Einzelkanäle (7, 8) bedienen kann, Lochsequenzen bis zu 2.000.000 Löcher pro Sekunde erzeugen und gleichzeitig die geforderten Einzelenergien pro Perforationsloch (59) im Bereich von 1.5–4.0 mJ sicherstellen kann.

12. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–11 dadurch gekennzeichnet, dass die Lochsequenzen eines jeden optischen Einzelkanals (7, 8) durch die Rotationsdrehzahl des Strahlumlenk- (4) oder Strahlteilungselements (36) sowie von der Anzahl der Laserteilstrahlen (37, 40, 41, 42) bestimmt sind.

13. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der

Ansprüche 2–12 dadurch gekennzeichnet, dass die Laserstrahlzuführung (3) ungepulst oder in Abhängigkeit der aktuellen Position der rotierenden Strahlumlenkungs- (4) oder Strahlteilungskomponente (36) eine jeweilige Triggerung zur Laserstrahlpulsung erfolgt, wenn die Strahlposition sich exakt im Zentrum der optischen Einlassöffnung eines jeden Einzelkanals (7, 8) befindet.

14. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–13 dadurch gekennzeichnet, dass sich ein optisches Porositätsmesssystem (68) direkt hinter der Perforationssektion und deren mechanischen Einrichtung (69) befindet und deren Messwerte für die Lochreihenpositionen, Lochqualitäten und Porositäten einer jeden Lochreihengruppe auf das Laserperforationssystem und deren Einzelkanäle (7, 8) zurück geführt sind, um so auftretenden Änderungen automatisiert zu kompensieren.

15. Verfahren nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–15 dadurch gekennzeichnet, dass die Hochleistungslasermultiplexereinheit (2) ober- und/oder unterhalb der Warenbahn (1) angeordnet sein kann und deren Außendurchmesser kleiner oder größer als die Bahnbreite der Warenbahn (1) ist.

16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch oder mehrerer der Ansprüche 2–15 dadurch gekennzeichnet, dass die Hochleistungslasermultiplexereinheit (2) im Vollkreis von 360 Grad aufgebaut ist, in deren Zentrum sich die Laserstrahlzuführung (3), Strahlumlenkung (5) oder Strahlteilerkomponente (4, 36) befindet und in deren Strahlumlaufebene des Außenkreises mehr als 40 optische Einzelkanäle (7, 8), bestehend aus Eintritts- und Zylinderlinsen (10), umlaufend und lückenlos angeordnet sind.

17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–15 dadurch gekennzeichnet, dass der Strahlteiler als rotierender optischer Kubus (36) ausgebildet ist, in deren Zentrum der Laserstrahl (15) von oben und unten zugeführt ist, innerhalb des Kubus (36) geteilt und so umgelenkt wird, dass an deren Außenkanten die Teilstrahlen (37, 40, 41, 42) mit gleicher optischer Leistung austreten.

18. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–15 dadurch gekennzeichnet, dass im Zentrum der Hochleistungs-Lasermultiplexereinheit (2) ein rotierendes, optisches Umlenkelement (4) angeordnet ist und aus einem Einfach- oder Mehrfachparabolspiegel besteht, mit dem die Strahlumlenkung (5) und Rotation (6) ausgeführt wird.

19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–15

dadurch gekennzeichnet, dass im Zentrum der Hochleistungs-Lasermultiplexereinheit (2) das rotierende optische Umlenkelement (4) ein Polygonrad mit 3–12 geneigten Facetten (43) ist, um so bis zu vier Laserstrahlen im gleichen Einfallswinkel dem Polygonrad zuzuführen, bei deren Rotation (6) sich dann vier gleiche Kreisabschnitte von jeweils 90 Grad zur Strahl-auffächerung und Versorgung (37, 40, 41, 42) der optischen Einzelkanäle (7, 8) ausbilden.

20. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mehrerer der Ansprüche 2–15 dadurch gekennzeichnet, dass die Enden eines jeden optischen Einzelkanals (7, 8) und deren Hohlleiterfasern (13) aus aufgesetzten Kollimatoroptiken (19) und motorisch verstellbaren Fokussieroptiken (20) bestehen.

Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

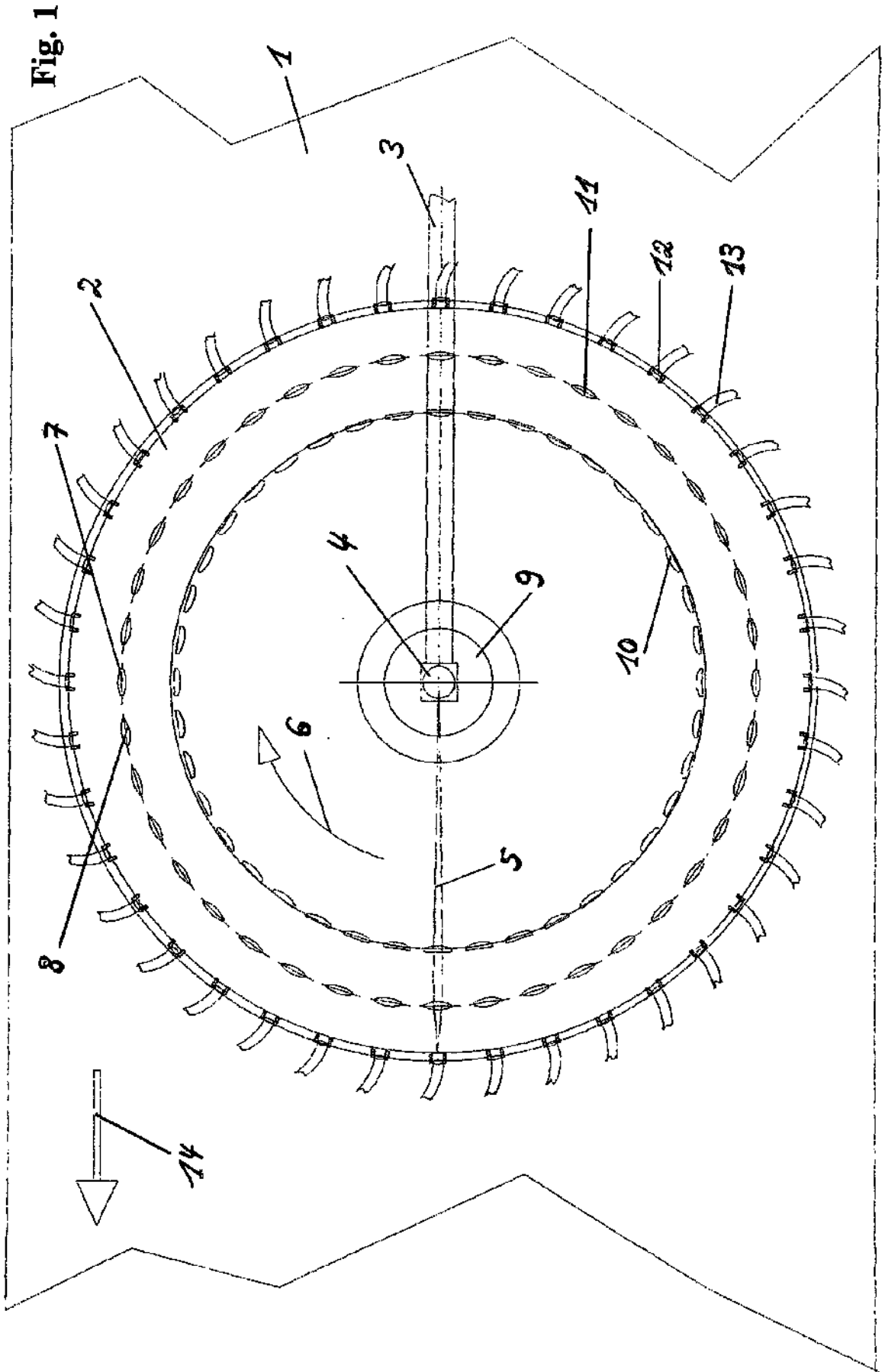


Fig. 2

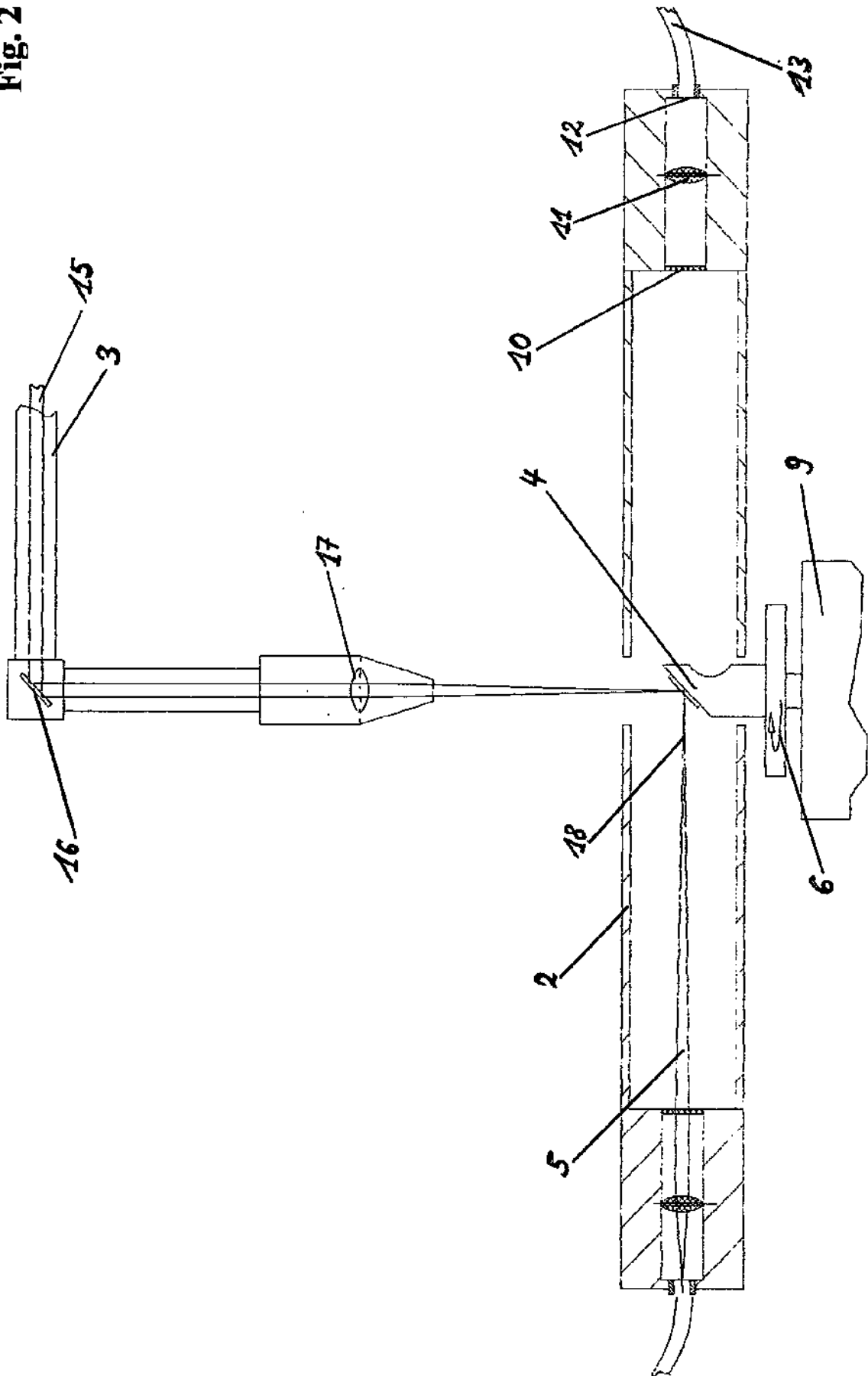


Fig. 3

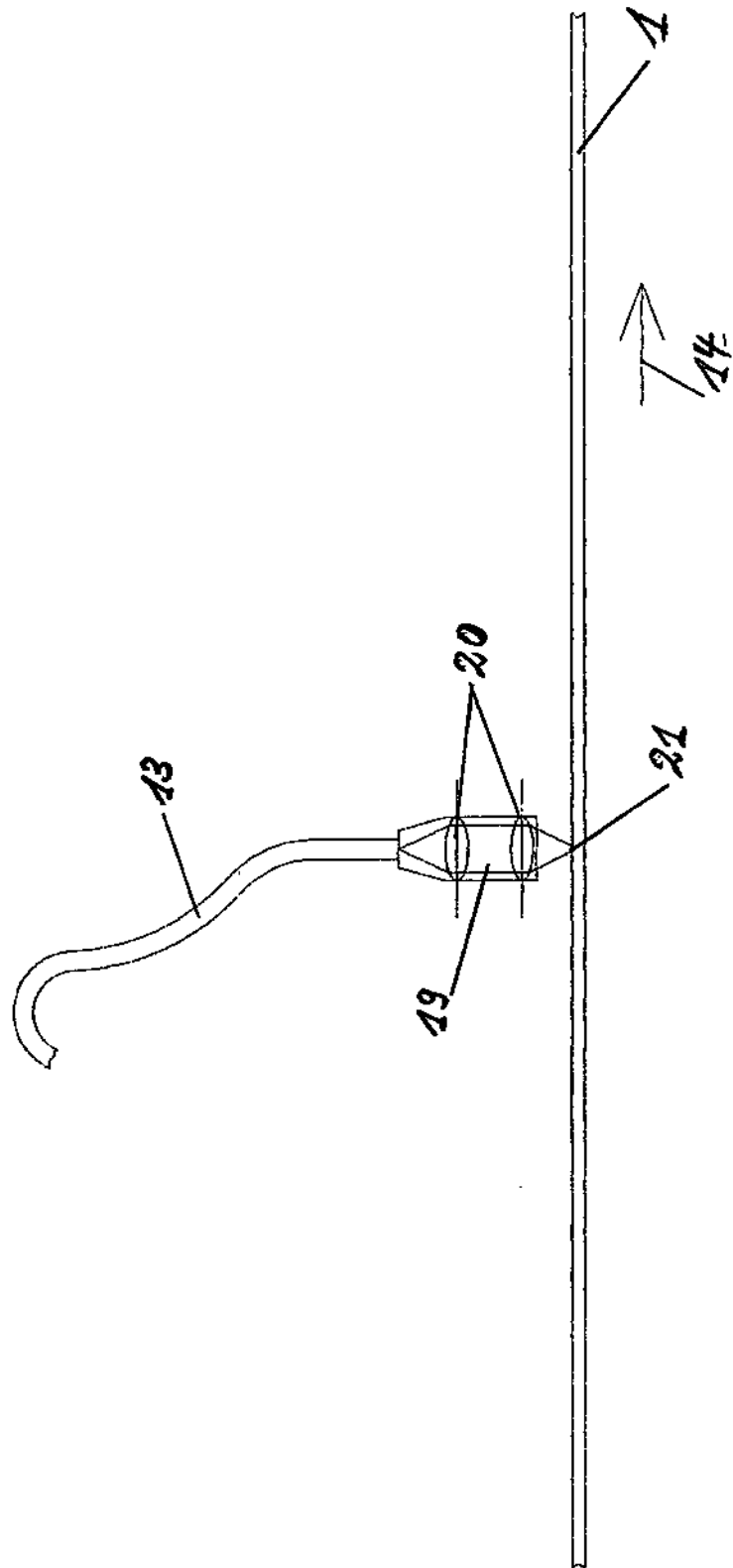


Fig. 4

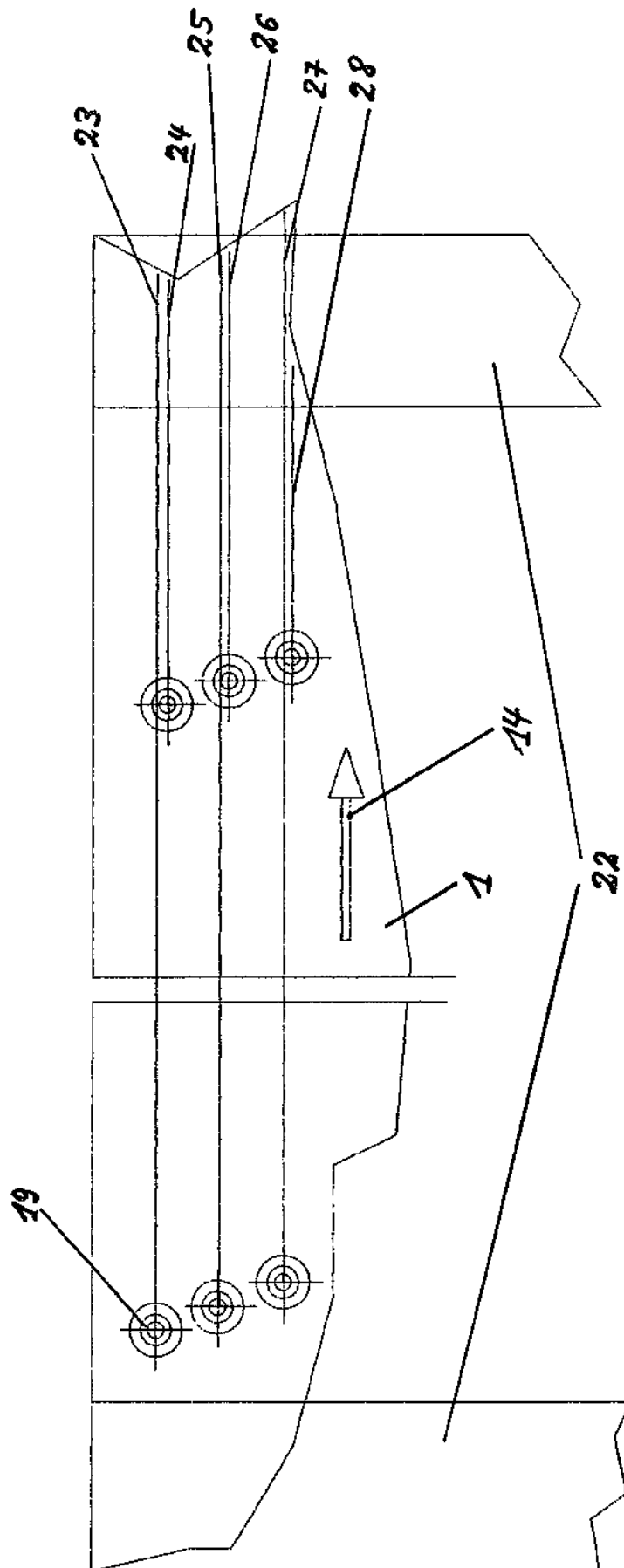


Fig. 6

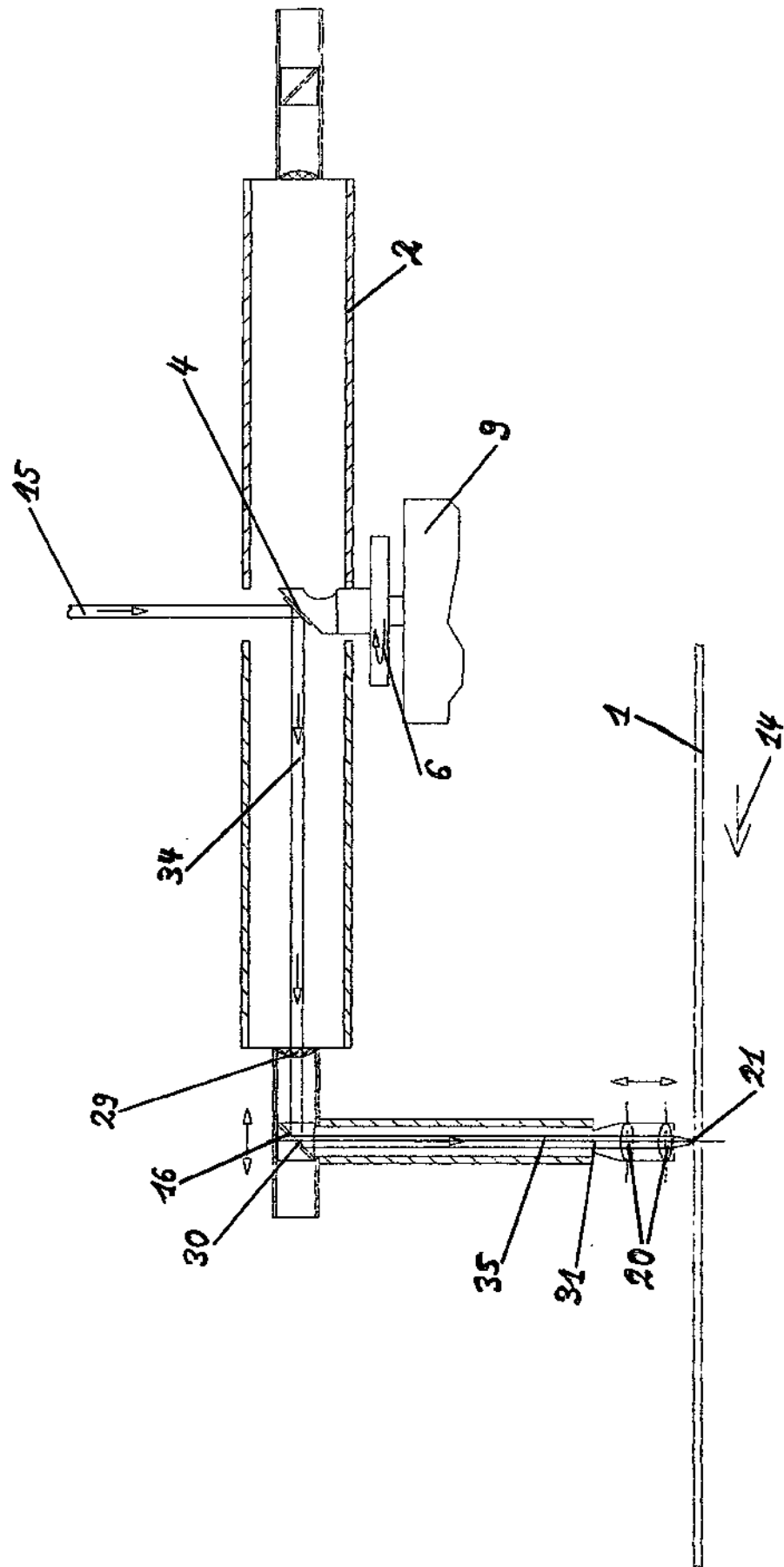


Fig. 7

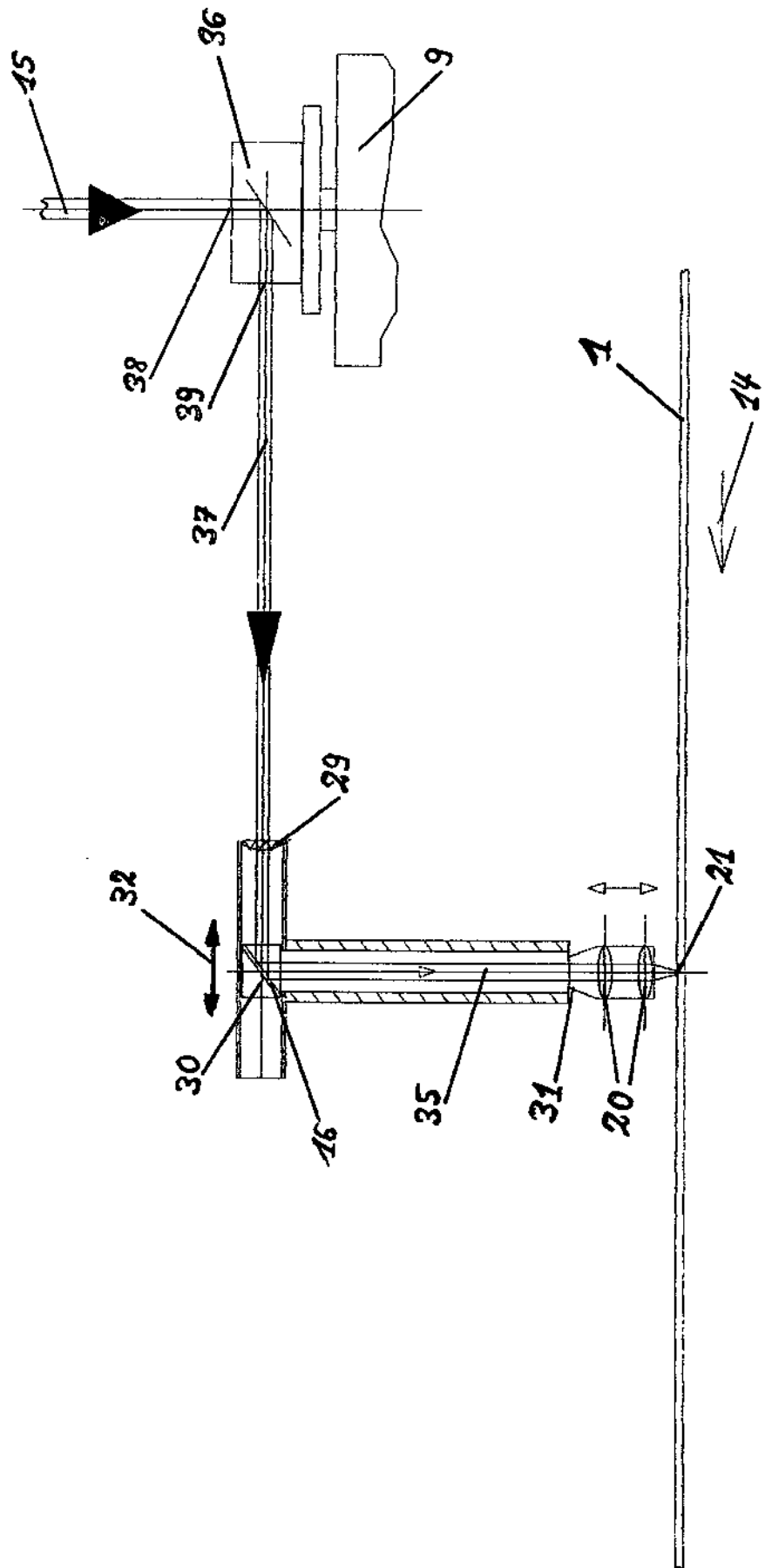


Fig. 9

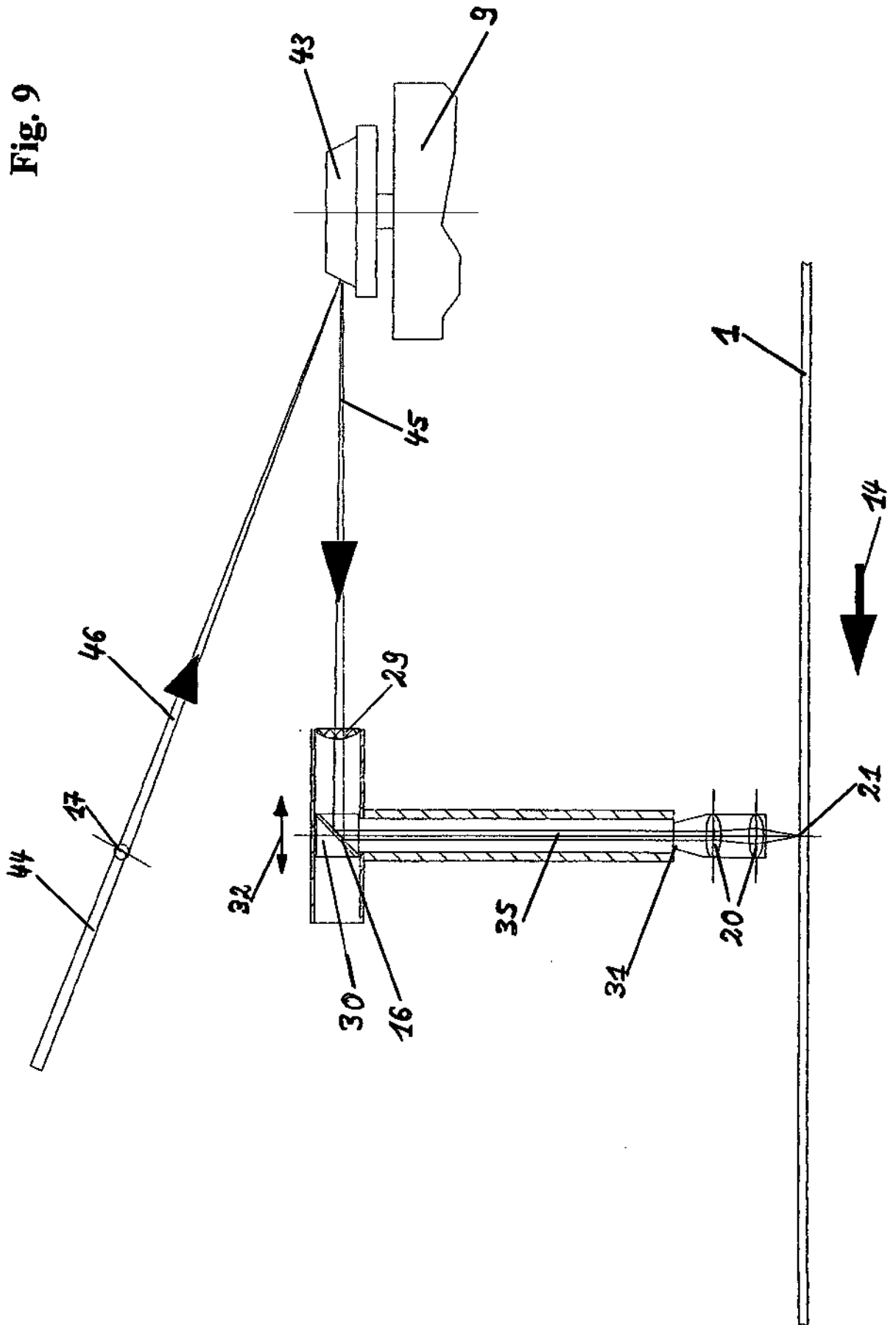


Fig. 10

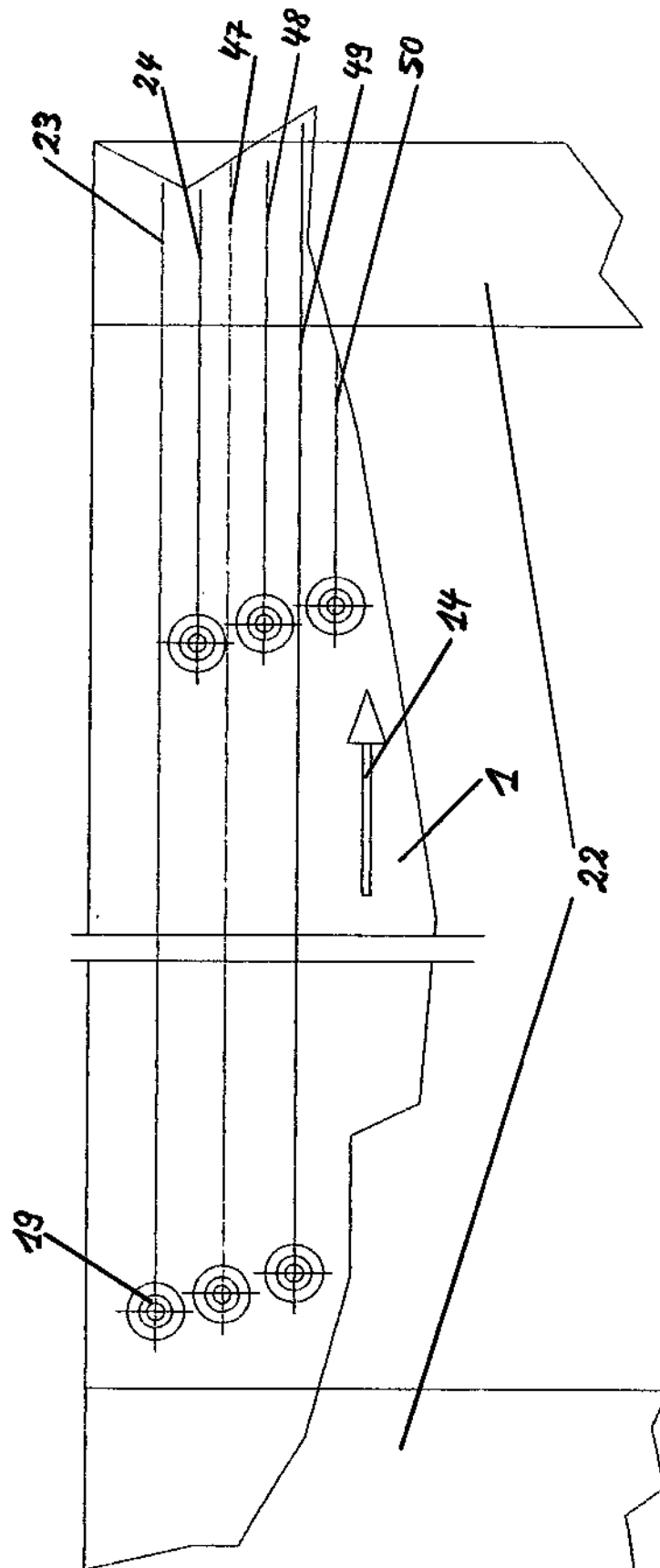


Fig. 11

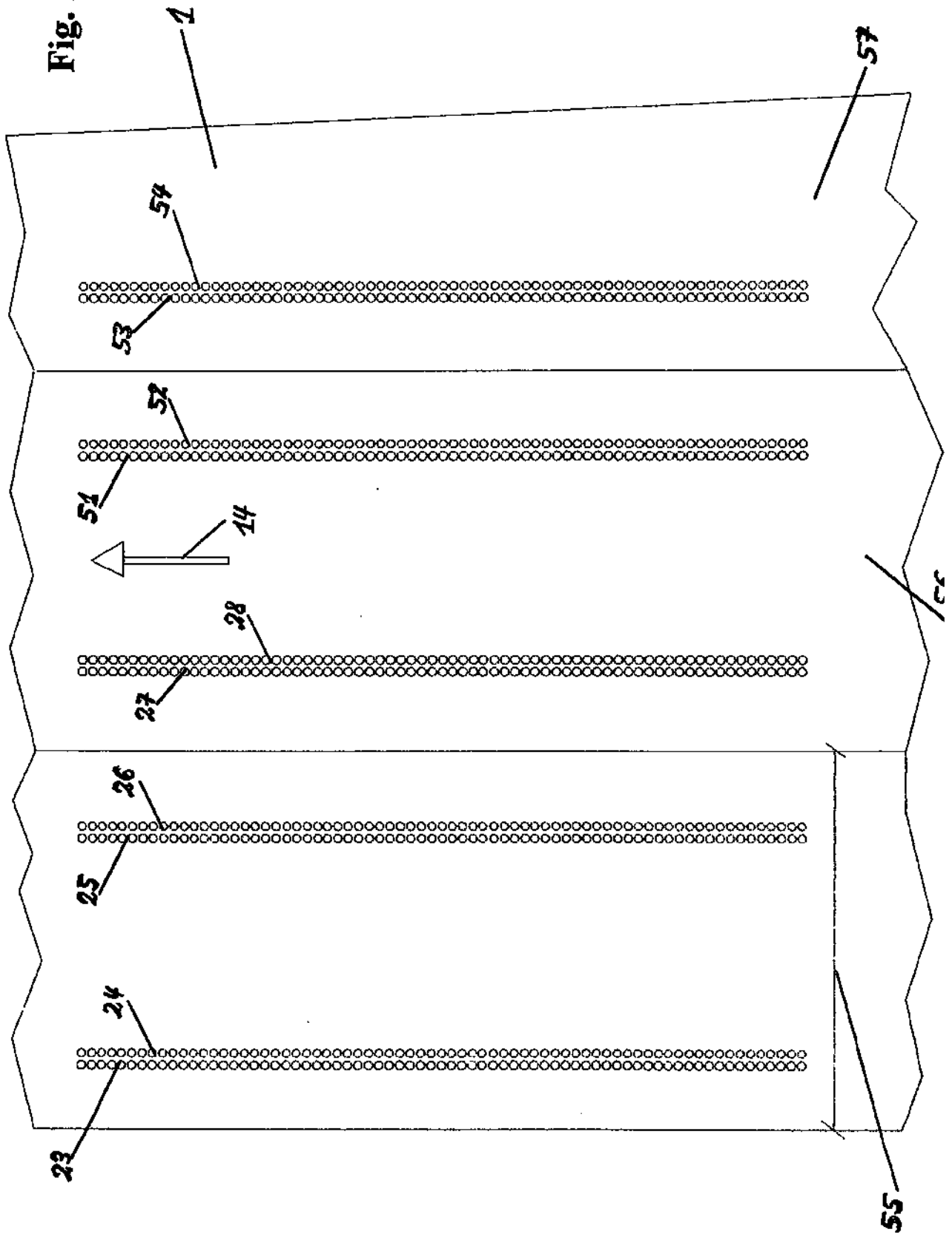


Fig. 12

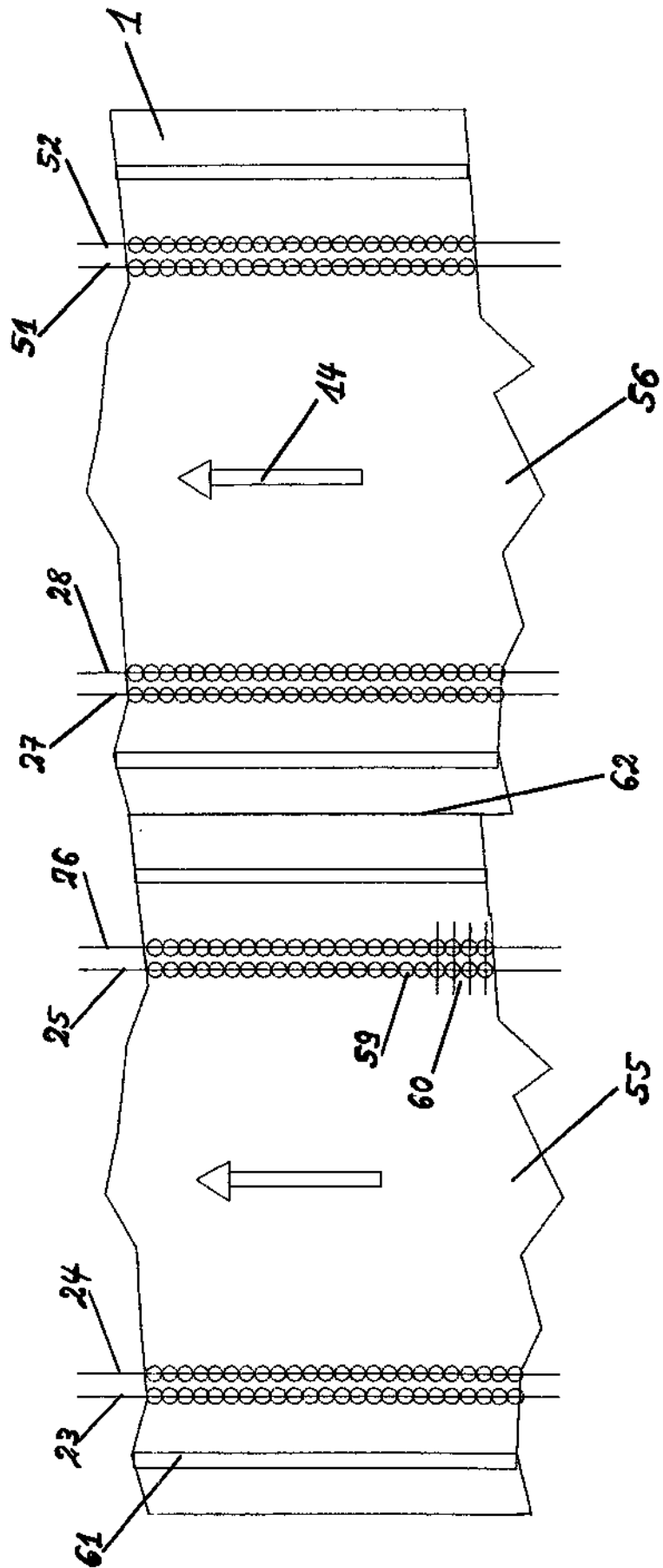


Fig. 13

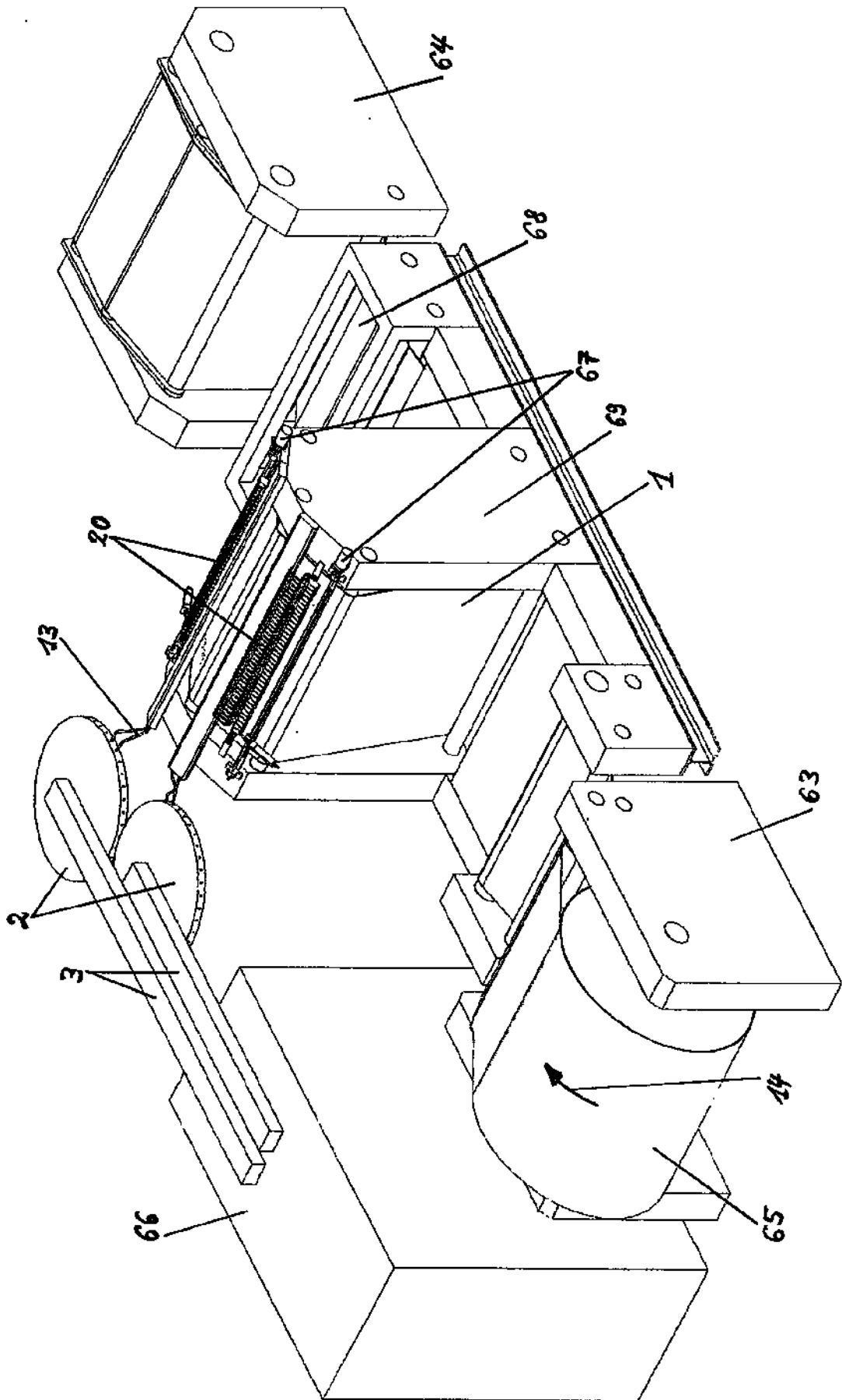


Fig. 14

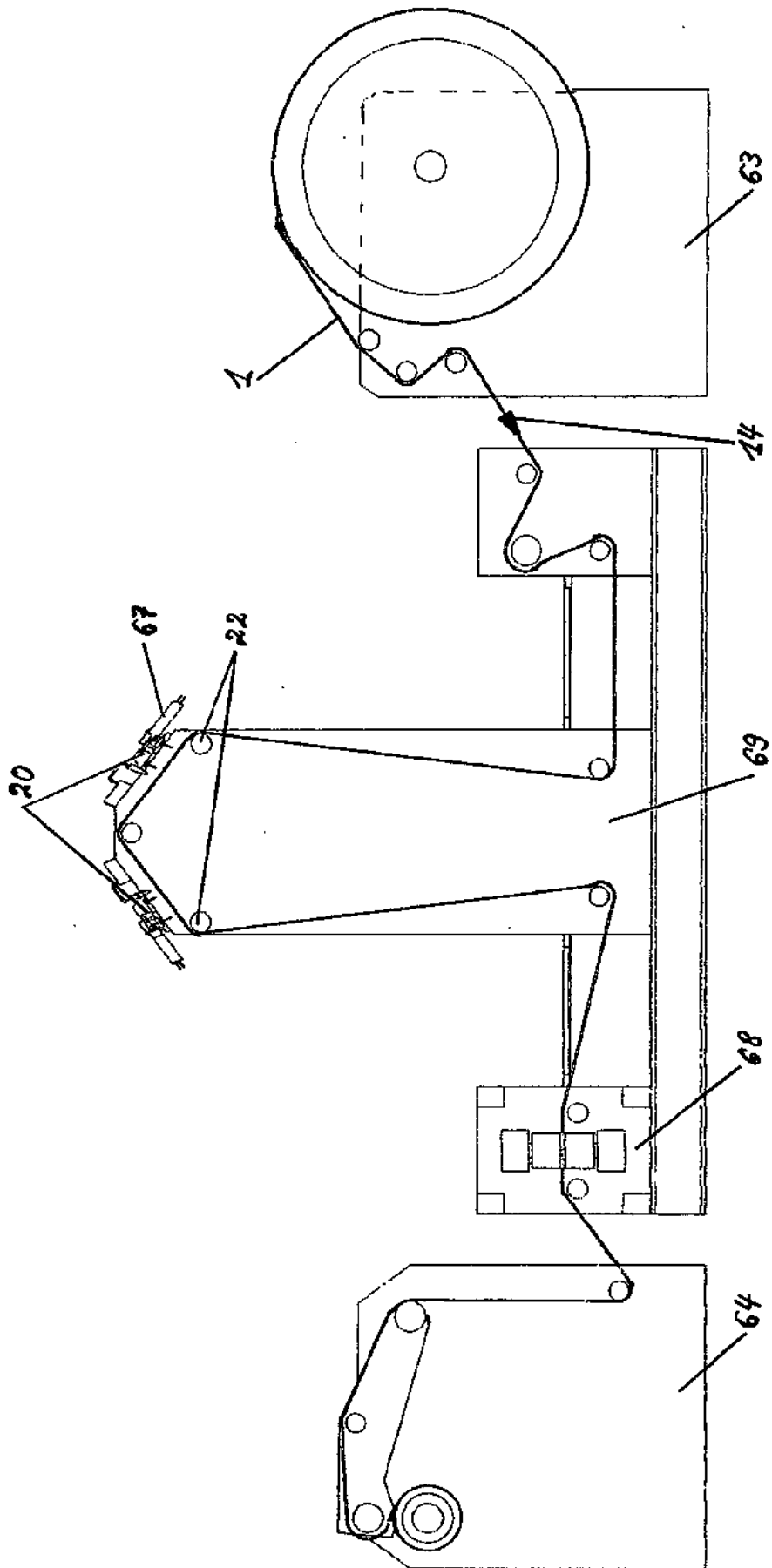


Fig. 15

