

(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  
31. Januar 2013 (31.01.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2013/014068 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**B29C 65/16** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/064244

(22) Internationales Anmeldedatum:  
20. Juli 2012 (20.07.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2011 079 739.4 25. Juli 2011 (25.07.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **LPKF LASER & ELECTRONICS AG**  
[DE/DE]; Osteriede 7, 30827 Garbsen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SIEBEN, Manuel**  
[DE/DE]; Bergstr. 15, 91091 Großenseebach (DE).  
**HERTLE, Dominik** [DE/DE]; Dreikönigstr. 7, 91054  
Erlangen (DE).

(74) Anwalt: **RAU, SCHNECK & HÜBNER**; Königstrasse 2,  
90402 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,  
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,  
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, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR CARRYING OUT AND MONITORING A PLASTIC LASER TRANSMISSION  
WELDING PROCESS

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG UND ÜBERWACHUNG EINES  
KUNSTSTOFF-LASERDURCHSTRAHL-SCHWEISSPROZESSES

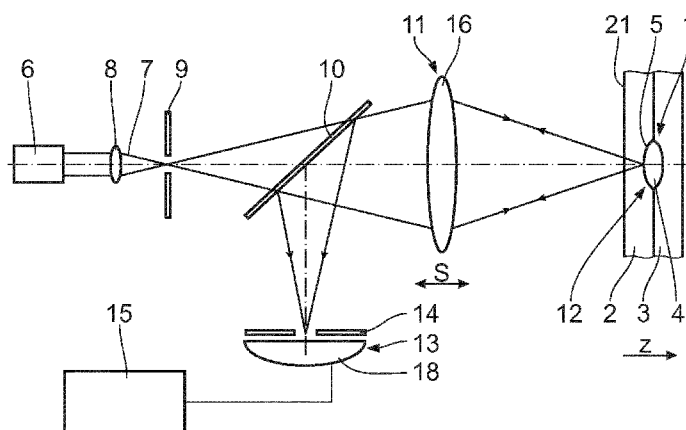


Fig. 1

(57) Abstract: A device and a method for carrying out and monitoring a plastic laser transmission welding process comprises a processing beam source for emitting a processing beam into a joining zone (1) between two parts being joined (2, 3) while forming a weld (4), a measuring beam source (6) for irradiating a measuring zone (12) with a measuring beam (7), a detection unit (13) for detecting the measuring beam (7) reflected by an interface (5) between the weld (4) and its surroundings in the parts being joined (2, 3), and an evaluation unit (15), connected to the detection unit (13), for determining the depth position of the interface (5) in the parts being joined (2, 3) from the reflected measuring beam (7) that is detected.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/014068 A2

**Veröffentlicht:**

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

---

Eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses, umfasst eine Bearbeitungsstrahlquelle zum Aussenden einer Bearbeitungsstrahlung in eine Fügezone (1) zwischen zwei Fügepartnern (2, 3) unter Bildung einer Schweißnaht (4), eine Messstrahlquelle (6) zur Bestrahlung einer Messzone (12) mit einer Messstrahlung (7), eine Detektionseinheit (13) zur Erfassung der von einer Grenzfläche (5) zwischen Schweißnaht (4) und ihrer Umgebung in den Fügepartnern (2, 3) reflektierten Messstrahlung (7), und eine mit der Detektionseinheit (13) verbundene Auswertereinheit (15) zur Bestimmung der Tiefenposition der Grenzfläche (5) in den Fügepartnern (2, 3) aus der erfassten reflektierten Messstrahlung (7).

- 1 -

## **Vorrichtung und Verfahren zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. 11 angegebenen Merkmalen.

Die Technik des Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißens ist aus vielerlei Druckschriften, beispielsweise der EP 1 575 756 B1 oder DE 10 2004 036 576 B4 bekannt.

Grundsätzlich wird dabei ein für die Laser-Verarbeitungsstrahlung transmissiver Fügepartner auf einen diese Strahlung absorbierenden Fügepartner gesetzt. Durch Bestrahlung einer entsprechenden Fügezone zwischen den beiden Fügepartnern durch den transmissiven Fügepartner hindurch wird im absorbierenden Fügepartner eine Schmelze erzeugt. Über den Kontakt mit dem transmissiven Fügepartner wird entsprechend Wärmeenergie in diesen transportiert, womit auch der transmissive Fügepartner in der Fügezone aufschmilzt und eine entsprechende Materialdurchmischung zwischen beiden Fügepartnern erfolgt. Durch ihr Abkühlen wird eine Schweißnaht zwischen beiden Fügepartnern gebildet, die quer zur Schweißnahtichtung eine Art Linsenkontur aufweist. Die Grenzfläche dieser Linsenkontur zu ihrer Umgebung in den Fügepartnern stellt auf Grund der unterschiedlichen Brechzahlen der beiden Fügepartner und des Mischmaterials im Bereich der Schweißnaht eine optisch aktive Grenzfläche dar, an der ein Lichtstrahl reflektiert werden kann.

- 2 -

Ein Verfahren zum Herstellen und zur Kontrolle einer Schweißnaht mittels Laserstrahlung gemäß der DE 101 21 923 C2 macht sich diesen Umstand dahingehend zu Nutze, dass eine dort so bezeichnete Kontrollstrahlung in eine die Schweißnaht umfassende Messzone eingebracht und die von der

5 Grenzfläche reflektierte Messstrahlung einer Detektionseinheit zur Erfassung zugeführt wird.

Bei dieser vorbekannten Kontrolle der Schweißnaht wird lediglich die durch eine fehlerhafte Naht sich ergebende Störung der erfassten reflektierten Messstrahlung festgestellt, was schlechthin Reaktionen auslösen soll.

10 Im Wesentlichen kann eine solche Reaktion die Aussonderung eines als fehlerhaft erkannten Werkstückes sein. Genauere Aussagen über die Schweißnaht werden bei diesem Überwachungsverfahren nicht getroffen.

15 Davon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses anzugeben, bei der die Grenzfläche der Schweißnaht zu ihrer Umgebung in den Fügepartnern mit deutlich verbesserter Signifikanz erfasst werden kann.

20 Diese Aufgabe wird in vorrichtungstechnischer Hinsicht durch die im Kennzeichnungsteil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale sowie in verfahrenstechnischer Hinsicht durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 11 gelöst. Demnach sind Vorrichtung und Verfahren derart

25 ausgelegt, dass die von der Detektionseinheit erfasste reflektierte Messstrahlung so einer entsprechenden Auswertung zugeführt wird, dass eine Bestimmung der Tiefenposition der Grenzfläche in den Fügepartnern aus der erfassten reflektierten Messstrahlung erfolgt. Damit ist eine deutlich genauere Erfassung des Schweißprozesses möglich, da aus dieser Tiefen-

- 3 -

position der Grenzfläche auf die absolute Tiefenlage der Schweißnaht in der Fügezone zwischen den beiden Fügepartnern genauso geschlossen werden kann, wie auf eine ausreichende Querschnittsfläche der Schweißnaht zwischen den beiden Fügepartnern oder dem Vorhandensein einer

5 Schweißnaht schlechthin.

Für die konkrete optisch-technische Umsetzung der Bestimmung der Tiefenposition der Grenzfläche – im Folgenden kurz mit „Schweißtiefenüberwachung“ bezeichnet – sind verschiedene vorrichtungs- und verfahrenstechnische Konzepte möglich. So ist gemäß Anspruch 2 bzw. 12 vorzugsweise die Verwendung einer Punktlichtquelle zur Erzeugung der Messstrahlung vorgesehen, die mit einer im Strahlengang des Messstrahls angeordneten Fokussieroptik variabel auf die Messzone fokussierbar ist. Mittels

10 eines Fotodetektors als Detektiereinheit wird die Intensität des reflektierten Messstrahls erfasst, die von der Lage des Fokus relativ zur Grenzfläche abhängig ist. Liegt der Fokus in der Grenzfläche, ist die Reflektionsintensität hoch. Insoweit kann also aus der Korrelation zwischen der Position der Fokussieroptik und der Intensität des reflektierten Messstrahles die Tiefenposition der Grenzfläche bestimmt werden.

20 In einer weiteren alternativen Ausführungsform der Bestimmung der Tiefenposition gemäß den Ansprüchen 4 bis 7 bzw. 13 kann mit einem chromatischen, konfokalen Messsystem gearbeitet werden. Dabei ist die Messstrahlquelle als polychromatische Punktlichtquelle ausgebildet, die mit einer im Strahlengang des Messstrahls angeordneten, wellenlängenabhängig in mehrere Teilmessstrahlen fokussierenden Fokussieroptik abstandskodiert auf die Messzone fokussierbar ist. Ein spektralempfindlicher Fotodetektor erfasst als Detektiereinheit den von der Lage des Fokus relativ zur Grenzfläche abhängigen, intensitätsstärksten reflektierten Teilmessstrahl

25

- und bestimmt daraus die Tiefenposition der Grenzfläche. Zur Abstandskodierung der Teilmessstrahlen kann dabei eine insbesondere als Fresnel-Linse ausgeführte Abstandskodierlinse vorgesehen sein. In einer bevorzugten Ausführungsform gemäß Anspruch 6 kann der spektralempfindliche
- 5 Fotodetektor ferner durch ein Spektrometer mit vorgesetzter Lochblende gebildet sein.

- Zur Vereinfachung der Strahlführung von Bearbeitungs- und Messstrahl ist gemäß der bevorzugten Ausführungsform nach Anspruch 7 vorgesehen,
- 10 den Messstrahl zur Fokussieroptik und den reflektierten Messstrahl zur Detektionseinheit jeweils über einen Lichtwellenleiter zu führen, die durch einen Faserkoppler zu einem gemeinsamen Strahlengang in der Fokussieroptik und der Messzone kombiniert sind.

- 15 Eine weitere Alternative für das optische System zur Schweißtiefenüberwachung ist in den Ansprüchen 8 bzw. 14 charakterisiert. Demnach wird eine an sich bekannte Triangulationsanordnung von Messstrahlquelle und Detektionseinheit eingesetzt. Demnach wird die Messstrahlung durch einen in die Messzone eingestrahlten Triangulationslaserstrahl gebildet, dessen
- 20 von der Tiefenposition der Grenzfläche abhängig reflektierte Messstrahlung von einem Bildsensor als Detektionseinheit erfasst wird. Daraus wird die Tiefenposition der Grenzfläche nach dem Prinzip der Lasertriangulation bestimmt.

- 25 Ein ähnliches alternatives optisches Prinzip ist das sogenannte Lichtschnittverfahren, das als weitere Alternative in den Ansprüchen 9 bzw. 15 angegeben ist. Demnach ist ein Lichtschnittsensor vorgesehen, der die Messstrahlquelle und die Detektionseinheit aufweist. Die Messstrahlquelle ist dabei so ausgelegt, dass sie eine Mess-Lichtlinie auf die Messzone, also

- 5 -

die zu überprüfende Schweißnaht projiziert. Eine Abbildungsoptik im Lichtschnittsensor bildet das reflektierte Messbild der Mess-Lichtlinie auf einen entsprechenden Bildsensor ab, durch dessen Auswertung wiederum die Tiefenposition der Grenzfläche zwischen Schweißnaht und Umgebung  
5 in den Fügepartnern nach dem Prinzip des Lichtschnittverfahrens bestimmt werden kann.

Wie in den Ansprüchen 10 und 16 angegeben ist, kann die erfindungsgemäße Schweißtiefenüberwachung in besonders vorteilhafter Weise bei einem sogenannten Laser-Hybridschweißen eingesetzt werden, wie es aus  
10 der eingangs erwähnten EP 1 575 756 B1 bekannt ist. Die dortige Sekundärstrahlquelle kann dann als Messstrahlquelle im Rahmen der vorliegenden Schweißtiefenüberwachung eingesetzt werden.

15 Zusammenfassend ist auf Grund der vorliegenden Erfindung eine Prozessüberwachung beim Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißen besonders in Verbindung mit den Konturschweißen oder dem Laser-Hybridschweißen möglich, dessen Grundprinzip auf der Lichtreflektion an Materialgrenzflächen und der sich daraus ergebenden „Tiefenmessung“ der Schweißnaht-  
20 Grenzfläche beruht.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen an Hand der beigefügten Zeichnungen. Es zeigen:

25

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer optischen Messvorrichtung für eine Schweißtiefenüberwachung in einer ersten Ausführungsform,

- Fig. 2 eine schematische Darstellung der dabei eingesetzten, verschiebbaren Fokussieroptik,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung einer optischen Messeinrichtung zur Schweißtiefenüberwachung in einer zweiten Ausführungsform,
- Fig. 4 eine schematische Darstellung einer dabei verwendeten, abstandskodierenden Fokussieroptik,
- Fig. 5 und 6 eine detailliertere Darstellung der optischen Messeinrichtung gemäß Fig. 3 vor und nach erfolgter Schweißung zwischen den beiden Fügepartnern,
- Fig. 7 eine alternative Ausführungsform für die optische Messeinrichtung gemäß Fig. 3,
- Fig. 8 und 9 schematische Darstellungen einer Vorrichtung zur Durchführung und Schweißtiefenüberwachung bei einem Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozess in einer weiteren Ausführungsform basierend auf dem Lasertriangulationsverfahren und
- Fig. 10 eine schematische Perspektivdarstellung einer Vorrichtung zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses in einer weiteren Ausführungsform basierend auf dem Lichtschnittverfahren.

- 7 -

In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform für eine Vorrichtung zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses gezeigt. Die Bearbeitungsstrahlquelle zur Erzeugung und zum Aussenden eines Laserstrahls als Bearbeitungsstrahlung für die Fügezone 1 der beiden Fügepartner 2, 3 ist dabei nicht näher dargestellt, da dies dem üblichen Laserdurchstrahl-Schweißen entspricht. Mit Hilfe dieser Bearbeitungsstrahlquelle wird eine in Fig. 1 zwischen den beiden Fügepartnern 2, 3 im Querschnitt angedeutete Schweißnaht 4 zwischen den beiden Fügepartnern 2, 3 gebildet.

10 Zur Bestimmung der Tiefenposition der Grenzfläche 5 zwischen der Schweißnaht 4 und dem Fügepartner 2 – also zur Schweißtiefenüberwachungen des entsprechenden Laserdurchstrahl-Schweißprozesses – ist eine Messstrahlquelle 6 in Form einer Punktlichtquelle vorgesehen, deren Messstrahl 7 durch eine Linse 8 und eine Lochblende 9 aufbereitet und durch  
15 einen Strahlteiler 10 über eine Fokussieroptik 11 als fokussierter Strahl in die Messzone 12 im Bereich der Schweißnaht 4 eingestrahlt wird. Der entsprechende Fokusfleck des Messstrahls 7 wird dabei von der optisch wirksamen Grenzfläche 5 zwischen Schweißnaht 4 und Fügepartner 2 reflektiert und über die Fokussieroptik 11 und den Strahlteiler 10 in eine Detektionseinheit 13 über eine Lochblende 14 abgebildet. Bei der Detektionseinheit 13 handelt es sich in diesem gezeigten Fall um einen Fotodetektor, der mit einer entsprechenden Auswerteeinheit 15 gekoppelt ist. Das Messprinzip für die Tiefenposition der Grenzfläche 5 beruht nun darauf, dass bei  
20 einer Lage der Grenzfläche 5 in der Fokusebene die Messstrahlquelle 6 scharf auf die Detektionseinheit 13 abgebildet und damit dort eine hohe Lichtintensität hervorgerufen wird. Ist die Grenzfläche 5 außerhalb der Fokusebene, so wird die Messstrahlquelle 6 unscharf mit entsprechend geringerer Intensität auf den Fotodetektor der Detektionseinheit 13 abgebildet.

Eine Abstandsmessung ist nur durch eine variable Fokussierung des Messstrahls 7 in die Messzone 12 realisierbar, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Demnach wird die Fokussieroptik 11 in einer Scanbewegung S verfahren, wobei die Tiefenposition der Grenzfläche 5 mit einer der Scanpositionen  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  der Fokussieroptik 11 korreliert ist. Die Intensität ändert sich dabei mit dem Abstand  $z$  zwischen der Fokusebene und der Grenzfläche gemäß der folgenden Point-Spread-Function:

$$I(z) = \frac{\Phi}{[\tan(\alpha) \times Z \times rf] \times \pi}$$

10 Definition:

$\alpha$  = Divergenzwinkel

$\Phi$  = Lichtfluss ausgehend von Strahlquelle der Prozessüberwachung

$Z$  = Abstand der Reflexionsebene zur Fokusslage

$rf$  = Radius des Spots

15

Anhand der Fig. 3 bis 6 ist eine weitere Ausführungsform einer Vorrichtung und eines Verfahrens zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses zu erläutern. Diese Variante hat mit der gemäß Fig. 1 und 2 die Messstrahlquelle 6, dessen Aufbereitung über eine Linse 8 und eine Lochblende 9 sowie den Strahlteiler 10 gemeinsam. Allerdings ist die Messstrahlquelle 6 eine polychromatische Punktlichtquelle, die mit einer den Messstrahl 7 wellenlängenabhängig in mehrere Teilmessstrahlen 7.1, 7.2, 7.3 (Fig. 5 und 6) wellenlängenabhängig in die Messzone 12 fokussiert. Hierzu wird die Dispersion der Fokussieroptik ausgenutzt. Die Fokussieroptik wird bei diesem Messaufbau aus einem Material hergestellt das eine hohe Abbesche Konstante besitzt und somit eine chromatische Abberation hervorruft. Dadurch wird, wie in Fig. 3 und

5 angedeutet ist, der Fokusabstand  $f$  des jeweiligen Brennpunktes von der Fokussieroptik 11 im Abstand chromatisch kodiert.

Als Detektionseinheit 13 ist bei dieser Ausführungsform ein spektralemp-  
5 findlicher Fotodetektor in Form eines Spektrometers 19 hinter der Loch-  
blende 14 angeordnet, mit dessen Hilfe sich der spektrale Intensitätsverlauf  
des reflektierten Messstrahles bestimmen lässt. Das Spektrometer 19 ermit-  
telt die von der Lage des Fokus relativ zur Grenzfläche 5 abhängige, inten-  
sitätsstärkste reflektierte Wellenlänge 7. Die Auswerteeinheit 15 kann dar-  
10 aus wiederum die Tiefenposition der Grenzfläche 5 und damit die Tiefen-  
lage der Schweißnaht 4 bestimmen.

Anhand von Fig. 5 und 6 ist dies nochmals genauer zu erläutern. So sind in  
Fig. 5 der transmissive Fügepartner 2 und der absorbierende Fügepartner 3  
15 noch ohne Verschweißung miteinander gezeigt. Die wellenlängenabhängi-  
ge Fokussierung des polychromatischen Messstrahls 7 führt zu verschiede-  
nen exemplarischen Fokuspunkten 20.1, 20.2, 20.3, abhängig von der je-  
weiligen Wellenlänge  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  in z-Richtung (Tiefe) in den Fügepartnern  
2, 3. Mit besonders hoher Intensität werden der der Wellenlänge  $\lambda_1$  zuge-  
20 ordnete Strahl mit seinem Fokuspunkt 20.1 im Bereich der Grenzfläche  
zwischen den beiden Fügepartnern 2, 3 sowie der Wellenlänge  $\lambda_2$  zugeord-  
nete Teilmessstrahl 7.2 mit dem Fokuspunkt 20.2 auf der äußeren Oberflä-  
che 21 des oberen Fügepartners 2 reflektiert. Dies kann das Spektrometer  
19 entsprechend messen, wie durch die dort auftreffenden reflektierten  
25 Teilmessstrahlen 7.1 mit der Wellenlänge  $\lambda_1'$  und 7.2 mit der Wellenlänge  
 $\lambda_2'$  gezeigt ist. Mit der Auswerteeinheit 15 werden daraus die entsprechen-  
den Positionen der Grenzfläche 5 zwischen den beiden Fügepartnern 2, 3  
und der Oberfläche 21 des oberen Fügepartners 2 bestimmt.

- Nach erfolgter Schweißung und der entsprechend angelegten Schweißnaht 4, wie dies in Fig. 6 angedeutet ist, wird nunmehr der Teilmessstrahl 7.3 mit seinem Fokuspunkt 20.3 in der nach oben in den transmissiven Fügepartner 2 gewanderten Grenzfläche 5 liegen und somit mit besonders hoher
- 5 Intensität reflektiert. Am Spektrometer 19 wird eine entsprechende Intensitätsverschiebung gemessen. Die Tiefenposition der Grenzfläche 5 zwischen Schweißnaht 4 und oberen Fügepartner 2 kann nun über die Wellenlänge des maximal reflektierten Teilmessstrahles 7.3 bestimmt werden.
- 10 Im Fig. 7 ist eine gegenüber Fig. 1 bzw. 4 etwas abgewandelte Variante der Messvorrichtung gezeigt. Der Messstrahl wird dabei von der Messstrahlquelle 6 über einen ersten Lichtleiter 22, in den ein Faserkoppler 23 eingesetzt ist, zu einer Kollimationslinse 24 und einer wiederum wellenlängenabhängig fokussierenden Fokussieroptik 11 geführt. Die reflektierten
- 15 Messstrahlen 7 werden über diese optische Anordnung entsprechend abgebildet und über den Faserkoppler 23 und einen weiteren Lichtwellenleiter 25 zu dem Spektrometer 19 geführt. In Fig. 7 ist ein Spektraldiagramm der reflektierten Messstrahlung 7 mit einem Intensitätsmaximum bei der Wellenlänge  $\lambda_1$  gezeigt. Aus dieser Wellenlänge kann die Lage der Grenzfläche 5 in z-Richtung innerhalb der Grenzen bestimmt werden, die durch die
- 20 minimale Wellenlänge  $\lambda_{\min}$  und maximale Wellenlänge  $\lambda_{\max}$  der polychromatischen Messstrahlung 7 gesetzt sind.

- In den Fig. 8 und 9 ist eine weitere Variante einer Vorrichtung und eines
- 25 entsprechenden Verfahrens zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses gezeigt. In dieser diagrammartigen Darstellung ist eine Bearbeitungsstrahlquelle 26 in Form einer üblichen Laserbearbeitungsoptik dargestellt, die einen Bearbeitungsstrahl 27 in die Fügezone 28 zwischen dem transmissiven Fügepartner 2

und dem absorbierendem Fügepartner 3 einstrahlt. Dadurch wird die in Fig. 9 gezeigte Schweißnaht 4 mit Ihrer Grenzfläche 5 zum transmissiven Fügepartner 2 hin gebildet.

- 5 Die entsprechende Überwachung der Schweißnaht 4 in Form einer Schweißtiefenüberwachung erfolgt bei der hier gezeigten Ausführungsform auf der Basis einer Triangulationsanordnung, die aus einer Laserquelle als Messstrahlquelle 6 und einem entsprechend gegenüber angeordneten Empfänger in Form eines Bildsensors 29 – ein sogenannter CCD-Stack - als
- 10 Detektionseinheit 13 angeordnet ist. Zum Hintergrund ist kurz festzuhalten, dass bei der Triangulation im Allgemeinen eine Abstandsmessung unter Ausnutzung der geometrischen Zusammenhänge in einem Dreieck durchgeführt wird. Umgesetzt wird diese Technik mit Hilfe eines Laserstrahls, der unter einem bestimmten Winkel auf eine reflektierende Fläche geleitet
- 15 wird. Der durch direkte Reflexion zurückfallende Strahl trifft auf ein CCD-Array, welches eindimensional die Intensitätsverteilung aufnimmt. Der Winkel, unter dem der Laserstrahl auf die Messstelle trifft, wird konstant gehalten, bei einer Veränderung des Abstandes kommt es daher zu einer „horizontalen“ Verschiebung auf dem CCD-Stack. Durch Ermittlung der
- 20 Position und durch Berücksichtigung der Winkelzusammenhänge kann die Auswertelektronik den Abstand zwischen Sensor und Messstelle berechnen.

- Da die bei der Laserdurchstrahl-Schweißung entstehende Schweißlinse der
- 25 Schweißnaht 4 zu einer Vermischung der Grundmaterialien der Fügepartner 2, 3 führt, kann auch hier wiederum eine Messung des reflektierten Messstrahls 7 an der Grenzfläche 5 erfolgen. Dazu wird der Laser-Messstrahl 7 unter einen definierten Winkel  $W$  in das Material eingekoppelt. Mittels des als CCD-Stack ausgeführten Bildsensors 29 wird dann die Posi-

tion des reflektierten Lichtstrahls ermittelt und ausgewertet. Aus den Winkelzusammenhängen und – falls notwendig – aus den Brechungsverhältnissen der Fügepartner 2, 3 kann dann die jeweilige Schichtdicke zwischen Oberfläche und Grenzfläche 5 und damit die Tiefenlage der Schweißnaht 4  
5 bestimmt werden.

Eine Fortbildung der auf einer Lasertriangulation beruhenden Schweißtiefenbestimmung stellt die in Fig. 10 gezeigte Variante der Erfindung dar. Hierbei wird ein sogenannter Lichtschnitt-Sensor 30 eingesetzt, der zum  
10 einen eine Laserdiode 31 mit einer speziellen Aufbereitungsoptik 32 aufweist. Damit wird eine Mess-Lichtlinie 33 auf das zu untersuchende Objekt projiziert.

Zum anderen ist im Lichtschnitt-Sensor 30 eine weitere Abbildungsoptik  
15 34 angeordnet, mit der das von den Fügepartnern 2,3 diffus reflektierte Licht der Lichtlinie 33 auf eine Sensor-Matrix 35 wie beispielsweise eine CCD- oder CMOS-Matrix, als Detektionseinheit 13 abgebildet wird. Eine entsprechende Auswerteeinheit 15 in Form eines Controllers errechnet aus dem Kamerabild die entsprechende Abstandsinformationen, also die Lage  
20 eines entsprechenden Reflexionspunktes in z-Richtung sowie die Position entlang der Messlinie 33 (x-Achse). Damit kann das Höhenprofil des Messobjekts, das das Profil der Schweißnaht 4 in x-Richtung repräsentiert, in einem entsprechenden zweidimensionalen Koordinatensystem ausgegeben werden.

25

Wie in Fig. 10 erkennbar ist, kann mit diesem Messverfahren hinter der „frisch“ mit Hilfe des Bearbeitungsstrahls 27 angelegten Schweißnaht 4 eine entsprechende Überwachung deren Tiefenlage und Kontur erfolgen. Sollten dabei Abweichungen von den Normwerten gemessen werden, kann

der Bearbeitungsstrahl 27 entsprechend in seinen Parametern verändert werden, um das Schmelzbad 36 zwischen den beiden Fügepartnern 2, 3 und damit die Schweißnaht 4 entsprechend zu beeinflussen.

- 5    Insgesamt kann bei einer Bewegung des Bearbeitungsstrahls 27 zusammen mit dem Lichtschnitt-Sensor 30 entlang der zu verbindenden Fügepartner 2, 3 in y-Richtung eine dreidimensionale Erfassung der Schweißnaht 4 stattfinden. Das gleiche Ergebnis wird erzielt, wenn die Fügepartner 2, 3 relativ zum Bearbeitungsstrahl 27 dem Lichtschnitt-Sensor 30 bewegt werden.  
10

- Insgesamt kann mit Hilfe der erfindungsgemäßen Schweißtiefenuntersuchung aus den jeweiligen Reflektionen des Messstrahls 7 sowohl das Einhalten von geforderten Maßen messtechnisch erfasst, als auch die  
15    Schweißnahtqualität generell überwacht werden.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-  
5 Laserdurchstrahl-Schweißprozesses, umfassend
  - eine Bearbeitungsstrahlquelle (27) zum Aussenden einer Bearbeitungsstrahlung (26) in eine Fügezone (1) zwischen zwei Fügepartnern (2, 3) unter Bildung einer Schweißnaht (4),
  - eine Messstrahlquelle (6) zur Bestrahlung einer Messzone (12) mit  
10 einer Messstrahlung (7), und
  - eine Detektionseinheit (13) zur Erfassung der von einer Grenzfläche (5) zwischen Schweißnaht (4) und ihrer Umgebung in den Fügepartnern (2, 3) reflektierten Messstrahlung (7),  
**gekennzeichnet durch**
- 15 – eine mit der Detektionseinheit (13) verbundene Auswerteinheit (15) zur Bestimmung der Tiefenposition der Grenzfläche (5) in den Fügepartnern (2, 3) aus der erfassten reflektierten Messstrahlung (7).
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die  
20 Messstrahlquelle (6) eine Punktlichtquelle ist, die mit einer im Strahlengang des Messstrahls (7) angeordneten Fokussieroptik (11) variabel auf die Messzone (12) fokussierbar ist, wobei ein Photodetektor (18) als Detektoreinheit die von der Lage des Fokus (20) relativ zur Grenzfläche (5) abhängige Intensität des reflektierten Messstrahles (7) er-  
25 fasst.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fokussioptik (11) zur intensitätsgesteuerten Nachführung des Messstrahl-

Fokus (20) relativ zur Grenzfläche (5) in Richtung der optischen Achse verschiebbar angeordnet ist, wobei aus der Position der Fokussioptik (11) die Tiefenposition der Grenzfläche (5) bestimmbar ist.

- 5    4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messstrahlquelle (6) eine polychromatische Punktlichtquelle ist, die mit einer im Strahlengang des Messstrahls (7) angeordneten, hoch dispersen Fokussioptik wellenlängenabhängig abstandskodiert auf die Messzone (12) fokussierbar ist, wobei ein spektral empfindlicher  
10    Photodetektor (18) als Detektoreinheit den von der Lage des Fokus (20) relativ zur Grenzfläche (5) abhängigen, intensitätsstärksten reflektierten Teilmessstrahl (7) erfasst und daraus die Tiefenposition der Grenzfläche (5) bestimmt.
- 15    5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fokussioptik (11) eine Fokussierlinse (16) und eine insbesondere als Fresnel-Linse ausgeführte Abstandskodierlinse (17) aufweist.
- 20    6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der spektral empfindliche Photodetektor (18) durch ein Spektrometer mit vorgesetzter Lochblende (9) gebildet ist.
- 25    7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messstrahl (7) zur Fokussioptik (11) und der reflektierte Messstrahl (7) zur Detektionseinheit (13) über jeweils einen Lichtwellenleiter (25) geführt sind, die durch einen Faserkoppler (23) zu einem gemeinsamen Strahlengang in der Fokussioptik (11) und der Messzone (12) kombiniert sind.

- 16 -

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messstrahlquelle (6) und Detektionseinheit (13) in einer Triangulation-sanordnung relativ zueinander angeordnet sind.
- 5 9. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Lichtschnitt-Sensor (30) mit der Messstrahlquelle (6) und der Detektionseinheit (13) vorgesehen ist, wobei
- die Messstrahlquelle (6) derart ausgelegt ist, dass sie ein Mess-Lichtlinie (33) auf die Messzone (12) projiziert, und
  - 10 - eine Abbildungsoptik (34) für das reflektierte Messbild der Mess-Lichtlinie (33) auf einen als Detektionseinheit (13) fungierenden Bildsensor vorgesehen ist.
10. Vorrichtung nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messstrahlquelle (6) eine Sekundärstrahlquelle einer an sich bekannten Vorrichtung zum Laserstrahl-Hybridschweißen ist.
- 15
11. Verfahren zur Durchführung und Überwachung eines Kunststoff-Laserdurchstrahl-Schweißprozesses, umfassend die Schritte:
- 20
- Anordnen eines transmissiven (2) und eines absorbierenden Fügepartners (3) in einer Fügestellung,
  - Bestrahlung der Fügepartner (2, 3) in einer Fügezone (1) mit einer Bearbeitungsstrahlung (27) unter Bildung einer Schweißnaht (4)
  - 25 und in einer die Schweißnaht (4) erfassenden Messzone (12) mit einer Messstrahlung (7), und
  - Erfassung der von einer Grenzfläche (5) zwischen Schweißnaht und Umgebung reflektierten Messstrahlung (7) mit einer Detekti-

- 17 -

onseinheit (13),

**gekennzeichnet durch**

- eine Auswertung der erfassten Messstrahlung (7) mittels einer mit der Detektionseinheit (13) verbundenen Auswerteeinheit (15) unter Bestimmung der Tiefenposition der erfassten Grenzfläche (5) in den Fügepartnern (2, 3).

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messstrahlung (7) von einer mittels einer Fokussieroptik (11) variabel fokussierbaren Punktlichtquelle (6) erzeugt wird, wobei die Tiefenposition der Grenzfläche (5) durch eine mit der Intensität der reflektierten Messstrahlung (7) korrelierten Position (P1, P2, P3) der Fokussieroptik (11) bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messstrahlung (7) durch eine polychromatische Punktlichtquelle (6) erzeugt und wellenlängenabhängig fokussiert in die Messzone (12) eingestrahlt wird, wobei die korreliert mit der Tiefenposition der Grenzfläche reflektierte Messstrahlung (7) spektral erfasst und die Tiefenposition der Grenzfläche (5) durch Auswertung des spektralen Intensitätsmaximums der reflektierten Messstrahlung (7) bestimmt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Messstrahlung (7) durch einen in die Messzone (12) eingestrahlt Triangulationslaserstrahl gebildet wird, dessen von der Tiefenposition der Grenzfläche (5) abhängig reflektierte Messstrahlung (7) von einem Bildsensor (29) als Detektionseinheit erfasst und die Tiefenposition der Grenzfläche (5) nach dem Prinzip der Lasertriangulation bestimmt

werden.

15. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die  
Messstrahlung (7) derart ausgebildet wird, dass sie eine auf die Grenz-  
5 fläche (5) projizierte Mess-Lichtlinie (33) erzeugt, deren reflektiertes  
Messbild als reflektierte Messstrahlung (7) von einem Lichtschnitt-  
Sensor (30) als Detektionseinheit erfasst und die Tiefenposition der  
Grenzfläche (5) daraus nach dem Prinzip des Lichtschnittverfahrens  
bestimmt wird.
- 10
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekenn-  
zeichnet, dass** das Bestrahlen der Messzone (12) mittels einer Sekun-  
därstrahlung bei einem Laserstrahl-Hybridschweißverfahren erfolgt.

1/6

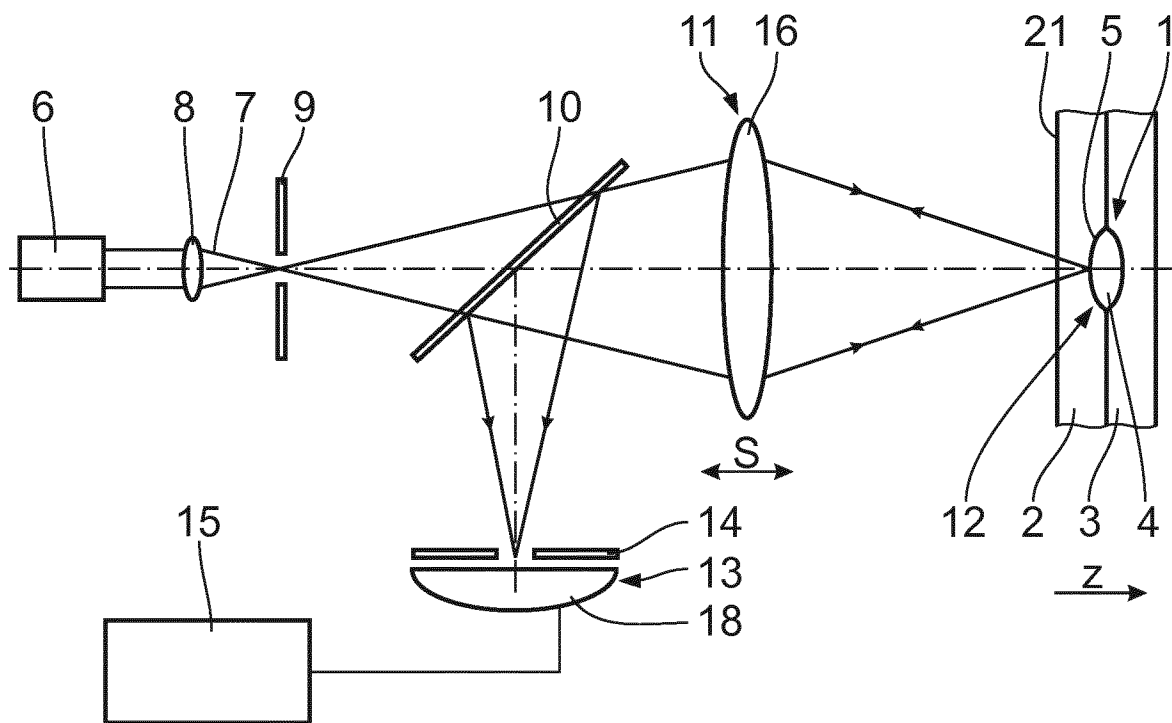


Fig. 1

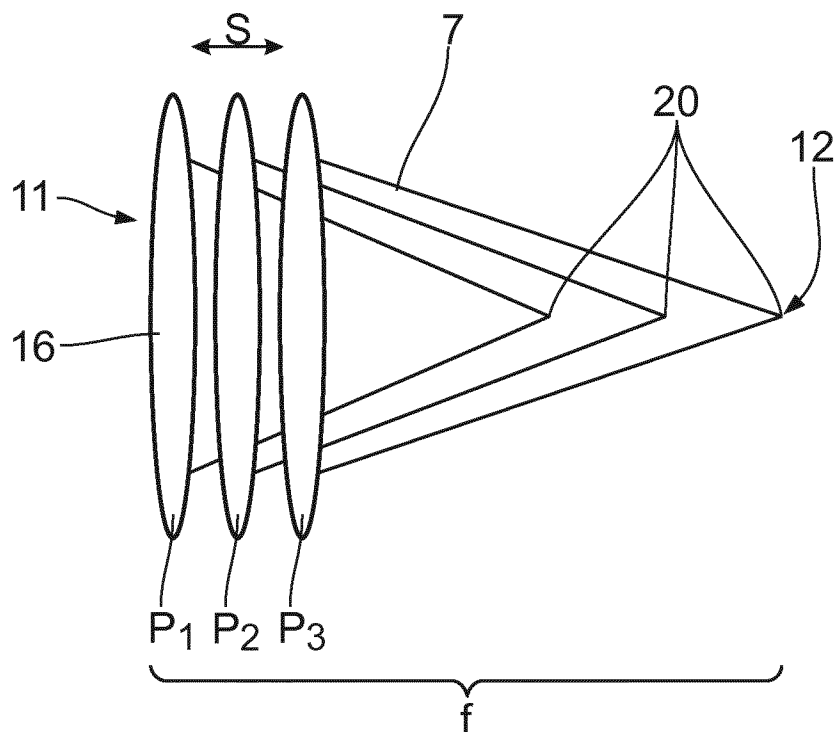
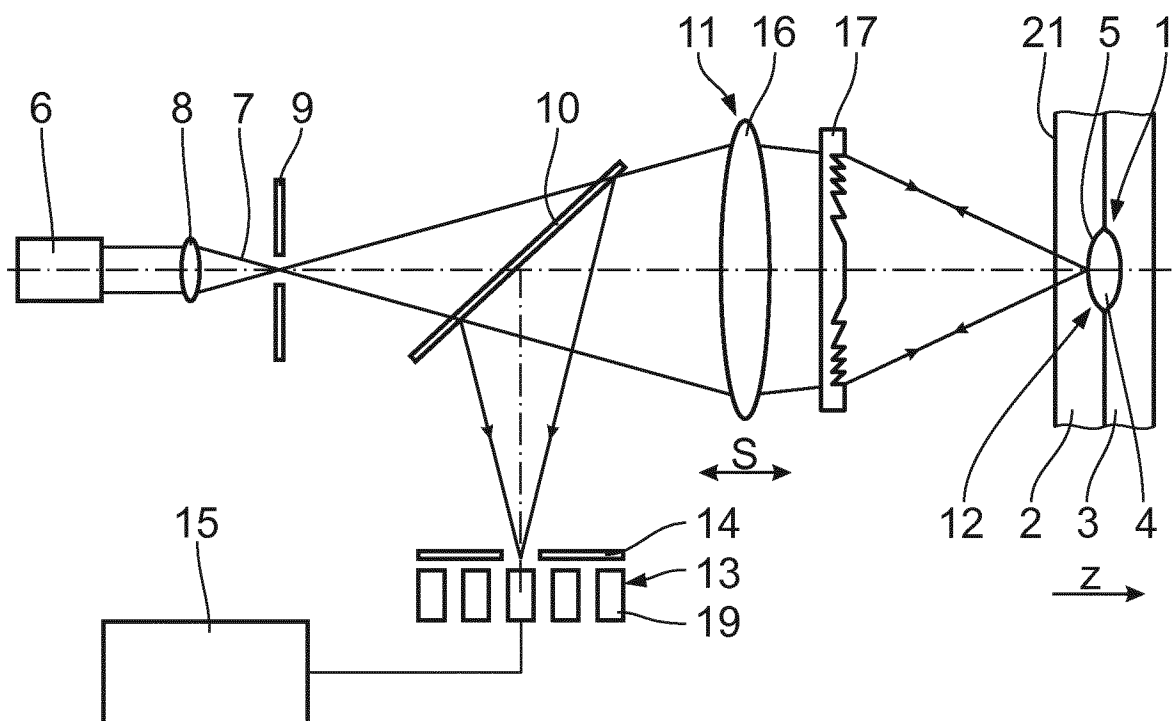
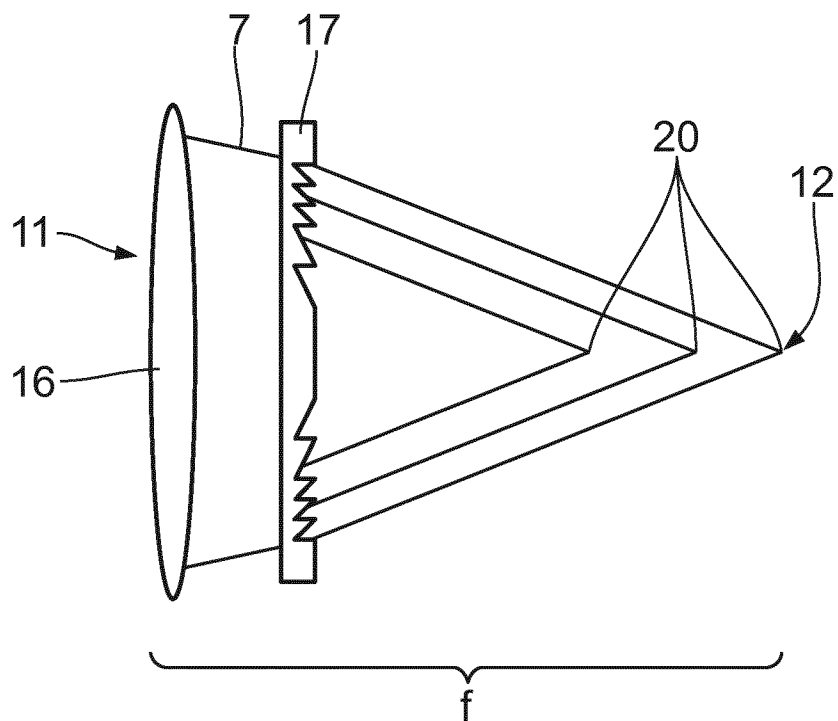


Fig. 2

2/6



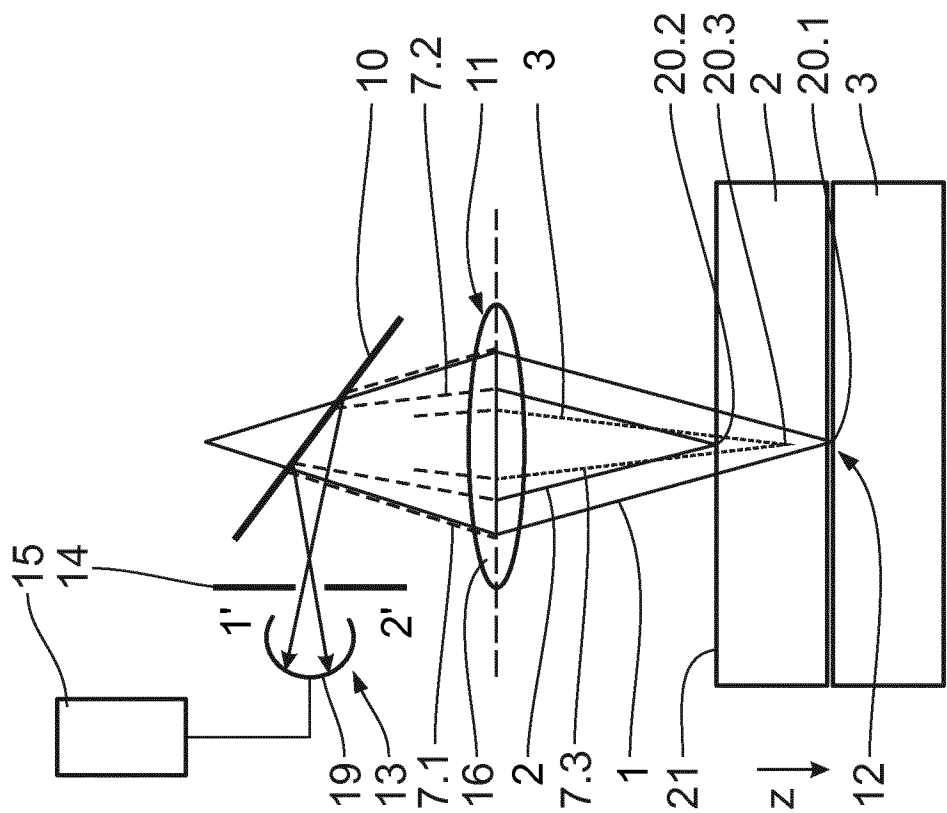


Fig. 5

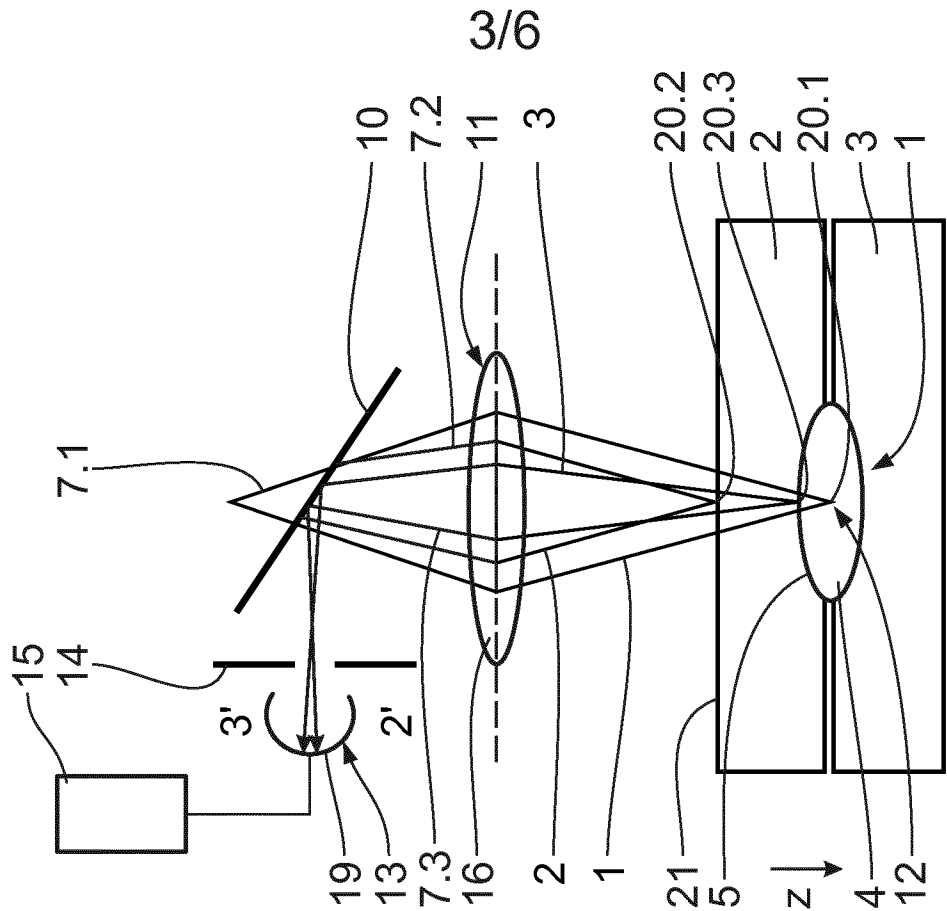


Fig. 6

4/6

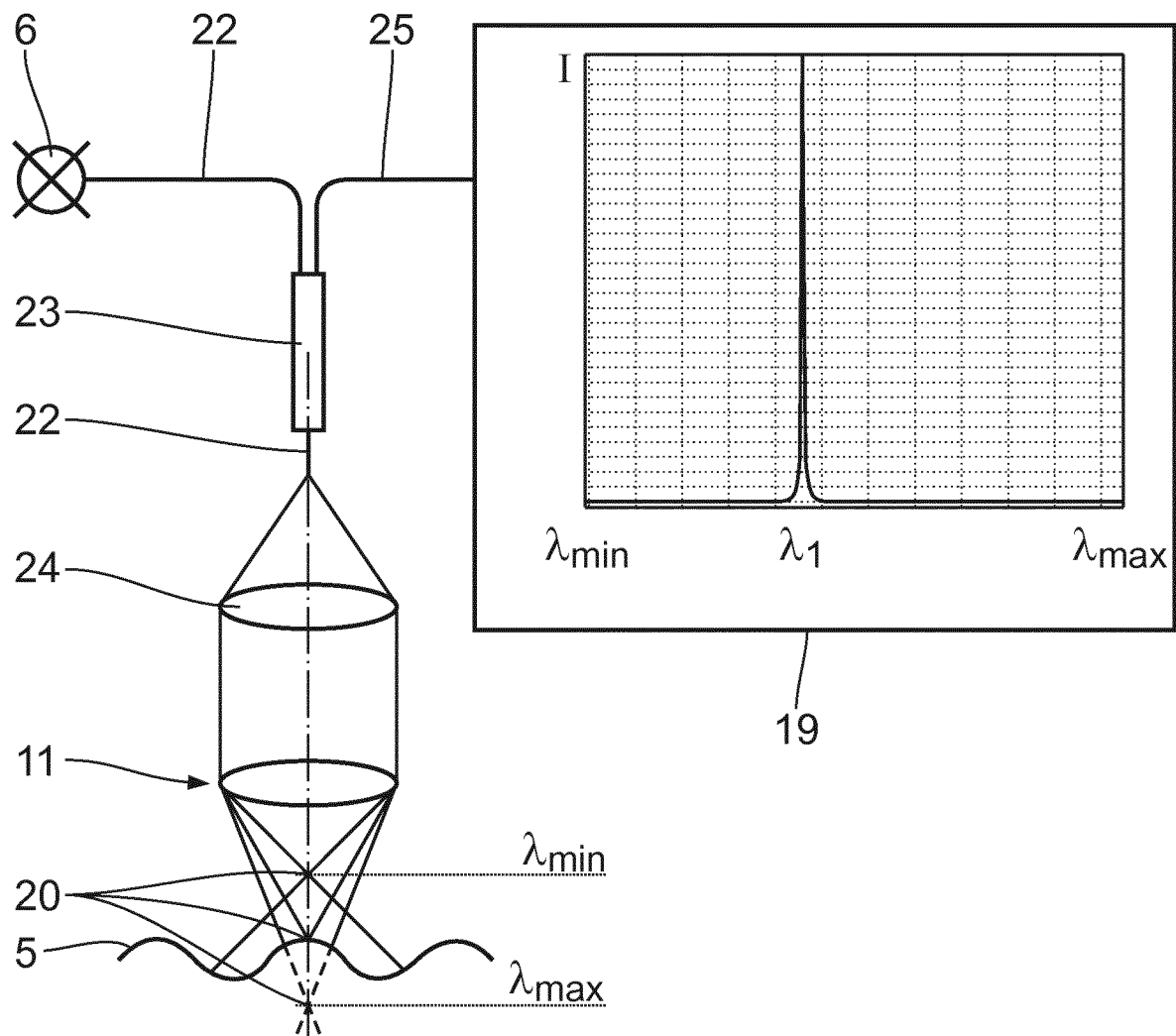


Fig. 7

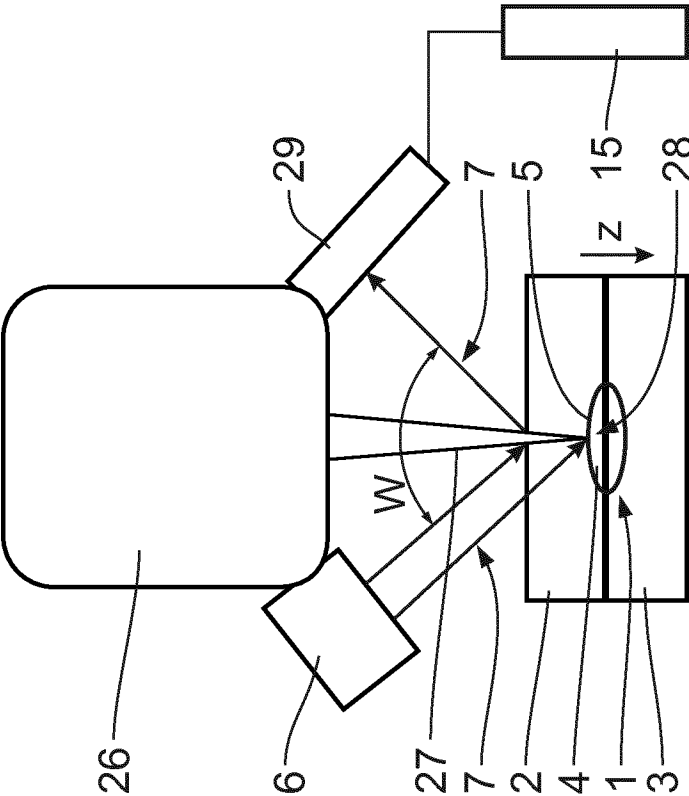


Fig. 9

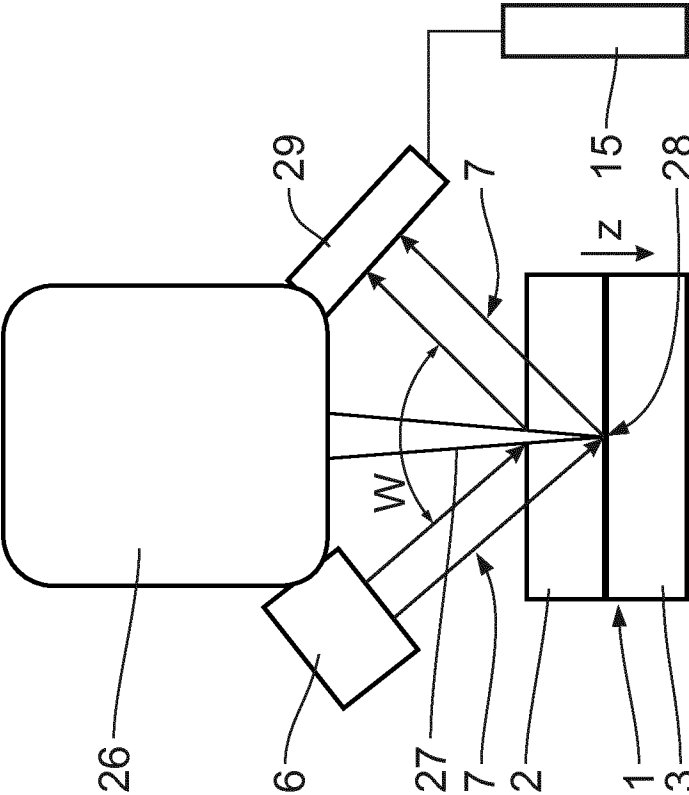


Fig. 8

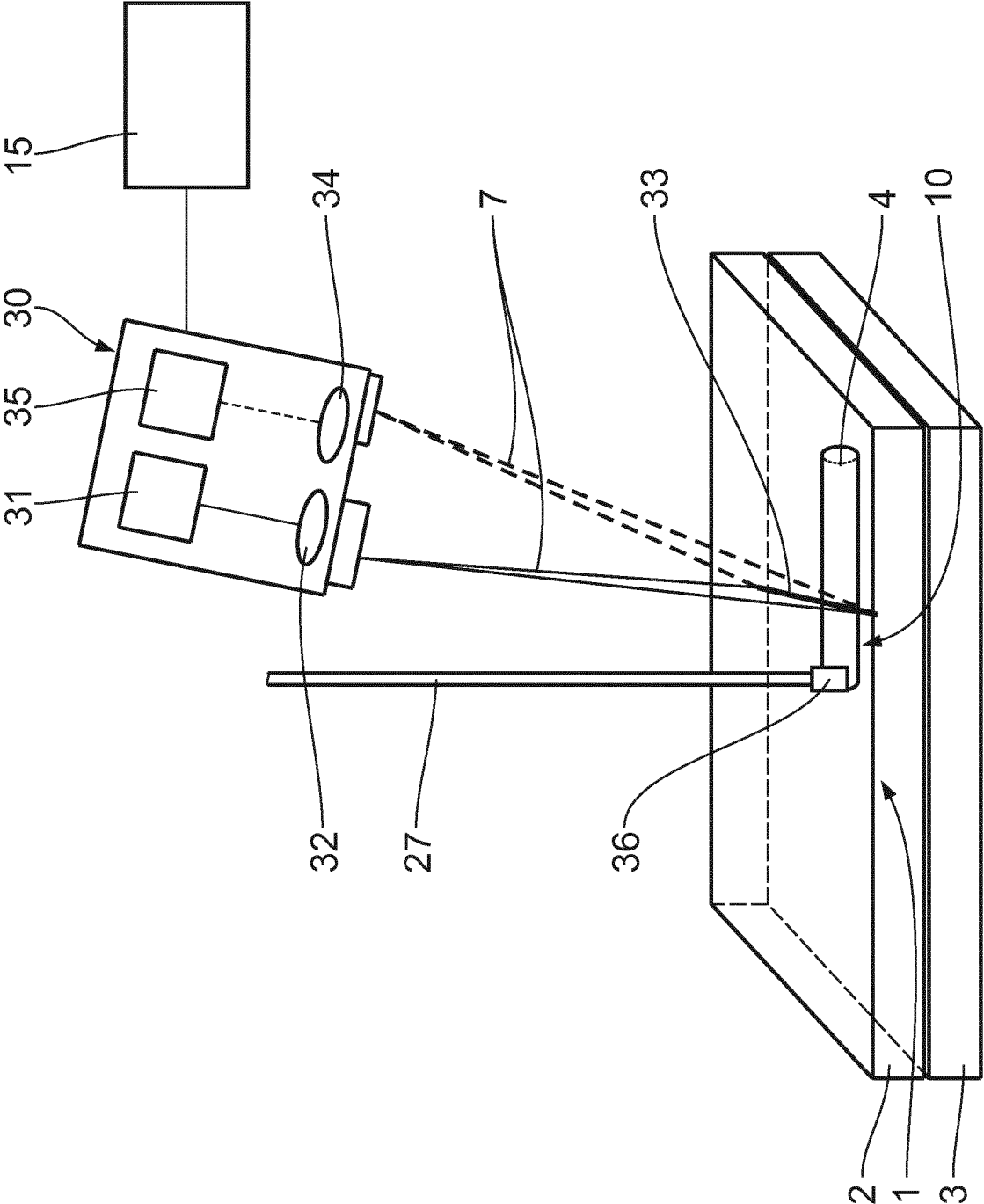


Fig. 10