

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
12. Dezember 2019 (12.12.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/233944 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/06 (2014.01) B23K 26/38 (2014.01)  
B23K 26/082 (2014.01) B23K 26/342 (2014.01)  
B23K 26/04 (2014.01) B23K 26/21 (2014.01)  
B23K 26/046 (2014.01) B23K 26/70 (2014.01)  
B23K 1/005 (2006.01) B23K 26/144 (2014.01)  
B23K 26/14 (2014.01) B23K 26/352 (2014.01)  
B23K 26/362 (2014.01) B23K 26/0622 (2014.01)

10 2018 208 752.0

04. Juni 2018 (04.06.2018) DE

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/064334

(22) Internationales Anmeldedatum:  
03. Juni 2019 (03.06.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: **TRAUB, Martin**; Lehnstr. 25, 52146 Würselen (DE). **OLOWINSKY, Alexander**; Von-Pastor-Str. 45, Aachen Aachen (DE). **GILLNER, Arnold**; Im Wiedevonn 25, 52159 Roetgen (DE). **HÄUSLER, André**; Boxgraben 71, 52064 Aachen (DE).

(74) Anwalt: **FARAGO PATENTANWALTS- UND RECHTSANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Thierschstraße 11, 80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

(54) Title: DEVICE FOR LASER MACHINING WORKPIECES THAT ARE DIFFICULT TO ACCESS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR LASERBEARBEITUNG SCHWER ZUGÄNGLICHER WERKSTÜCKE

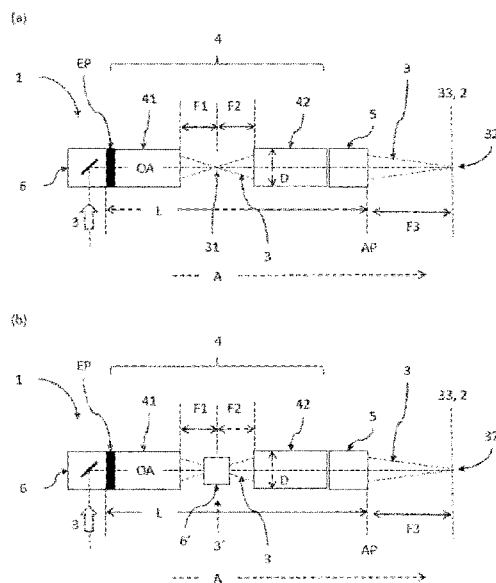


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to a device (1) for machining workpieces (2) that are difficult to access by means of an imaging beam path (3) and to a corresponding method (100) for laser machining by means of said device (1), said device comprising: - a relay optical unit (4) having an optical axis (OA) extending through the relay optical unit (4); - a focusing unit (5), which is arranged downstream of the relay optical unit in the optical axis (OA) in the propagation direction (A) of the imaging beam path (3) and which has a plurality of optical elements (51) for producing a third focal length (F3); and - a beam scanner (6), which is arranged upstream of the first relay optical group (41) in the propagation direction (A) of the imaging beam path (3) and which is provided both as an entrance pupil (EP) for the imaging beam path (3) entering the first relay optical group (41) and at least for deflecting (V1) the imaging beam path (3) relative to the optical axis (OA), wherein: - the first relay optical group (41) is designed to focus the imaging beam path (3) into an intermediate focus (31), which is located between the first and the second relay optical group (41, 42) separately from the first and second relay optical groups (41, 42), and the second relay optical group (42) is designed to image the intermediate focus (31) for exit from the relay optical unit (4), and the focusing unit (5) is designed to focus the imaging beam path (3) in a focus of the device (32) onto a focal plane (33) in order to machine the workpiece (2); - a distance (L) between the entrance pupil (EP) and an end of the device in the direction of the imaging beam path (AP) is greater than twice, preferably four times, more preferably eight times, the diameter (D) of the largest optical element (411, 421) of the relay optical unit (4).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Bearbeitung

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

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

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

von schwer zugänglichen Werkstücken (2) mittels eines abbildenden Strahlengangs(3) sowie ein entsprechendes Verfahren (100) zur Laserbearbeitung mittels dieser Vorrichtung(1) umfassend eine Relayoptik (4) mit einer durch die Relayoptik (4) hindurchlaufenden optischen Achse (OA) und eine in der optischen Achse (OA) in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs(3) gesehen dahinter angeordnete Fokussiereinheit (5) mit mehreren optischen Elementen (51) zur Erzeugung einer dritten Brennweite (F3), sowie einen in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs(3) gesehen vor der ersten Relay-Optikgruppe (41) angeordneten Strahlscanner (6), der sowohl als Eintrittspupille (EP) für den in die erste Relay-Optikgruppe (41) eintretenden abbildenden Strahlengang(3) als auch mindestens zur Ablenkung(V1) des abbildenden Strahlengangs(3) relativ zur optischen Achse (OA) vorgesehen ist, wobei die erste Relay-Optikgruppe (41) dazu ausgestaltet ist, den abbildenden Strahlengang(3) in einen Zwischenfokus (31) zu fokussieren, der sich separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppen (41, 42) zwischen der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe (41, 42) befindet, und die zweite Relay-Optikgruppe (42) dazu ausgestaltet ist, den Zwischenfokus (31) zum Austritt aus der Relayoptik (4) abzubilden und die Fokussiereinheit (5) dazu ausgestaltet ist, den abbildenden Strahlengang(3) in einem Fokus der Vorrichtung(32) auf eine Fokusebene (33) zur Bearbeitung des Werkstücks (2) zu fokussieren, wobei eine Entfernung (L) zwischen Eintrittspupille (EP) und einem Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs (AP) größer als einzwelfacher, vorzugsweise ein vierfacher, noch bevorzugter ein achtfacher, Durchmesser (D) des größten optischen Elements (411, 421) der Relayoptik (4) ist.

## Vorrichtung zur Laserbearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke

### Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bearbeitung von schwer zugänglichen  
5 Werkstücken mittels eines abbildenden Strahlengangs sowie ein entsprechendes  
Verfahren zur Laserbearbeitung mittels dieser Vorrichtung.

### Hintergrund der Erfindung

Die Laserbearbeitung (Schweißen, Auftragsschweißen, Löten, Abtragen und  
10 Oberflächenstrukturierung) mit scannender Laserstrahlung bei schwer  
zugänglichen Bearbeitungsstellen stellt in der heutigen Fertigungstechnik ein  
erhebliches Problem dar. Anwendungen, die zum einen eine hohe Eintauchtiefe  
erfordern, die über den eigentlichen Arbeitsabstand der Fokussieroptik hinausgeht  
oder einen Platzbedarf für großformatige Fokussieroptiken haben, können  
15 lediglich zuungunsten des erreichbaren Laserstrahlfokussdurchmessers erreicht  
werden. Thermisch und elektrisch hochleitende Werkstoffe wie Kupfer und  
Aluminium besitzen bei der Bearbeitung mit Festkörperstrahlquellen hohe  
Reflexionsgrade, wodurch das Erreichen von charakteristischen Prozessschwellen  
(wie z.B. beim Tiefschweißen) erschwert wird. Eine Verkürzung der Brennweite  
20 und die damit verbundene Reduzierung des Fokussdurchmessers führen zu einer  
höheren Intensität am Bauteil und somit zu einem reproduzierbaren und stabileren  
Laserprozess. Allerdings führt eine größere Brennweite, die aufgrund von  
geometrischen Zugänglichkeiten am Bauteil oder an der Schweißmaschine  
verwendet werden muss, bei konstantem Durchmesser der Eintrittspupille stets zu  
25 einer Vergrößerung des Fokussdurchmessers und damit verbundenen  
Prozessinstabilitäten, die eine Bearbeitung von Materialien, insbesondere  
hochreflektiven Materialien, erschwert. Ziel muss also sein, einen kleinen  
Fokussdurchmesser durch eine kurze Brennweite zu erzielen, auch wenn die  
Zugänglichkeit der Fokussieroptik zum Bearbeitungsort dies bauraumbedingt nicht  
30 zulässt.

Die thermische und mechanische Stabilität der Optik ist überwiegend gegeben  
durch die geometrischen Randbedingungen der verwendeten Schweißoptik.

Laserstrahlbearbeitungsprozesse mit Laserleistungen  $> 1$  kW stellen hohe Anforderungen an eine gleichmäßige Temperaturverteilung und einen geringen Temperaturgradienten der optischen Elemente. Bei Verwendung von platzsparenden Fokussierlinsen reduziert sich die Kühlfläche, welche maßgeblich für die Temperaturerhöhung in Folge der absorbierten Strahlung ist.

Unterschiedliche Temperaturen und Temperaturgradienten, die örtlich innerhalb der Optik und zeitlich während des Prozesses entstehen, führen zu einer Verschlechterung der Strahlqualität und zur Verschiebung des Fokusebene und damit des Arbeitsabstandes. Die dadurch geänderten optischen Bedingungen an der Werkstückoberfläche können zu Prozessinstabilitäten und Prozessabbrüchen führen, die für eine qualitativ hochstehende und effektive Bearbeitung zu vermeiden sind. Bei Anordnungen gemäß dem Stand der Technik zeigen die optischen Elemente gerade bei Leistungen  $> 1$  kW eine nachteilige reduzierte thermisch und mechanische Stabilität.

Im Rahmen einer automatisierten Verwendung der bereits genannten Laserfertigungsverfahren ist eine Prozessüberwachung unumgänglich. Zur Prozessüberwachung dient im Allgemeinen vom Prozess emittierte Strahlung, die parallel gemessen und ausgewertet wird. Diese Prozessbeobachtung kann über einen externen Sensor mit einem Offset neben der eigentlichen Bearbeitungsoptik angebracht werden und reduziert somit die Zugänglichkeit zu den optischen Elementen und erhöht den Platzbedarf in den Bearbeitungsmaschinen. Zusätzlich zu der nicht koaxialen Prozessüberwachung wird der Platzbedarf durch die Zuführung von Prozessgasen oder Prozessstoffen weiter eingeschränkt, da diese ebenfalls über ergänzende Leitungen in die Bearbeitungszone geleitet werden müssen.

Zur Reduzierung des Platzbedarfes für die Bearbeitungsoptik und des Arbeitsabstandes in Bearbeitungsmaschinen besteht die Möglichkeit, den Laserstrahl über Lichtleitfasern relativ nah an die eigentliche Bearbeitungszone zu führen. Dieser Aufbau ist bei Verwendung von Ultrakurzpulslasern nicht möglich, da aufgrund der hohen verwendeten Energie Lichtleitfasern nicht verwendet werden können.

Medien, die dem Fertigungsprozess zugeführt müssen, sind üblicherweise an der Bearbeitungsstelle örtlich fixiert. Die Scangeometrie bleibt bei einer rotatorischen Bewegung der Achsen unverändert und dreht sich im globalen Koordinatensystem nicht mit. Ist nun aber eine gleichbleibende Ausrichtung der Scangeometrie im sogenannten Werkzeug-Center-Point erforderlich, muss die Bewegung und Drehrichtung der Scangeometrie auf die Achsbewegung angepasst werden. Bei der Verwendung von Zusatzwerkstoffen kann somit die Bestrahlungsrichtung und Bestrahlungsgeometrie nicht variabel gestaltet werden.

10

Gemäß dem Stand der Technik wurden bisher Laserbearbeitungen mit hohen Eintauchtiefen mit Hilfe vergrößerter Brennweiten realisiert, welche sich nachteilig auf die Größe des resultierenden Fokusedurchmessers auswirken. Polymerfreie Aufbauten werden durch das mechanische Verspannen der optischen Komponenten realisiert. Dabei führen fest verbaute Linsen in Füllfassungen bei thermischer Belastung zu erhöhten Spannungen, die zu einer Änderung von Strahlpropagation und Strahlverteilung führen. Eine Prozessüberwachung, die aufgrund der Strahlführung in den Strahlengang integriert ist, kann somit nur nicht-koaxial erfolgen. Bei Bearbeitungen mit Ultrakurzpuls (UKP)-Laserstrahlquellen ist aufgrund der hohen Pulsspitzenleistung lediglich eine Freistrahlführung möglich. Der Arbeitsablauf bei den Fertigungsprozessen verläuft im Stand der Technik üblicherweise sequentiell. So sind die Bewegung des Scanners und der linearen oder rotatorischen Achsbewegung voneinander getrennt.

25 Es wäre daher wünschenswert, eine Vorrichtung zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke mittels eines Lasers zur Verfügung zu haben, die auch für Laserprozess mit hohen Leistungen  $> 1$  kW eine effektive und stabile Prozessführung mit geringem lateralen Platzbedarf oberhalb der Bearbeitungszone auf dem Werkstück ermöglicht. Diese Vorrichtung sollte  
30 gegebenenfalls auch die Zuführung von Medien zum Bearbeitungsprozess ermöglichen.

### Zusammenfassung der Erfindung

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke mittels eines Lasers zur Verfügung zu stellen, die auch für Laserprozesse mit hohen Leistungen  $> 1$  kW oder auch hohen

- 5 Pulsspitzenleistungen  $> 10$  kW eine effektive und stabile Prozessführung mit geringem lateralen Platzbedarf oberhalb der Bearbeitungszone auf dem Werkstück ermöglicht.

- Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung zur Bearbeitung schwer
- 10 zugänglicher Werkstücke mittels eines abbildenden Strahlengangs (beispielsweise ein Laserstrahl) umfassend eine Relayoptik mit einer durch die Relayoptik hindurchlaufenden optischen Achse und mit mindestens einer ersten und einer zweiten Relay-Optikgruppe mit jeweils mehreren optischen Elementen zur Erzeugung einer jeweiligen ersten und zweiten Brennweite und eine in der
- 15 optischen Achse in Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs gesehen dahinter angeordnete Fokussiereinheit mit mehreren optischen Elementen zur Erzeugung einer dritten Brennweite, sowie einen in Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs gesehen vor der ersten Relay-Optikgruppe angeordneten Strahlscanner, der sowohl als Eintrittspupille für den in die erste
- 20 Relay-Optikgruppe eintretenden abbildenden Strahlengang als auch mindestens zur Ablenkung des abbildenden Strahlengangs relativ zur optischen Achse vorgesehen ist, wobei die erste Relay-Optikgruppe dazu ausgestaltet ist, den abbildenden Strahlengang in einen Zwischenfokus zu fokussieren, der sich separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppen zwischen der ersten und
- 25 zweiten Relay-Optikgruppe befindet, und die zweite Relay-Optikgruppe dazu ausgestaltet ist, den Zwischenfokus zum Austritt aus der Relayoptik abzubilden und die Fokussiereinheit dazu ausgestaltet ist, den abbildenden Strahlengang in einem Fokus der Vorrichtung auf eine Fokusebene zur Bearbeitung des Werkstücks zu fokussieren, wobei eine Entfernung zwischen Eintrittspupille und
- 30 einem Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs größer als ein zweifacher, vorzugsweise ein vierfacher, noch bevorzugter ein achtfacher, Durchmesser des größten optischen Elements der Relayoptik ist.

Bei einer direkten Fokussierung tritt das Problem auf, dass eine räumliche Trennung von Eingangspupille und Bearbeitungsstelle mit einer Skalierung des Gesamtsystems einhergeht. Insbesondere müssen bei einer Vergrößerung des Bearbeitungsabstands die Aperturen der Linsen entsprechend vergrößert werden, da zum Erreichen einer gewünschten Spotgröße eine entsprechende numerische Apertur notwendig ist. Um bei großem Bearbeitungsabstand und großer Gesamtlänge einen ausreichend kleinen Gesamtdurchmesser der Optik zu erreichen, wird eine Relayoptik eingesetzt. Der Begriff Relayoptik bezeichnet dabei eine Gruppe von optischen Elementen, die das Bild invertieren und das optische System verlängern. Die verwendeten optischen Elemente umfassen beispielsweise konventionelle Linsen und Achromate. Relayoptiken erzeugen eine oder mehrere Zwischenfokusebenen im Strahlverlauf innerhalb der Relayoptik. Die endgültige Abbildung der Eintrittspupille wird erst im Fokus der Vorrichtung erreicht. Um die Relayoptik hohen Laserleistungen größer 1 kW, beispielsweise bis 10 kW, bei gepulsten Lasern auch über 10 kW, zugänglich zu machen, wurde die Relayoptik gemäß vorliegender Erfindung in zwei separate Teile, der ersten Relay-Optikgruppe mit entsprechenden ersten optischen Elementen und der zweiten Relay-Optikgruppe mit entsprechenden zweiten optischen Elementen unterteilt, die eine ausreichende Entfernung zueinander besitzen, um den Zwischenfokus außerhalb jeder einzelnen der Relay-Optikgruppen zu legen, hier zwischen die erste und die zweite Relay-Optikgruppe. Die erste Relay-Optikgruppe erzeugt den Zwischenfokus, der wiederum durch die zweite Relay-Optikgruppe nach unendlich abgebildet wird. Hierdurch entsteht zum einen der Zwischenfokus zwischen den beiden Gruppen und zum anderen wird die Eintrittspupille hinter der Relayoptik abgebildet. Mit Hilfe der Fokussiereinheit als abschließende fokussierende Optik umfassend dafür geeignete optische Elemente (beispielsweise konventionelle Linsen und Achromate) wird der abbildenden Strahlengang (beispielsweise ein Laserstrahl) im Fokus der Vorrichtung auf das Werkstück fokussiert. Die Brennweiten der beiden Komponenten (Relayoptik und Fokussiereinheit) sind so zu wählen, dass das gewünschte Aspektverhältnis der gesamten Optik als Verhältnis von Gesamtlänge zu Durchmesser größer zwei ist. Dadurch können hohe Leistungsdichten, die sonst zu einer Zerstörung der Bauteile führen würden, auf den Oberflächen der optischen Elemente beziehungsweise in

den optischen Elementen vermieden werden. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Verhältnis von Gesamtlänge zu Durchmesser größer vier, vorzugsweise sogar größer acht. Die Entfernung kann beispielsweise 300mm bis 500mm bei einem Durchmesser des größten optischen Elements von 35mm betragen. Bei einer solchen Entfernung von größer als der 10fache des Durchmessers des größten optischen Elements der Relayoptik können besonders hohe cw-Leistungsdichten bis zu 10 kW und Pulsleistungen > 10 kW ohne Schäden in der Vorrichtung durch die Vorrichtung auf ein Werkstück fokussiert werden. Hierbei kann der Durchmesser des größten optischen Elements zwischen 30mm und 50mm betragen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist somit für die Bearbeitung bei manchen Werkstücken benötigte hohe Pulsleistung und hohe Pulsenergien der Laserpulse zugänglich und kann bei diesen Parametern langfristig stabil arbeiten.

Die Eintrittspupille liegt hier in der Spiegelebene des Strahlscanners. Sie wäre mit einer Aperturblende identisch, falls sich diese in Strahlrichtung vor den abbildenden Elementen befinden würde. Die Austrittspupille ist das Bild der Eintrittspupille beim Verlassen des Lichtstrahls aus der Vorrichtung heraus an dem Ende der Vorrichtung, das der Fokusebene der Vorrichtung zugewandt ist. Der Fokus der Vorrichtung ist der Fokus des Lichtstrahls in der Fokusebene, nachdem der Lichtstrahl die Vorrichtung verlassen hat.

Der Strahlscanner dient dazu, den abbildenden Strahlengang zumindest relativ zur optischen Achse abzulenken. Dadurch kann der Fokus der Vorrichtung in einer Fokusebene um den Fokuspunkt herum wandern, der der Fokus der Vorrichtung wäre, sofern die Lage des abbildenden Strahlengangs mit der optischen Achse zusammenfallen würde. Durch diese örtliche Variation des Fokus der Vorrichtung hervorgerufen durch die Ablenkung des abbildenden Strahlengangs durch den Strahlscanner kann das Werkstück flächenmäßig in dem durch die optischen Elemente der Vorrichtung definierten Rahmen flexibel bearbeitet werden. Der Strahlscanner ist dazu in Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs gesehen vor der Relayoptik angeordnet. Die Ausbreitungsrichtung des

abbildenden Strahlengangs bezeichnet die Richtung des Lichtwegs des abbildenden Strahlengangs (Laserlichts) vom Laser durch die optischen Komponenten hindurch bis zum Werkstück. Der Strahlscanner kann dabei ein zweidimensionaler Scanner oder ein dreidimensionaler Scanner sein.

- 5 Zweidimensionale Scanner können die Lage des abbildenden Strahlengangs in einer Ebene variieren, hier beispielsweise in der Ebene senkrecht zur optischen Achse, dreidimensionale Scanner können die Lage des abbildenden Strahlengangs zusätzlich in einer weiteren Raumrichtung variieren. Durch die gewählte Anordnung der Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird
- 10 erreicht, dass Bearbeitungsebene (auf dem Werkstück) und Position des Strahlscanners bei begrenzter lateraler Ausdehnung der verwendeten Optik voneinander entfernt angeordnet werden können. Damit kann die erfindungsgemäße Vorrichtung bei räumlich begrenzten Zugangsmöglichkeiten zum Werkstück bei großem Abstand zwischen Strahlscanner und Werkstück mit
- 15 großer Eintauchtiefe des auf das Werkstück fokussierten abbildenden Strahlengangs mit kleinem Fokusedurchmesser und großem Scanfeld betrieben werden. Damit wird unter anderem eine Innenbearbeitung in Rohren und in Gehäusen mit großer Eintauchtiefe ermöglicht.
- 20 In einer weiteren Ausführungsform ist zwischen der ersten Relay-Optikgruppe und der zweiten Relay-Optikgruppe ein weiterer Strahlscanner im Strahlengang angeordnet, um damit entweder den abzubildenden Strahlengang nochmals zu modifizieren oder aber einen weiteren Strahl zusätzlich zum bereits die erste Relay-Optikgruppe durchlaufenden Strahlengang einzukoppeln oder aber um eine
- 25 Bildüberwachung und Prozessbeobachtung in die Vorrichtung zu integrieren.

- Hierbei können beispielsweise die ersten und zweiten Brennweiten der Relayoptik so gewählt werden, dass eine Entfernung zwischen Eintrittspupille und dem Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs größer als der
- 30 zweifache Durchmesser des größten optischen Elements der Relayoptik ist. Dadurch können Schäden durch sehr hohe Leistungsdichten, die sonst zu einer Zerstörung der Bauteile führen würden, auf den Oberflächen der optischen Elemente beziehungsweise in den optischen Elementen vermieden werden.

Das zu bearbeitende Werkstück kann jegliches Werkstück sein, das mittels Strahlung bearbeitet werden kann. Dabei hängt die für die Bearbeitung benötigte Laserleistung vom Material des Werkstücks und von der gewünschten

5 Bearbeitungsart ab. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann beispielsweise zum Laserschweißen, Laserauftragsschweißen, Laserlöten, Laserschneiden, Laserabtragen, Laserbohren, Lasermodifikation oder zur Laseroberflächenstrukturierung verwendet werden.

10 Geeignete Lichtquellen zur Erzeugung des abbildenden Strahlengangs sind beispielsweise Nd:YAG-Laser oder andere industrieübliche Festkörperlaser, Diodenlaser, CO<sub>2</sub>-Laser oder Faserlaser. Leistungen bis zu 5 kW oder mehr lassen sich durch obige optische Elemente beispielsweise aus Diamantwerkstoff transportieren.

15

Diese Vorrichtung ermöglicht die Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke mittels eines Lasers und ermöglicht für Laserprozesse mit hohen mittleren Leistungen > 1 kW und Pulsleistungen > 1 kW bzw. > 10 kW eine effektive stabile Prozessführung mit gleichermaßen geringem lateralen Platzbedarf oberhalb der

20 Bearbeitungszone auf dem Werkstück.

In einer Ausführungsform ist in Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs gesehen vor dem Strahlscanner ein optisches Verschiebelement im abbildenden Strahlengang angeordnet, das eine stufenlose Variation der

25 Fokusebene parallel zur optischen Achse ermöglicht. Das Verschiebeelement (auch als Z-Shifter bezeichnet) kann dabei als ein zwei- oder mehrlinsiges

Teleskop oder anderweitiges System zur Veränderung von Strahldurchmesser und Strahldivergenz ausgeführt sein. Bei mindestens einer der Linsen kann die Position der Linsen entlang der Ausbreitungsrichtung des abbildenden

30 Strahlengangs und somit die Lage der Fokusebene geändert werden. Das Verschiebeelement minimiert zum Beispiel die Aberration des optischen Systems aus Relayoptik und Fokussiereinheit. Bei der Auslegung des Verschiebeelements kann berücksichtigt werden, dass eine Brennweitenänderung des Gesamtsystems

zu einer Variation der Spotgröße führt, welche je nach Bearbeitungsmodus des Werkstücks minimiert werden sollte.

In einer weiteren Ausführungsform ist das Verschiebeelement außerhalb der durch  
5 die Relayoptik definierten optischen Achse angeordnet, sodass der durch das Verschiebeelement hindurchgetretene abbildenden Strahlengang in einem Winkel zur optischen Achse auf den Strahlscanner fällt und der Strahlscanner dazu ausgebildet ist, den abbildenden Strahlengang entlang der optischen Achse umzulenken, vorzugsweise ist der Winkel 90 Grad. Dadurch kann die  
10 erfindungsgemäße Vorrichtung bei gleicher Gesamtlänge kompakter, das heißt mit geringerer Höhe oberhalb der Fokusebene des Fokus der Vorrichtung gebaut werden.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst der Strahlscanner ein System an  
15 Spiegeln zumindest zur Ablenkung des abbildenden Strahlengangs relativ zur optischen Achse. Ein zweidimensionaler Strahlscanner umfasst dabei zwei Spiegel, über die der Winkel zwischen aus dem Strahlscanner austretendem abbildenden Strahlengang und optischer Achse in der Ebene senkrecht zu optischen Achse verändert werden kann. Die Spiegel bilden hierbei die  
20 Eintrittspupille für die nachfolgende Relayoptik.

In einer weiteren Ausführungsform ist der Strahlscanner in Verbindung mit dem Verschiebeelement ein dreidimensionaler Strahlscanner, dessen System an  
25 Spiegeln auch eine Variation des abbildenden Strahlengangs entlang der optischen Achse ermöglicht. Hiermit lassen sich die Abbildungseigenschaften der Relayoptik und der Fokussiereinheit sowie die Fokusebene zusätzlich variieren.

In einer weiteren Ausführungsform ist die Vorrichtung so ausgestaltet, dass ein Prozessüberwachungsstrahl koaxial zur optischen Achse durch die Vorrichtung  
30 zur Detektion durch mindestens einen optischen Sensor verläuft. Der Begriff „Prozessüberwachungsstrahl“ bezeichnet die vom Prozess emittierte Strahlung und kann zur Prozessüberwachung verwendet werden. Der optische Sensor kann dabei an einem geeigneten Ort im Prozessüberwachungsstrahl angeordnet sein

oder der Prozessüberwachungsstrahl wird an einer geeigneten Stelle aus der Vorrichtung heraus- und dem Sensor zugeführt. Im letzteren Fall kann der Sensor weit entfernt von der optischen Achse der Vorrichtung angeordnet sein. Der Sensor erlaubt eine Prozesssteuerung des Bearbeitungsprozesses, wobei durch  
5 das rückreflektierte Licht eine direkte Rückkopplung vom Werkstück zur Steuerung eingesetzt wird. Der Sensor kann jeglicher zur Detektion von Licht einer bestimmten Wellenlänge geeignete Sensor sein.

In einer weiteren Ausführungsform ist der Sensor mit einer Steuerungseinheit  
10 verbunden, die dazu ausgebildet ist, die Bearbeitung des Werkstücks auf Basis einer vom Sensor detektierten Strahlung des Prozessüberwachungsstrahls zu steuern. Die vom Prozess emittierte Strahlung kann zur Prozessüberwachung parallel gemessen und ausgewertet werden, was die Prozesssteuerung verbessert. Die Steuereinheit kann ein Prozessor oder ein angeschlossener  
15 Rechner sein, auf dem ein entsprechendes Steuerprogramm installiert ist und von diesem ausgeführt wird.

In einer weiteren Ausführungsform sind zumindest der Strahlscanner, die Relayoptik und die Fokussiereinheit in einem Tubus angeordnet, wobei der Tubus  
20 als linearer, ein- oder mehrfach genickter oder beweglicher Tubus ausgebildet sein kann, wobei die optischen Elemente von Strahlscanner, Relayoptik und Fokussiereinheit geeignet angeordnet sind, den abbildenden Strahlengang durch den jeweiligen Tubus zu leiten. Der Tubus bezeichnet das äußere Gehäuse zur Halterung der voranstehend aufgeführten Komponenten und kann aus jedem  
25 dafür geeigneten Material gefertigt sein, vorzugsweise aus Metall. Ein linearer Tubus stellt eine einfache Anordnung dar, allerdings mit einer maximalen Höhe (Länge) über der Fokusebene des Fokus der Vorrichtung. Ein geknickter oder gar beweglicher Tubus verringert bei gleicher Länge diese Höhe, allerdings ist die  
Anordnung der entsprechenden optischen Elemente der Komponenten der  
30 erfindungsgemäßen Vorrichtung komplizierter. Je nach Anwendung und verfügbarem Raum oberhalb des Werkstücks kann ein linearer, geknickter oder beweglicher Tubus vorteilhaft sein.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Vorrichtung eine Lichtquelle zur Erzeugung des abbildenden Strahlengangs. Alternativ dazu kann auch eine externe Lichtquelle an die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung des abbildenden Strahlengangs angeschlossen werden. Die Lichtquelle kann dabei ein  
5 Laser aus der Gruppe Nd:YAG-Laser, Festkörperlaser, Diodenlaser, Faserlaser oder CO<sub>2</sub>-Laser sein oder der abbildende Strahlengang ist ein Einzelstrahl, ein Strahlenbündel oder eine beliebige Strahlform aus einer Bildquelle wie beispielsweise Axicon, diffraktiv optisches Element, Mikrospiegelarray oder Spatial Light Modulator oder einer Kombination daraus etc. Die Laser sind für die  
10 Laserbearbeitung von Werkstücken geeignet. Das Licht im abbildenden Strahlengang kann dabei eine Wellenlänge zwischen 157nm und 10600nm besitzen. Je nach Bearbeitungsart und Material des Werkstücks können Wellenlängen im sichtbaren Bereich, im infraroten oder tief infraroten Bereich verwendet werden.

15  
In einer weiteren Ausführungsform bilden die zweite Relay-Optikgruppe und die Fokussiereinheit eine ineinander integrierte gemeinsame Optikgruppe, sodass keine Schnittstelle mehr zum kollimierten Strahl zwischen zweiter Relay-Optikgruppe und Fokussiereinheit existiert. Dadurch können die Eigenschaften der  
20 Vorrichtung weiter verbessert werden.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst die Vorrichtung zumindest eine integrierte Zuführungsvorrichtung für eine Zufuhr von Zusatzwerkstoffen in Draht-, Pulver-, Band- oder Gasform und/oder zumindest eine integrierte  
25 Absaugvorrichtung zum Absaugen von Prozessemissionen. Manche Bearbeitungsprozesse erfordern die Zufuhr von Zusatzwerkstoffen in den heißen Bereich um den Fokus der Vorrichtung herum. Durch die kompakte Gestaltung der optischen Komponenten der erfindungsgemäßen Vorrichtung können entsprechende Zuleitungen für die Zusatzwerkstoffe ohne größeren Aufwand und  
30 Störung der optischen Eigenschaften an den Arbeitspunkt herangeführt werden. Das gleiche gilt für eventuelle Absaugungen von Prozessemissionen, die ohne solche Absaugungen den Bearbeitungsprozess negativ beeinflussen oder zu einer Gefährdung der Umgebung führen könnten. Die erfindungsgemäße Vorrichtung

ermöglicht somit zusätzlich die Zuführung von Medien zum Bearbeitungsprozess.

In einer weiteren Ausführungsform ist zumindest die Ablenkung des abbildenden Strahlengangs mittels Strahlscanners mit der Zufuhr von Zusatzwerkstoffen durch  
5 die Zuführungsvorrichtung synchronisiert. Somit kann die Zufuhr der Zusatzwerkstoffe den in der Fokusebene wandernden Fokus der Vorrichtung folgen und für alle Positionen des Fokus der Vorrichtung die benötigte Menge an Zusatzwerkstoffen präzise und zuverlässig bereitstellen. Die Ablenkung des abbildenden Strahlengangs mittels Strahlscanner kann auch mit weiteren Achsen  
10 des Bewegungssystems beziehungsweise des Bearbeitungssystems synchronisiert werden.

In einer weiteren Ausführungsform ist die Vorrichtung polymerfrei aufgebaut. Dadurch ist die Vorrichtung deutlich temperaturstabiler als mit Polymermaterialien  
15 und erreicht für Bearbeitungen mit hohen Pulsspitzenleistungen und hohe mittleren Leistungen eine längere Lebensdauer und eine bessere Zuverlässigkeit bei geringerem Wartungsaufwand.

In einer weiteren Ausführungsform sind zumindest einige der optischen Elemente  
20 in Federelementen aufgehängt. Das ermöglicht einen thermischen Ausgleich des Optiksystems bei hoher thermischer Belastung durch hohe Laserleistungen und sichert zusätzlich eine längere Lebensdauer und eine bessere Zuverlässigkeit bei geringerem Wartungsaufwand.

25 Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfassend eine Relayoptik mit einer durch die Relayoptik hindurchlaufenden optischen Achse und mit mindestens einer ersten und einer zweiten Relay-Optikgruppe mit jeweils mehreren optischen Elementen zur Erzeugung einer jeweiligen ersten und zweiten  
30 Brennweite und eine in der optischen Achse in Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs gesehen dahinter angeordnete Fokussiereinheit mit mehreren optischen Elementen zur Erzeugung einer dritten Brennweite, sowie einen in Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs gesehen vor der

ersten Relay-Optikgruppe angeordneten Strahlscanner, umfassend

- Einleiten des abbildenden Strahlengangs durch den Strahlscanner als Eintrittspupille in die erste Relay-Optikgruppe,
- Fokussieren des abbildenden Strahlengangs durch die erste Relay-Optikgruppe in einen Zwischenfokus, der sich separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe zwischen der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe befindet,
- Abbilden des Zwischenfokus durch die zweite Relay-Optikgruppe zum Austritt aus der Relayoptik,
- Fokussieren des abbildenden Strahlengangs durch die Fokussiereinheit in einen Fokus der Vorrichtung auf einer Fokusebene zur Bearbeitung des Werkstücks, und
- Bearbeitung des Werkstücks mittels zumindest einer Ablenkung des abbildenden Strahlengangs relativ zur optischen Achse zur Bewegung des Fokus oder eines Fokusarrays der Vorrichtung in der Fokusebene mittels des Strahlscanners, wobei eine Entfernung zwischen Eintrittspupille und einem Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs größer als ein zweifacher, vorzugsweise ein vierfacher, noch bevorzugter ein achtfacher, Durchmesser des größten optischen Elements der Relayoptik ist.

Dieses Verfahren ermöglicht die Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke mittels eines Lasers und ermöglicht für Laserprozesse mit hohen Leistungen > 1 kW eine effektive und stabile Prozessführung mit gleichermaßen geringem lateralen Platzbedarf oberhalb der Bearbeitungszone auf dem Werkstück.

Die voranstehend aufgelisteten Ausführungsformen können einzeln oder in beliebiger Kombination zueinander zur Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des Verfahrens verwendet werden.

### **30 Kurze Beschreibung der Abbildungen**

Diese und andere Aspekte der Erfindung werden im Detail in den Abbildungen wie folgt gezeigt.

- Fig.1: Schematische Darstellung zweier Ausführungsformen (a) und (b) der erfindungsgemäßen Vorrichtung;
- Fig.2: Schematische Ausschnittdarstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Verschiebeelement;
- 5 Fig.3: Schematische Ausschnittdarstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Sensor und Steuereinheit;
- Fig.4: Schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung angeordnet in einem (a) linearen Tubus und (b) einem geknickten Tubus;
- 10 Fig.5: Schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Laserlichtquelle sowie Zuführeinrichtung und Absaugvorrichtung;
- Fig.6: Schematische Darstellung einer Aufhängung der optischen Elemente in Federelementen;
- 15 Fig.7: Schematische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

### **Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele**

- 20 Fig.1a zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke 2 mittels eines abbildenden Strahlengangs 3, hier und in den nachfolgenden Figuren als Beispiel ein Laserstrahl. Die Vorrichtung umfasst eine
- 25 OA. Die Relayoptik 4 umfasst dabei mindestens eine erste und eine zweite Relay-Optikgruppe 41, 42 mit jeweils mehreren optischen Elementen 411, 421 zur Erzeugung einer jeweiligen ersten und zweiten Brennweite F1, F2. Anders als in Fig.1a,b eingezeichnet können die Hauptebenen für die Brennweiten F1, F2 auch innerhalb der jeweiligen Relay-Optikgruppen 41, 42 liegen. In der optischen Achse
- 30 OA in Ausbreitungsrichtung A des Laserstrahls 3 gesehen dahinter ist eine Fokussiereinheit 5 mit mehreren optischen Elementen 51 zur Erzeugung einer dritten Brennweite F3 angeordnet. Anders als in Fig.1a, b eingezeichnet kann die Hauptebenen für die Brennweite F3 auch innerhalb der Fokussiereinheit 5 liegen.

In Ausbreitungsrichtung A des Laserstrahls 3 gesehen vor der ersten Relay-Optikgruppe 41 ist ein Strahlscanner 6 angeordnet, der sowohl als Eintrittspupille EP für den in die erste Relay-Optikgruppe 41 eintretenden Laserstrahl 3 als auch mindestens zur Ablenkung V1 des Laserstrahls 3 relativ zur optischen Achse OA vorgesehen ist. Die erste Relay-Optikgruppe 41 ist dabei dazu ausgestaltet, den Laserstrahl 3 in einen Zwischenfokus 31 zu fokussieren, der sich ausreichend separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppen 41, 42 zwischen der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe 41, 42 befindet. Die zweite Relay-Optikgruppe 42 ist dazu ausgestaltet, den Zwischenfokus 31 zum Austritt aus der Relayoptik 4 abzubilden. Dabei sind die ersten und zweiten Brennweiten F1, F2 der Relayoptik 4 so gewählt, dass eine Entfernung L zwischen Eintrittspupille EP und Austrittspupille AP größer als der zweifache Durchmesser D des größten optischen Elements 411, 421 der Relayoptik 4 ist. In anderen Ausführungsformen kann diese Entfernung L auch mehr als der vierfache, achtfache oder zehnfache Durchmesser D betragen. Der Durchmesser D beträgt beispielsweise zwischen 30mm und 50mm. Die Fokussiereinheit 5 ist dazu ausgestaltet, den Laserstrahl oder das Laserstrahlbündel 3 in einen Fokus bzw. in ein Fokusarray der Vorrichtung 32 auf eine Fokusebene 33 zur Bearbeitung des Werkstücks 2 zu fokussieren. Die Vorrichtung 1 kann dabei polymerfrei aufgebaut sein und ermöglicht die Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke 2 mittels eines Lasers und ermöglicht für Laserprozesse mit hohen Leistungen  $> 1$  kW eine stabile Prozessführung mit gleichermaßen geringem lateralen Platzbedarf oberhalb der Bearbeitungszone auf dem Werkstück 2. Die Vorrichtung 1 kann zum Laserschweißen, Laserauftragsschweißen, Laserlöten, Laserschneiden Laserabtragen, Laserbohren, Laserstrahlmodifizieren oder zur Laseroberflächenstrukturierung verwendet werden.

In der weiteren in Fig.1b gezeigten Ausführungsform ist zwischen der ersten Relay-Optikgruppe 41 und der zweiten Relay-Optikgruppe 42 ein weiterer Strahlscanner 6' im Strahlengang 3 angeordnet, um damit entweder den abzubildenden Strahlengang 3 nochmals zu modifizieren oder aber einen weiteren Strahl 3' zusätzlich zum bereits die erste Relay-Optikgruppe 41 durchlaufenden

Strahlengang 3 einzukoppeln oder aber um eine Bildüberwachung und Prozessbeobachtung in die Vorrichtung 1 zu integrieren.

Fig.2 zeigt eine schematische Ausschnittdarstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 gemäß Fig.1a hier mit zusätzlichem Verschiebeelement 7 (in zwei möglichen Anordnungen dargestellt als durchgezogen und gestrichelt), das in Ausbreitungsrichtung A des Laserstrahls 3 gesehen vor dem Strahlscanner 6 im Laserstrahl 3 angeordnet ist. Dieses Verschiebeelement ermöglicht eine stufenlose Variation der Fokusebene 33. Das Verschiebeelement 7 als zusätzliches optisches Element ist außerhalb der durch die Relayoptik 4 definierten optischen Achse OA angeordnet, sodass der durch das Verschiebeelement 7 hindurchgetretene Laserstrahl 3 in einem Winkel W zur optischen Achse OA auf den Strahlscanner 6 fällt und der Strahlscanner 6 dazu ausgebildet ist, den Laserstrahl 3 entlang der optischen Achse OA umzulenken (hier mit einem Spiegel 61). Bevorzugt ist der Winkel W 90 Grad, um die Höhe der Vorrichtung oberhalb des Werkstücks bei gleichbleibender Länge L der Vorrichtung zu verringern. Das Verschiebeelement 7 (auch als Z-Shifter bezeichnet) kann dabei als ein zwei- oder mehrlinsiges Teleskop oder anderweitiges System zur Strahlgrößenveränderung und Divergenzveränderung ausgeführt sein. Bei mindestens einer der Linsen des Verschiebeelements 7 (hier nicht im Detail gezeigt) kann die Position der Linsen entlang der Ausbreitungsrichtung A des Laserstrahls 3 und somit die Lage der Fokusebene 33 geändert werden. Das Teleskop 7 korrigiert zum Beispiel die Aberrationen des optischen Systems aus Relayoptik 4 und Fokussiereinheit 5. Bei der Auslegung des Verschiebeelements 7 kann berücksichtigt werden, dass eine Brennweitenänderung des Gesamtsystems zu einer Variation der Spotgröße im Fokus der Vorrichtung 32 führt, welche je nach Bearbeitungsmodus des Werkstücks 2 minimiert werden sollte. Auch hier könnte analog zu Fig.1b ein weiterer Strahlscanner 6' im Strahlengang 3 angeordnet sein.

30

Fig.3 zeigt eine schematische Ausschnittdarstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 mit Sensor 8 und Steuereinheit 9. Hierbei umfasst der Strahlscanner 6 ein System an Spiegeln 61 zumindest zur Ablenkung

V1 des Laserstrahls 3 relativ zur optischen Achse OA (zweidimensionaler Scanner). Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist hier nur ein einziger Spiegel dargestellt. Zweidimensionale Strahlscanner 6 können aber auch mehrere Spiegel 61 umfassen. Der Strahlscanner 6 kann in Verbindung mit dem

5 Verschiebeelement 7 (Z-Shifter) aber auch als dreidimensionaler Strahlscanner gemeinsam wirken, so dass zusätzlich auch eine Variation V2 des Laserstrahls 3 entlang der optischen Achse OA ermöglicht wird. In der hier gezeigten Ausführungsform ist zusätzlich ein Spiegel 81 in Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls 3 gesehen vor dem Verschiebeelement 7 angeordnet, der

10 semitransparent ausgeführt ist. Der Spiegel 81 sorgt dafür, dass der Prozessüberwachungsstrahl RL zu einem optischen Sensor 8 aus dem Strahlengang ausgekoppelt wird, so dass das vom Werkstück 2 rückreflektiertes Licht als Prozessüberwachungsstrahl RL vom Sensor 8 detektieren werden kann. Der Prozessüberwachungsstrahl fällt zumindest zum Teil vom Werkstück 2 in

15 umgekehrter Strahlrichtung auf die erfindungsgemäße Vorrichtung und durchläuft diese koaxial entgegen der Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls 3 zurück bis zu einer Stelle, wo der Prozessüberwachungsstrahl RL in geeigneter Weise (hier mittels Spiegel 81) aus der Vorrichtung ausgekoppelt und mindestens einem Sensor 8 zugeführt wird. Für eine automatische Steuerung des

20 Bearbeitungsprozesses ist der Sensor 8 mit einer Steuerungseinheit 9 über Datenleitungen 91 geeignet verbunden, sodass die Steuerungseinheit 9 die Bearbeitung des Werkstücks 2 auf Basis des vom Sensor 8 detektierten Lichts RL über entsprechende Ansteuerung des Strahlscanners 6 zur Variation V1, V2 des Fokus der Vorrichtung 32 steuern kann. Auch hier könnte analog zu Fig.1b ein

25 weiterer Strahlscanner 6' im Strahlengang 3 angeordnet sein.

Fig.4 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 angeordnet in einem (a) linearen Tubus 10 und (b) einem geknickten Tubus 10. Hierbei sind zumindest der Strahlscanner 6, die

30 Relay-Optikgruppen 41, 42 und die Fokussiereinheit 5 in dem Tubus 10 angeordnet, wobei die optischen Elemente 411, 421, 51, 61 von Strahlscanner 6, Relay-Optikgruppen 41, 42 und Fokussiereinheit 5 geeignet angeordnet sind, den Laserstrahl 3 durch den jeweiligen Tubus 10 zu leiten.

- Fig.5 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 mit Laserlichtquelle 11 sowie Zuführeinrichtung 12 und Absaugvorrichtung 13. Die Laserlichtquelle 11 kann Laserlicht
- 5 beispielsweise mit einer Wellenlänge zwischen 157nm und 10600nm zur Bearbeitung des Werkstücks 2 aussenden. Die Laserlichtquelle 11 kann dabei ein Laser aus der Gruppe Excimer-Laser, Nd:YAG-Laser, Festkörperlaser, Diodenlaser, Faserlaser oder CO<sub>2</sub>-Laser sein. Zusätzlich kann die Vorrichtung 1 zumindest eine integrierte Zuführungsvorrichtung 12 für die Zufuhr von
- 10 Zusatzwerkstoffen in Draht-, Pulver-, Band oder Gasform und/oder zumindest eine integrierte Absaugvorrichtung 13 zum Absaugen von Prozessemissionen umfassen. Manche Bearbeitungsprozesse erfordern die Zufuhr von Zusatzwerkstoffen in den heißen Bereich um den Fokus der Vorrichtung herum. Das gleiche gilt für eventuelle Absaugungen von Prozessemissionen, die ohne
- 15 solche Absaugungen den Bearbeitungsprozess negativ beeinflussen oder zu einer Gefährdung der Umgebung führen könnten. Die Ablenkung V1 des Laserstrahls mittels Strahlscanners 6 kann dabei mit der Zufuhr von Zusatzwerkstoffen durch die Zuführungsvorrichtung 12 synchronisiert sein.
- 20 Fig.6 zeigt eine schematische Darstellung einer Aufhängung der optischen Elemente 411, 421, 51 in Federelementen 14 am Beispiel eines so aufgehängten optischen Elements in Form einer Linse. Das ermöglicht einen thermischen Ausgleich des Optiksystems bei hoher thermischer Belastung durch hohe Laserleistungen und sichert zusätzlich der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 eine
- 25 längere Lebensdauer und eine bessere Zuverlässigkeit bei geringerem Wartungsaufwand.

- Fig.7 zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke
- 30 2 mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 (siehe auch Figuren 1 – 6) umfassend eine Relayoptik 4 mit einer durch die Relayoptik 4 hindurchlaufenden optischen Achse OA und mit mindestens einer ersten und einer zweiten Relay-Optikgruppe 41, 42 mit jeweils mehreren optischen Elementen 411, 421 zur

Erzeugung einer jeweiligen ersten und zweiten Brennweite  $F_1$ ,  $F_2$  und eine in der optischen Achse OA in Ausbreitungsrichtung A des Laserstrahls 3 gesehen dahinter angeordnete Fokussiereinheit 5 mit mehreren optischen Elementen 51 zur Erzeugung einer dritten Brennweite  $F_3$ , sowie einen in Ausbreitungsrichtung A des Laserstrahls 3 gesehen vor der ersten Relay-Optikgruppe 41 angeordneten Strahlscanner 6, umfassend

- Einleiten 110 des Laserstrahls 3 durch den Strahlscanner 6 als Eintrittspupille EP in die erste Relay-Optikgruppe 41,
- Fokussieren 120 des Laserstrahls 3 durch die erste Relay-Optikgruppe 41 in einen Zwischenfokus 31, der sich separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppen 41, 42 zwischen der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe 41, 42 befindet,
- Abbilden 130 des Zwischenfokus 31 durch die zweite Relay-Optikgruppe 42 zum Austritt aus der Relayoptik 4,
- Fokussieren 140 des Laserstrahls oder Laserstrahlbündels 3 durch die Fokussiereinheit 5 in einem Fokus der Vorrichtung 32 auf einer Fokusebene 33 zur Bearbeitung des Werkstücks 2, und
- Bearbeitung 150 des Werkstücks 2 mittels zumindest einer Ablenkung V1 des Laserstrahls 3 relativ zur optischen Achse OA zur Bewegung des Fokus oder des Fokusarrays oder des beliebig geformten Zwischenbilds der Vorrichtung 32 in der Fokusebene 33 mittels des Strahlscanners 6, wobei eine Entfernung L zwischen Eintrittspupille EP und einem Ende der Vorrichtung in Richtung des Laserstrahls AP größer als ein zweifacher, vorzugsweise ein vierfacher, noch bevorzugter ein achtfacher, Durchmesser D des größten optischen Elements 411, 421 der Relayoptik 4 ist.

Die hier gezeigten Ausführungsformen stellen nur Beispiele für die vorliegende Erfindung dar und dürfen daher nicht einschränkend verstanden werden.

Alternative durch den Fachmann in Erwägung gezogene Ausführungsformen sind gleichermaßen vom Schutzbereich der vorliegenden Erfindung umfasst.

## LISTE DER BEZUGSZEICHEN

|    |       |                                                                                 |
|----|-------|---------------------------------------------------------------------------------|
|    | 1     | erfindungsgemäße Vorrichtung                                                    |
|    | 2     | zu bearbeitendes Werkstück                                                      |
| 5  | 3     | abbildenden Strahlengang, beispielsweise ein Laserstrahl                        |
|    | 3'    | weiterer Strahl                                                                 |
|    | 31    | Zwischenfokus                                                                   |
|    | 32    | Fokus der Vorrichtung                                                           |
|    | 33    | Fokusebene                                                                      |
| 10 | 4     | Relayoptik                                                                      |
|    | 41    | erste Relay-Optikgruppe                                                         |
|    | 411   | optische Elemente der ersten Relay-Optikgruppe                                  |
|    | 42    | zweite Relay-Optikgruppe                                                        |
|    | 421   | optische Elemente der zweiten Relay-Optikgruppe                                 |
| 15 | 5     | Fokussiereinheit                                                                |
|    | 51    | optische Elemente der Fokussiereinheit                                          |
|    | 6, 6' | Strahlscanner                                                                   |
|    | 61    | Spiegel                                                                         |
|    | 7     | Verschiebeelement (Z-Shifter)                                                   |
| 20 | 8     | optischer Sensor                                                                |
|    | 81    | zusätzlicher semitransparenter Spiegel                                          |
|    | 9     | Steuereinheit                                                                   |
|    | 91    | Datenleitung                                                                    |
|    | 10    | Tubus                                                                           |
| 25 | 11    | Laserlichtquelle                                                                |
|    | 12    | Zuführeinrichtung für Zusatzstoffe zum Bearbeitungsprozess                      |
|    | 13    | Absaugvorrichtung für Prozessemissionen                                         |
|    | 14    | Federelemente zur Aufhängung der optischen Elemente                             |
| 30 | 100   | erfindungsgemäßes Verfahren                                                     |
|    | 110   | Einleiten des abbildenden Strahlengangs in die Relayoptik mittels Strahlscanner |
|    | 120   | Fokussieren des abbildenden Strahlengangs in einem Zwischenfokus                |

- 130 Abbilden des Zwischenfokus auf die Austrittspupille
- 140 Fokussieren des abbildenden Strahlengangs in einem Fokus der Vorrichtung
- 150 Bearbeiten des Werkstücks
- 5
- A Ausbreitungsrichtung des abbildenden Strahlengangs
- AP Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs (zugewandt zur Fokus der Vorrichtung)
- D Durchmesser des größten optischen Elements der Relayoptik
- 10 EP Eintrittspupille
- F1 erste Brennweite der ersten Relay-Optikgruppe
- F2 zweite Brennweite der zweiten Relay-Optikgruppe
- F3 dritte Brennweite der Fokussiereinheit
- L Entfernung zwischen Eintritts- und Austrittspupille
- 15 OA optische Achse
- RL vom Werkstück rückreflektierter Prozessüberwachungsstrahl
- V1 Ablenkung des abbildenden Strahlengangs relativ zur optischen Achse
- V2 Variation des abbildenden Strahlengangs entlang der optischen Achse
- W Winkel zwischen abbildendem Strahlengang nach Austritt aus
- 20 Verschiebeelement und optischer Achse

**Patentansprüche**

1. Eine Vorrichtung (1) zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke (2) mittels eines abbildenden Strahlengangs (3) umfassend eine Relayoptik (4) mit einer durch die Relayoptik (4) hindurchlaufenden optischen Achse (OA) und mit mindestens einer ersten und einer zweiten Relay-Optikgruppe (41, 42) mit jeweils mehreren optischen Elementen (411, 421) zur Erzeugung einer jeweiligen ersten und zweiten Brennweite (F1, F2) und eine in der optischen Achse (OA) in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs (3) gesehen dahinter angeordnete Fokussiereinheit (5) mit mehreren optischen Elementen (51) zur Erzeugung einer dritten Brennweite (F3), sowie einen in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs (3) gesehen vor der ersten Relay-Optikgruppe (41) angeordneten Strahlscanner (6), der sowohl als Eintrittspupille (EP) für den in die erste Relay-Optikgruppe (41) eintretenden abbildenden Strahlengang (3) als auch mindestens zur Ablenkung (V1) des abbildenden Strahlengangs (3) relativ zur optischen Achse (OA) vorgesehen ist, wobei die erste Relay-Optikgruppe (41) dazu ausgestaltet ist, den abbildenden Strahlengang (3) in einen Zwischenfokus (31) zu fokussieren, der sich separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppen (41, 42) zwischen der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe (41, 42) befindet, und die zweite Relay-Optikgruppe (42) dazu ausgestaltet ist, den Zwischenfokus (31) zum Austritt aus der Relayoptik (4) abzubilden und die Fokussiereinheit (5) dazu ausgestaltet ist, den abbildenden Strahlengang (3) in einem Fokus der Vorrichtung (32) auf eine Fokusebene (33) zur Bearbeitung des Werkstücks (2) zu fokussieren, wobei eine Entfernung (L) zwischen Eintrittspupille (EP) und einem Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs (AP) größer als ein zweifacher, vorzugsweise ein vierfacher, noch bevorzugter ein achtfacher, Durchmesser (D) des größten optischen Elements (411, 421) der Relayoptik (4) ist.
2. Die Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**

dass in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs (3) gesehen vor dem Strahlscanner (6) ein optisches Verschiebeelement (7) im abbildenden Strahlengang (3) angeordnet ist, das eine stufenlose Variation der Fokusebene (33) ermöglicht.

5

3. Die Vorrichtung (1) nach Anspruch 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass das Verschiebeelement (7) außerhalb der durch die Relayoptik (4) definierten optischen Achse (OA) angeordnet ist, sodass der durch das Verschiebeelement (7) hindurchgetretene abbildende Strahlengang (3) in einem Winkel (W) zur optischen Achse (OA) auf den Strahlscanner (6) fällt und der Strahlscanner (6) dazu ausgebildet ist, den abbildenden Strahlengang (3) entlang der optischen Achse (OA) umzulenken, vorzugsweise ist der Winkel (W) 90 Grad.

10

4. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass der Strahlscanner (6) ein System an Spiegeln (61) zumindest zur Ablenkung (V1) des abbildenden Strahlengangs (3) relativ zur optischen Achse (OA) umfasst.

15

5. Die Vorrichtung (1) nach Anspruch 4,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass der Strahlscanner (6) in Verbindung mit dem Verschiebeelement (7) ein dreidimensionaler Strahlscanner ist, dessen System an Spiegeln (61) auch eine Variation (V2) des abbildenden Strahlengangs (3) entlang der optischen Achse (OA) ermöglichen.

20

6. Die Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 4 oder 5,

**dadurch gekennzeichnet,**

dass ein Prozessüberwachungsstrahl (RL) koaxial zur optischen Achse (OA) durch die Vorrichtung (1) zur Detektion durch mindestens einen optischen Sensor (8) verläuft.

25

30

7. Die Vorrichtung (1) nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass der Sensor (8) mit einer Steuerungseinheit (9) verbunden ist, die dazu  
5 ausgebildet ist, die Bearbeitung des Werkstücks (2) auf Basis einer vom  
Sensor (8) detektierten Strahlung des Prozessüberwachungsstrahls (RL) zu  
steuern.
8. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass zumindest der Strahlscanner (6), die Relayoptik (4) und die  
Fokussiereinheit (4) in einem Tubus (10) angeordnet sind, wobei der Tubus  
(10) als linearer, ein- oder mehrfach geknickter oder beweglicher Tubus  
ausgebildet sein kann, wobei die optischen Elemente (411, 421, 51, 61) von  
15 Strahlscanner (6), Relayoptik (4) und Fokussiereinheit (5) geeignet  
angeordnet sind, den abbildenden Strahlengang (3) durch den jeweiligen  
Tubus (10) zu leiten.
9. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
20 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Vorrichtung (1) eine Lichtquelle (11) zur Erzeugung des  
abbildenden Strahlengangs (3) mit einer Wellenlänge, vorzugsweise  
zwischen 157nm und 10600nm, umfasst, vorzugsweise ist die Lichtquelle  
(11) ein Laser aus der Gruppe Nd:YAG-Laser, Festkörperlaser, Diodenlaser,  
25 Faserlaser oder CO<sub>2</sub>-Laser oder der abbildende Strahlengang (3) ist ein  
Einzelstrahl, ein Strahlenbündel oder eine beliebige Strahlform aus einer  
Bildquelle.
10. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
30 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass die zweite Relay-Optikgruppe (42) und die Fokussiereinheit (5) eine  
ineinander integrierte gemeinsame Optikgruppe bilden.

11. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Vorrichtung (1) zumindest eine integrierte Zuführungsvorrichtung  
(12) für eine Zufuhr von Zusatzwerkstoffen in Draht-, Pulver-, Band oder  
5 Gasform und/oder zumindest eine integrierte Absaugvorrichtung (13) zum  
Absaugen von Prozessemissionen umfasst.
12. Die Vorrichtung (1) nach Anspruch 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
10 dass zumindest die Ablenkung (V1) des abbildenden Strahlengangs mittels  
Strahlscanners (6) mit der Zufuhr von Zusatzwerkstoffen durch die  
Zuführungsvorrichtung (12) synchronisiert ist.
13. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
15 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Vorrichtung (1) polymerfrei aufgebaut ist.
14. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
20 dass zumindest einige der optischen Elemente (411, 421, 51) in  
Federelementen (14) aufgehängt sind.
15. Die Vorrichtung (1) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
25 dass zwischen der ersten Relay-Optikgruppe (41) und der zweiten Relay-  
Optikgruppe (42) ein weiterer Strahlscanner (6') im Strahlengang (3)  
angeordnet ist.
16. Verwendung einer Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 zum Laserschweißen,  
30 Laserauftragsschweißen, Laserlöten, Laserschneiden, Laserabtragen,  
Laserbohren, Lasermodifikation oder zur Laseroberflächenstrukturierung.
17. Ein Verfahren (100) zur Bearbeitung schwer zugänglicher Werkstücke (2)

- mittels einer Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 umfassend eine Relayoptik (4) mit einer durch die Relayoptik (4) hindurchlaufenden optischen Achse (OA) und mit mindestens einer ersten und einer zweiten Relay-Optikgruppe (41, 42) mit jeweils mehreren optischen Elementen (411, 421) zur Erzeugung einer jeweiligen ersten und zweiten Brennweite (F1, F2) und eine in der optischen Achse (OA) in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs (3) gesehen dahinter angeordnete Fokussiereinheit (5) mit mehreren optischen Elementen (51) zur Erzeugung einer dritten Brennweite (F3), sowie einen in Ausbreitungsrichtung (A) des abbildenden Strahlengangs (3) gesehen vor der ersten Relay-Optikgruppe (41) angeordneten Strahlscanner (6), umfassend
- Einleiten (110) des abbildenden Strahlengangs (3) durch den Strahlscanner (6) als Eintrittspupille (EP) in die erste Relay-Optikgruppe (41),
  - Fokussieren (120) des abbildenden Strahlengangs (3) durch die erste Relay-Optikgruppe (41) in einen Zwischenfokus (31), der sich separat von der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe (41, 42) zwischen der ersten und zweiten Relay-Optikgruppe (41, 42) befindet,
  - Abbilden (130) des Zwischenfokus (31) durch die zweite Relay-Optikgruppe (42) zum Austritt aus der Relayoptik (4),
  - Fokussieren (140) des abbildenden Strahlengangs (3) durch die Fokussiereinheit (5) in einem Fokus der Vorrichtung (32) auf einer Fokusebene (33) zur Bearbeitung des Werkstücks (2), und
  - Bearbeitung (150) des Werkstücks (2) mittels zumindest einer Ablenkung (V1) des abbildenden Strahlengangs (3) relativ zur optischen Achse (OA) zur Bewegung des Fokus der Vorrichtung (32) in der Fokusebene (33) mittels des Strahlscanners (6), wobei eine Entfernung (L) zwischen Eintrittspupille (EP) und einem Ende der Vorrichtung in Richtung des abbildenden Strahlengangs (AP) größer als ein zweifacher, vorzugsweise ein vierfacher, noch bevorzugter ein achtfacher, Durchmesser (D) des größten optischen Elements (411, 421) der Relayoptik (4) ist.

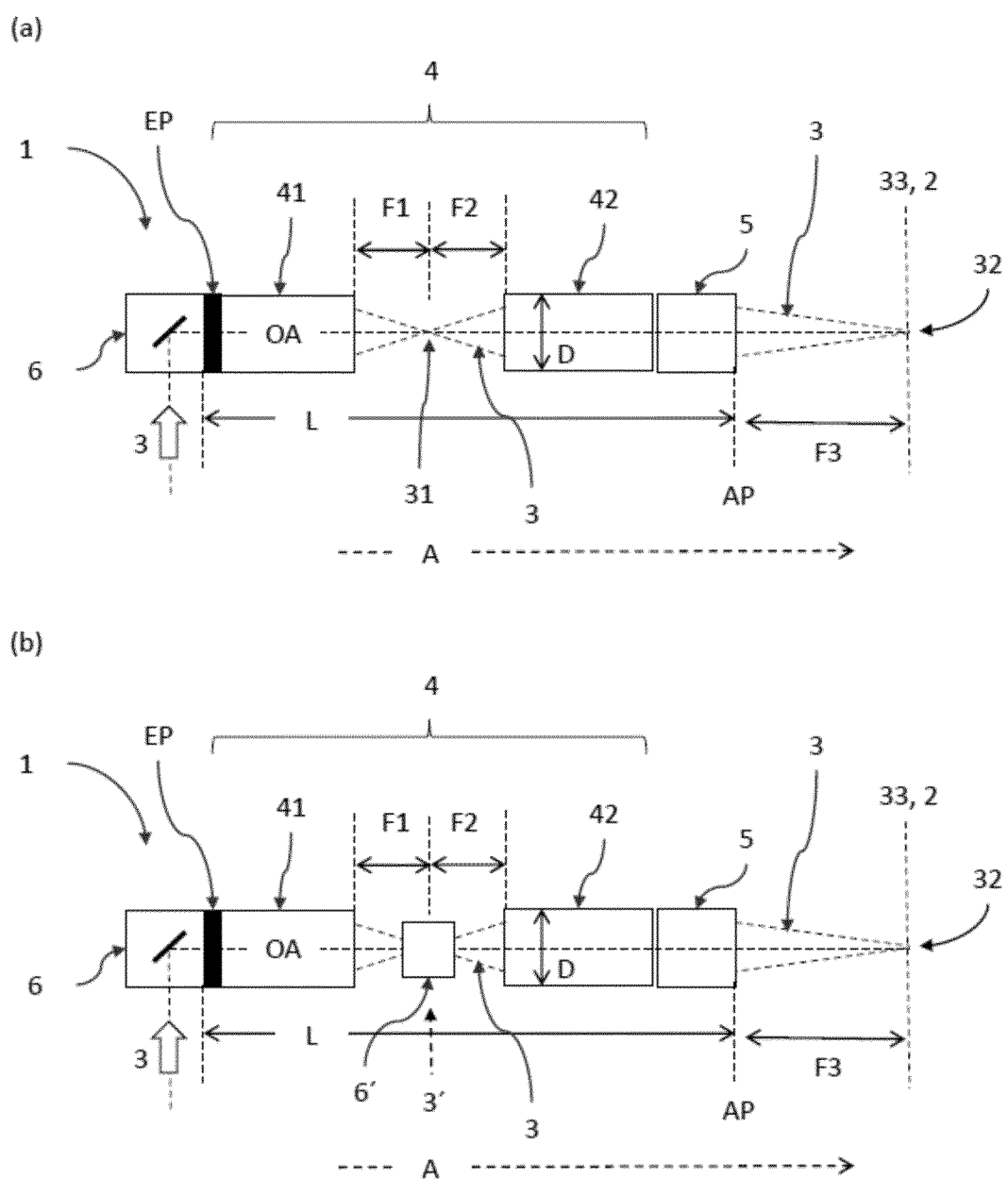


FIG.1

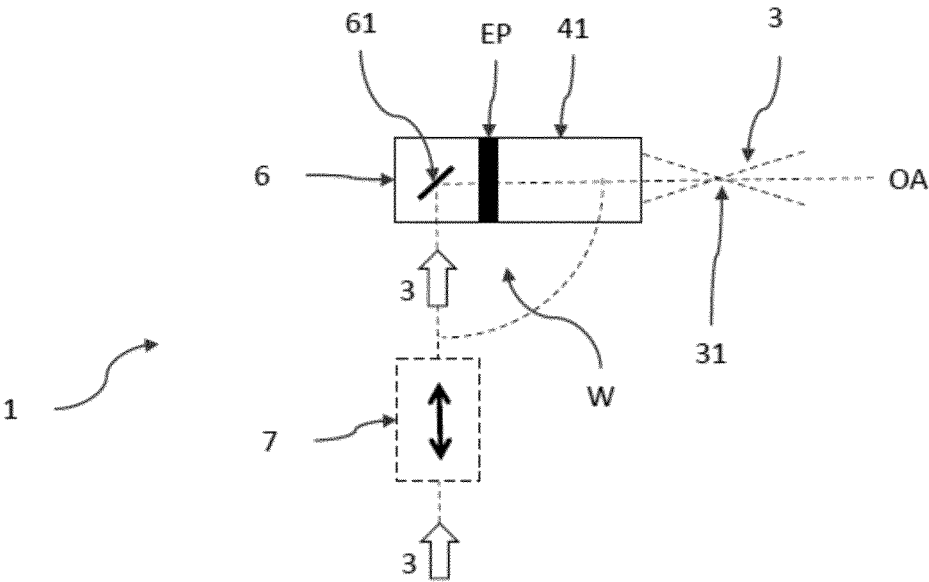


FIG.2

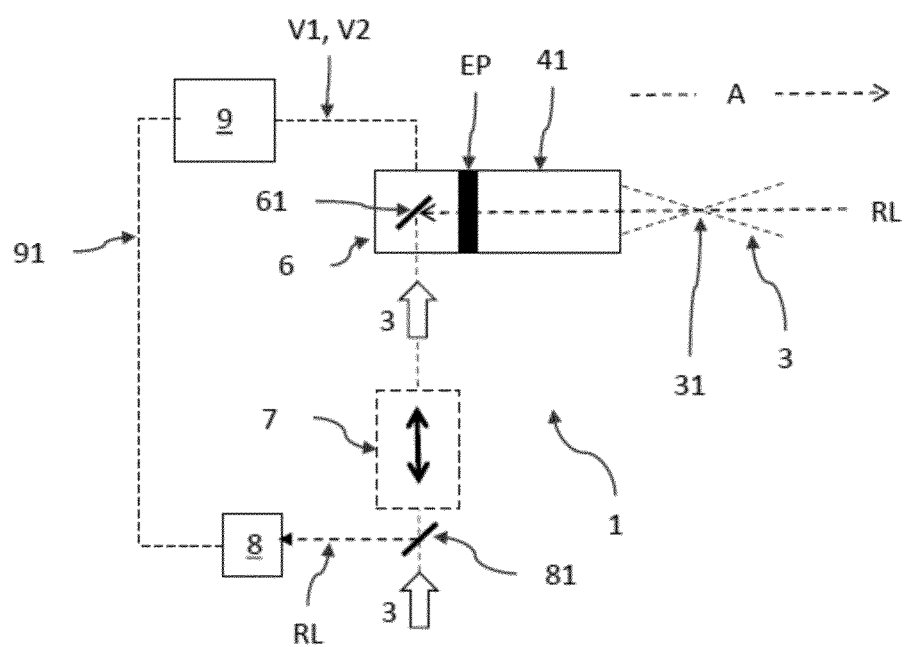


FIG.3

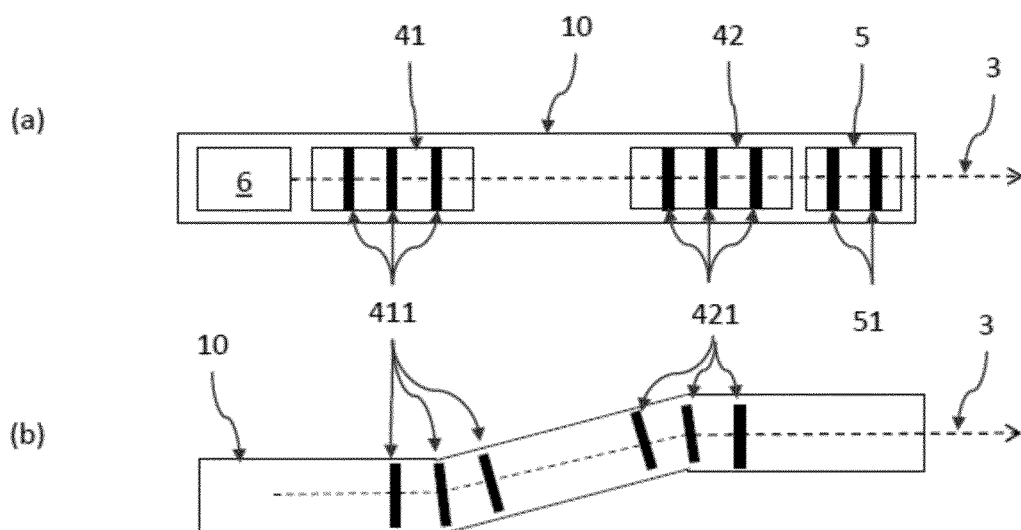


FIG.4

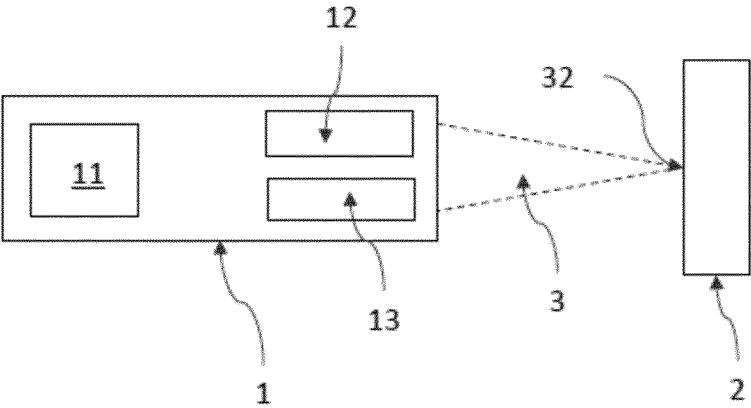


FIG.5

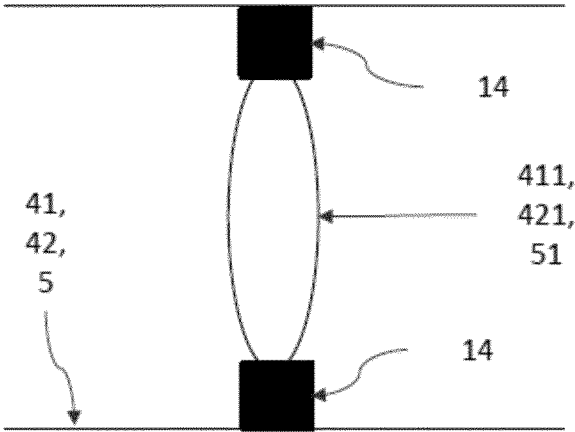


FIG.6

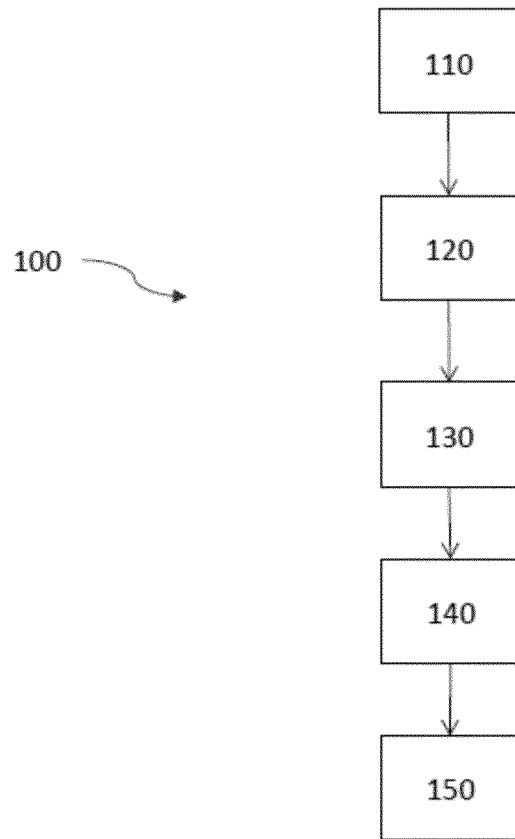


FIG.7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/064334****A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

**B23K 26/06**(2014.01)i; **B23K 26/082**(2014.01)i; **B23K 26/04**(2014.01)i; **B23K 26/046**(2014.01)i; **B23K 1/005**(2006.01)i; **B23K 26/14**(2014.01)i; **B23K 26/362**(2014.01)i; **B23K 26/38**(2014.01)i; **B23K 26/342**(2014.01)i; **B23K 26/21**(2014.01)i; **B23K 26/70**(2014.01)i; **B23K 26/144**(2014.01)i; **B23K 26/352**(2014.01)i; **B23K 26/0622**(2014.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                         | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | US 2014092372 A1 (DEVOE ROBERT J [US] ET AL) 03 April 2014 (2014-04-03)                                    | 1,9,10,13,15-17       |
| Y         | figure 10A, paragraphs 111-118                                                                             | 8,11,12,14            |
| A         |                                                                                                            | 2-7                   |
| Y         | US 2008314880 A1 (GESCHWANDNER MARK [DE] ET AL) 25 December 2008 (2008-12-25)<br>paragraph [0044]          | 8,11,12               |
| Y         | JP S6027487 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 12 February 1985 (1985-02-12)<br>paragraph [0001]; figure 1 | 14                    |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**03 July 2019**

Date of mailing of the international search report

**12 July 2019**

Name and mailing address of the ISA/EP

**European Patent Office  
 p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk  
 Netherlands**

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

**Hernanz, Sonsoles**

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/064334**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| US                                        | 2014092372 | A1 | 03 April 2014                        | CN                      | 101960385  | A  | 26 January 2011                      |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 2257854    | A2 | 08 December 2010                     |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 5801558    | B2 | 28 October 2015                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 6448480    | B2 | 09 January 2019                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2011514556 | A  | 06 May 2011                          |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2015179293 | A  | 08 October 2015                      |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2011001950 | A1 | 06 January 2011                      |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2014092372 | A1 | 03 April 2014                        |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2009108543 | A2 | 03 September 2009                    |
| US                                        | 2008314880 | A1 | 25 December 2008                     | CN                      | 101257992  | A  | 03 September 2008                    |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 1926568    | A1 | 04 June 2008                         |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2009506890 | A  | 19 February 2009                     |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2008314880 | A1 | 25 December 2008                     |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2007025562 | A1 | 08 March 2007                        |
| JP                                        | S6027487   | A  | 12 February 1985                     | NONE                    |            |    |                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                    |                                                        |
| INV.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | B23K26/06                                                                                          | B23K26/082                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | B23K26/14                                                                                          | B23K26/362                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | B23K26/70                                                                                          | B23K26/144                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/04                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/38                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/352                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/046                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/342                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/0622                                            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K1/005                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    | B23K26/21                                              |
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |                                                        |
| B. RECHERCHIERTE GEBIETE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                    |                                                        |
| Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    |                                                        |
| B23K                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                    |                                                        |
| Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |                                                        |
| Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |                                                        |
| EPO-Internal, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |                                                        |
| C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |                                                        |
| Kategorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr.                                     |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | US 2014/092372 A1 (DEVOE ROBERT J [US] ET AL) 3. April 2014 (2014-04-03)                           | 1,9,10,13,15-17                                        |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Abb. 10A, Abs. 111-118                                                                             | 8,11,12,14                                             |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -----                                                                                              | 2-7                                                    |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | US 2008/314880 A1 (GESCHWANDNER MARK [DE] ET AL) 25. Dezember 2008 (2008-12-25)                    | 8,11,12                                                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Absatz [0044]                                                                                      |                                                        |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | JP S60 27487 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 12. Februar 1985 (1985-02-12)                      | 14                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Absatz [0001]; Abbildung 1                                                                         |                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | -----                                                                                              |                                                        |
| <input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |                                                        |
| * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :<br>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist<br>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)<br>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht<br>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist<br>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist<br>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden<br>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist<br>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |                                                                                                    |                                                        |
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                    | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts    |
| 3. Juli 2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    | 12/07/2019                                             |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    | Bevollmächtigter Bediensteter<br><br>Hernanz, Sonsoles |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/064334

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 2014092372                                      | A1                            | 03-04-2014                        | CN 101960385 A 26-01-2011     |
|                                                    |                               |                                   | EP 2257854 A2 08-12-2010      |
|                                                    |                               |                                   | JP 5801558 B2 28-10-2015      |
|                                                    |                               |                                   | JP 6448480 B2 09-01-2019      |
|                                                    |                               |                                   | JP 2011514556 A 06-05-2011    |
|                                                    |                               |                                   | JP 2015179293 A 08-10-2015    |
|                                                    |                               |                                   | US 2011001950 A1 06-01-2011   |
|                                                    |                               |                                   | US 2014092372 A1 03-04-2014   |
|                                                    |                               |                                   | WO 2009108543 A2 03-09-2009   |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| US 2008314880                                      | A1                            | 25-12-2008                        | CN 101257992 A 03-09-2008     |
|                                                    |                               |                                   | EP 1926568 A1 04-06-2008      |
|                                                    |                               |                                   | JP 2009506890 A 19-02-2009    |
|                                                    |                               |                                   | US 2008314880 A1 25-12-2008   |
|                                                    |                               |                                   | WO 2007025562 A1 08-03-2007   |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| JP S6027487                                        | A                             | 12-02-1985                        | KEINE                         |
| -----                                              |                               |                                   |                               |