

(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
20. Juni 2019 (20.06.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/115449 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 26/04 (2014.01) B23K 26/042 (2014.01)
B23K 26/70 (2014.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/084144
- (22) Internationales Anmeldedatum:
10. Dezember 2018 (10.12.2018)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2017 129 729.4
13. Dezember 2017 (13.12.2017) DE
- (71) Anmelder: MESSER CUTTING SYSTEMS GMBH
[DE/DE]; Otto-Hahn-Strasse 2-4, 64823 Gross-Umstadt (DE).
- (72) Erfinder: BAYRAM, Murat Cetin; Alfred-Maul-Strasse 8, 64720 Michelstadt (DE).
- (74) Anwalt: STAUDT, Armin; Sandeldamm 24a, 63450 Hahnau (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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,

(54) Title: METHOD AND ADJUSTMENT UNIT FOR AUTOMATICALLY ADJUSTING A LASER BEAM OF A LASER PROCESSING MACHINE, AND LASER PROCESSING MACHINE COMPRISING THE ADJUSTMENT UNIT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND JUSTIER-EINHEIT ZUR AUTOMATISIERTEN JUSTIERUNG EINES LASERSTRAHLS EINER LASERBEARBEITUNGSMASCHINE, SOWIE LASERBEARBEITUNGSMASCHINE MIT DER JUSTIER-EINHEIT

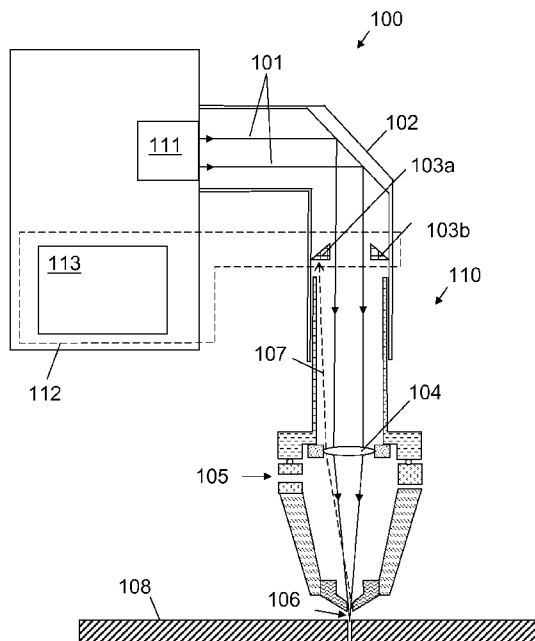


Fig. 1

(57) Abstract: Known methods for automated adjustment of a laser beam of a laser processing machine relative to an outlet opening for the laser beam comprise the method steps of: (a) focusing the laser beam, and (b) setting the position of the laser beam relative to the outlet opening. The aim of the invention is to provide, from this starting point, a method which can be carried out simply and quickly for automated adjustment of a laser beam which also allows adjustment of the laser beam relative to the outlet opening during the operation of the laser processing. This aim is achieved, according to the invention, in that during processing of a workpiece, the radiation intensity of the radiation emitted by the workpiece is detected by at least three optical sensors, and the radiation intensity values detected by the optical sensors during the processing are used for setting the position of the laser beam according to the method step (b).

(57) Zusammenfassung: Bekannte Verfahren zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine relativ zu einer Austrittsöffnung für den Laserstrahl umfassen die Verfahrensschritte: (a) Fokussieren des Laserstrahls, und (b) Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung. Um hiervon ausgehend ein einfach und schnell durchführbares Verfahren zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls anzugeben, das eine Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung auch während des Betriebs der Laserbearbeitungsmaschine ermöglicht, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass während einer Bearbeitung eines Werkstücks die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung mit mindestens drei optischen Sensoren erfasst wird, und die von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte während der Bearbeitung zum Einstellen der Position des Laserstrahls gemäß Verfahrensschritt (b) verwendet werden.



WO 2019/115449 A1

SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Verfahren und Justier-Einheit zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine, sowie Laserbearbeitungsmaschine mit der Justier-Einheit

5

Technischer Hintergrund

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine relativ zu einer Austrittsöffnung für den Laserstrahl, umfassend die Verfahrensschritte:

- 10 (a) Fokussieren des Laserstrahls, und
(b) Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung.

Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Justier-Einheit zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine relativ zu einer Austrittsöffnung.

- 15 Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Laserbearbeitungsmaschine, aufweisend eine Austrittsöffnung für den Laserstrahl, eine Fokussier-Optik zum Fokussieren des Laserstrahls in Richtung der Austrittsöffnung, sowie eine Justier-Einheit zur automatisierten Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung.
- 20 Unter dem Begriff Laserbearbeitungsmaschine wird im Sinne der Erfindung eine Maschine verstanden, mit der ein Werkstück mit einem Laserstrahl bearbeitet werden kann. Laserbearbeitungsmaschinen werden für eine Vielzahl von Bearbeitungsverfahren eingesetzt, insbesondere zum Trennen, Fügen, Schneiden, Schweißen, Abtragen, Umformen oder zum Markieren und Beschriften; sie sind
- 25 für die Bearbeitung von Werkstücken aus unterschiedlichen Werkstoffen einsetzbar, beispielsweise zur Bearbeitung von Werkstücken aus Metall, Kunststoff, Glas, Keramik, Stein oder Holz.

- Unter dem Begriff Austrittsöffnung wird im Sinne der Erfindung ein räumlich begrenzter Durchlass für einen Laserstrahl verstanden, der von einem für den Laserstrahl undurchlässigen Material begrenzt ist. Laserbearbeitungsmaschinen weisen regelmäßig eine Austrittsöffnung für den Laserstrahl auf. Eine Austrittsöffnung einer Laserbearbeitungsmaschine ist ein Teil der Laserbearbeitungsmaschine, aus dem Laserstrahl aus der Laserbearbeitungsmaschine austritt, bevor er auf das Werkstück trifft. Wird der Laserstrahl beispielsweise in einer Umhausung geführt, kann die Austrittsöffnung eine Öffnung in der Umhausung sein. Wird – wie beim Laserstrahlschneiden von metallischen Werkstücken üblich – zur
- 10 Werkstückbearbeitung der Laserstrahl zusammen mit einem Prozessgas über eine Düse auf das Werkstück geleitet, fällt die Austrittsöffnung regelmäßig mit der Düsenöffnung für das Prozessgas zusammen. Die Austrittsöffnung legt dabei eine Austrittsebene fest, die der Laserstrahl schneidet, im Idealfall mit einer punkt- oder kreisförmigen Schnittfläche.
- 15 Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft die Justierung und Einstellung der Position des Laserstrahls und damit die Einstellung der Position der Schnittfläche des Laserstrahls mit der Austrittsebene. Die Justier-Einheit im Sinne der Erfindung dient der Einstellung dieser Position; sie ist als separates Bauteil grundsätzlich in eine bestehende Laserbearbeitungsmaschine nachrüstbar.

20

Stand der Technik

- Werkstücke, insbesondere solche aus Metall, können mit hoher Qualität und Präzision bearbeitet werden, wenn zur Werkstück-Bearbeitung Laserstrahlung eingesetzt wird. Hierfür werden Laserbearbeitungsmaschinen verwendet, die einen Laserstrahl erzeugen, der mittels einer Fokussieroptik fokussiert wird, bevor der
- 25 Laserstrahl aus der Laserbearbeitungsmaschine über eine Austrittsöffnung – beispielsweise über eine Düsenöffnung – austritt und schließlich auf das zu bearbeitende Werkstück auftrifft.

Die Qualität der Bearbeitung wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, beispielsweise von der Fokuslage des Laserstrahls, von der Vorschubgeschwin-

digkeit, mit der der Laserstrahl und das Werkstück relativ zueinander bewegt werden, oder von der Laserleistung. Darüber hinaus hat insbesondere auch die Lage des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung der Laserbearbeitungsmaschine einen großen Einfluss auf die Bearbeitungsqualität. Es hat sich gezeigt, dass besonders gute Ergebnisse in Bezug auf die Bearbeitungsqualität erzielt werden können, wenn der Laserstrahl bei der Bearbeitung möglichst mittig durch die Austrittsöffnung geführt wird.

Im umgekehrten Fall, wenn der Laserstrahl bezogen auf die Austrittsöffnung nicht mittig geführt ist, kann der bearbeitete Bereich des Werkstücks je nach Bearbeitungsrichtung unterschiedliche Qualitäten aufweisen.

Um diese Nachteile zu vermeiden, ist es bekannt, den Laserstrahl vor dem Schneidvorgang vorzujustieren, und zwar so, dass er möglichst mittig durch die Austrittsöffnung geführt ist. Die Vorjustierung des Laserstrahls kann manuell oder automatisiert erfolgen.

Bei einem bekannten, manuellen Verfahren wird ein Klebestreifen an der Austrittsdüse des Laserstrahls befestigt und anschließend kurzzeitig ein Laserstrahl-Puls mit geringer Leistung abgegeben („Düsenschuss“). Hierdurch entsteht im Klebestreifen ein Loch, anhand dessen die Position des Laserstrahls relativ zur Düsenöffnung, also die Lage und Zentrierung des Laserstrahls, ermittelt werden kann. Nach einer entsprechenden Einstellung der Lage des Laserstrahls wird dieser Vorgang so lange wiederholt bis ein akzeptables Ergebnis hinsichtlich der Mittigkeit erzielt wird. Diese Art der Justierung weist allerdings mehrere Nachteile auf: Der Vorgang muss einerseits vor dem Bearbeitungsvorgang durchgeführt werden und ist verhältnismäßig zeitaufwendig. Andererseits ist die Ablesegenauigkeit gering und schließlich können Veränderungen, die während des Betriebs der Laserbearbeitungsmaschine auftreten, nicht zeitnah erkannt und kompensiert werden. Dies führt dazu, dass sich die Bearbeitungsqualität mit zunehmender Betriebsdauer verschlechtern kann.

Um dieses Verfahren zu vereinfachen, insbesondere um die Zuverlässigkeit der Justierung zu erhöhen und den mit der Durchführung des Verfahrens verbunde-

nen Zeitaufwand zu reduzieren, wird in der DE 11 2010 003 743 B4 ein System und ein Verfahren zum automatisierten Justieren der Fokusslage eines Laserstrahls vorgeschlagen. Bei diesem Verfahren wird der Laserbearbeitungskopf vor dem eigentlichen Bearbeitungsvorgang über einer Strahlfalle positioniert. Zur Detektion der Fokusslage sind zwei Sensoren vorgesehen, nämlich ein in der Strahlfalle angeordneter Strahlfalle sensor einerseits und ein innerhalb des Laserbearbeitungskopfs angeordneter Streulichtsensor andererseits. Die Fokusslage wird solange verstellt, bis das Intensitätssignal des Strahlfalle sensors möglichst groß, und das Intensitätssignal des Streulichtsensors gleichzeitig möglichst gering ist.

10 Der Einsatz einer Strahlfalle zur Justierung des Laserstrahls ermöglicht eine gute Vorjustierung des Laserstrahls vor einem Bearbeitungsprozess. Insbesondere bei einer längeren Werkstück-Bearbeitungsdauer hat es sich allerdings gezeigt, dass sich die Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung während der Bearbeitung verändern kann, womit eine Beeinträchtigung der Bearbeitungsqualität

15 einhergehen kann. Selbst, wenn diese Veränderungen zeitnah erkannt werden, ist meist eine Nachjustierung notwendig, für die das Bearbeitungsverfahren unterbrochen werden muss. Ein Abbruch des Bearbeitungsvorgangs geht allerdings mit mehreren Nachteilen einher: Einerseits ist eine Nachjustierung mit einer Strahlfalle zeitaufwendig, da hierfür der Laserbearbeitungskopf zunächst über die Strahlfalle positioniert werden muss, bevor er wieder zum Punkt des Bearbeitungsabbruchs zurückverfahren werden kann. Andererseits muss der Bearbeitungsvorgang nach einer erfolgten Nachjustierung wieder an der Abbruchstelle fortgesetzt werden. Eine möglichst exakte Positionierung des Laserstrahls an der Abbruchstelle ist allerdings aufwendig und oft geht eine Fortsetzung der Bearbeitung da-

20 her mit einer verringerten Bearbeitungsqualität im Abbruchbereich einher.

25

Technische Aufgabe

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein einfach und schnell durchführbares Verfahren zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine anzugeben, das eine Justierung des Laserstrahls rela-

tiv zur Austrittsöffnung auch während des Betriebs der Laserbearbeitungsmaschine ermöglicht.

Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine kompakte und einfach zu fertigende Justier-Einheit zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine anzugeben, die eine einfache und schnelle Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung auch während des Betriebs der Laserbearbeitungsmaschine ermöglicht.

Schließlich liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Laserbearbeitungsmaschine mit der Justier-Einheit anzugeben.

10 Allgemeine Beschreibung der Erfindung

Hinsichtlich des Verfahrens zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine wird die oben genannte Aufgabe ausgehend von einem Verfahren der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass während einer Bearbeitung eines Werkstücks die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung mit mindestens drei optischen Sensoren erfasst wird, und die von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte während der Bearbeitung zum Einstellen der Position des Laserstrahls gemäß Verfahrensschritt (b) verwendet werden.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die grundsätzliche Idee zugrunde, die Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung unter Betriebsbedingungen, also während einer Bearbeitung des Werkstücks durchzuführen (In-Prozess-Justierung), wobei der Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung die während eines Laserbearbeitungsprozesses vom Werkstück emittierte Strahlung zugrunde gelegt wird. Während die zur Bearbeitung des Werkstücks eingesetzte Laserstrahlung schmalbandig ist, umfasst die vom Werkstück selbst emittierte Strahlung Strahlungsanteile mit Wellenlängen in einem relativ breiten Wellenlängenbereich, insbesondere Strahlungsanteile im sichtbaren und nahinfraroten Bereich. Es ist daher relativ einfach möglich, die vom Werkstück selbst emittierte Strahlung von der des Laserstrahls zu unterscheiden. Das erfindungsgemäße

Verfahren nutzt den Effekt, dass die vom Werkstück emittierte Strahlung grundsätzlich ungerichtet, das heißt in alle Raumrichtungen gleichermaßen, emittiert wird, wobei eine gleichmäßig abfallende Strahlungsintensitätsverteilung mit einem Maximum im Bereich des aktuellen Bearbeitungspunkts beobachtet wird. Da das

5 Werkstück eine dem Laserstrahl zugewandte und eine dem Laserstrahl abgewandte Seite aufweist, und an der dem Laserstrahl zugewandten Seite des Werkstücks in der Regel höhere Strahlungsintensitäten der vom Werkstück emittierten Strahlung erfassbar sind, hat es sich als günstig erwiesen, die mindestens drei optischen Sensoren so anzuordnen, dass sie der dem Laserstrahl zugewandten

10 Seite des Werkstücks zugeordnet sind. Die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung und deren Verteilung kann während eines Bearbeitungsvorgangs einfach erfasst werden; sie erlaubt – wie nachfolgend näher erläutert wird – Rückschlüsse einerseits hinsichtlich der aktuellen Lage und Position des Laserstrahls, und andererseits hinsichtlich der vorzunehmenden Positionsän-

15 derungen, um den Laserstrahl optimal in Bezug auf die Mitte der Austrittsöffnung zu justieren. Zu diesem Zweck sind erfindungsgemäß mindestens drei optische Sensoren vorgesehen, mit denen die Strahlungsintensität der vom Werkstück bei der Bearbeitung emittierten Strahlung erfassbar ist. Dadurch, dass erfindungsgemäß mindestens drei optische Sensoren vorgesehen sind, ist eine Justierung des

20 Laserstrahls in zwei Raumrichtungen und damit in der Austrittsebene möglich. Die optischen Sensoren im Sinne der Erfindung sind zur Erfassung von Strahlungsintensitäten ausgelegt. Die Erfassung der Strahlungsintensität kann bei ausgewählten, einzelnen Wellenlängen, aber auch über einen Wellenlängenbereich erfolgen. Dabei hat es sich als günstig erwiesen, wenn die mindestens drei optischen

25 Sensoren zur Erfassung von Strahlungsintensitäten in demselben Wellenlängenbereich oder bei derselben Wellenlänge ausgelegt sind. Vorzugsweise weisen die mindestens drei optischen Sensoren dieselbe Bauart auf.

Im einfachsten Fall sind die Sensoren äquidistant zur Mittenachse der Austrittsöffnung angeordnet, also äquidistant zum Strahlengang eines fiktiven, durch die

30 tatsächliche Mitte der Austrittsöffnung verlaufenden Laserstrahls. Verläuft der Laserstrahl tatsächlich durch die Mitte der Austrittsöffnung, so weichen die von den

optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte der vom Werkstück emittierten Strahlung nicht oder nur unwesentlich voneinander ab; sie sind im Idealfall identisch. Verschiebt sich hingegen die Position des Laserstrahls relativ zur Mitte der Austrittsöffnung, so befinden sich die optischen Sensoren nicht mehr
5 im gleichen Abstand zu dem Punkt des Werkstückes, auf den der Laserstrahl fokussiert ist. Dies hat zur Folge, dass ein näher zum Fokuspunkt des Laserstrahls angeordneter Sensor eine höhere Strahlungsintensität erfasst als ein Sensor, der einen größeren Abstand zum Fokuspunkt des Laserstrahls aufweist. Anhand der von den Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte kann auf die aktuelle Po-
10 sition des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung und deren Mitte geschlossen werden.

Bei einer bevorzugten Modifikation des erfindungsgemäßen Verfahrens ist daher vorgesehen, dass die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung mit mindestens drei optischen Sensoren erfasst wird, die äquidistant zur Mit-
15 tenachse der Austrittsöffnung angeordnet sind, wobei der Laserstrahl dann mittig zur Austrittsöffnung justiert ist, wenn die von den mindestens drei optischen Sensoren jeweils erfassten Strahlungsintensitätswerte höchstens um einen vorgegeben prozentualen Toleranzwert voneinander oder vom Mittelwert der von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte abweichen.

20 Durch eine äquidistante Anordnung der mindestens drei optischen Sensoren wird eine besonders einfache Auswertung der von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte ermöglicht, da in diesem Fall auf einen direkten Vergleich der von den mindestens drei Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte abgestellt werden kann. In der Praxis weichen allerdings auch bei einem
25 Durchgang des Lasers durch die Mitte der Austrittsöffnung die von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitäten innerhalb gewisser Grenzen voneinander ab. Ein Grund für diese Abweichungen sind beispielsweise Messfehler, wie sie grundsätzlich bei jeder Messung auftreten können. Der Laserstrahl wird daher vorzugsweise dann als mittig zur Austrittsöffnung justiert angesehen, wenn
30 die von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte höchstens um einen vorgegebenen prozentualen Toleranzwert voneinander oder vom Mit-

telwert der von den mindestens drei optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte abweichen. Welcher prozentuale Toleranzwert vorzugeben ist, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, beispielsweise von der gewünschten Bearbeitungsgenauigkeit, vom Düsendurchmesser oder von der Laserleistung.

- 5 Alternativ ist es aber auch möglich, die Sensoren beliebig in Bezug auf den Laserstrahl anzuordnen, allerdings ist dann die Position der Sensoren bei der Auswertung der von ihnen erfassten Strahlungsintensitäten zu berücksichtigen, beispielsweise durch eine rechnerische Korrektur. Dies kann beispielsweise über eine Auswerte- oder Korrektur-Einheit erfolgen, an der die von den optischen
- 10 Sensoren ermittelten Strahlungsintensitätswerte als Eingangssignal anliegen.

Die von den mindestens drei optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte werden der Justierung zugrunde gelegt, indem die Einstellung der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung anhand der Strahlungsintensitätswerte erfolgt. Im einfachsten Fall äquidistant angeordneter optischer Sensoren, ist die Justierung beispielsweise dann erreicht, wenn alle optischen Sensoren

15 innerhalb einer vorgegebenen Schwankungsbreite denselben Strahlungsintensitätswert erfassen. In diesem Fall kann der Endpunkt der Justierung ohne Vorgabe eines Soll-Wertes erfolgen. Alternativ ist aber auch die Vorgabe eines Soll-Wertes denkbar, und zwar insbesondere dann, wenn bei der Justierung beispielsweise zusätzlich empirisch ermittelte Korrekturfaktoren berücksichtigt werden sollen. Die Einstellung der Position kann in diesem Fall dadurch erfolgen, dass jeder von einem optischen Sensor aktuell erfasste Strahlungsintensitätswert (Ist-Wert des Sensors) mit dem für den jeweiligen Sensor vorgegebenen Soll-Wert verglichen und auf den jeweiligen Soll-Wert eingestellt wird.

- 25 Die Genauigkeit beziehungsweise die Auflösung der Positionsbestimmung des Laserstrahls und der nachfolgenden Justierung kann erhöht werden, wenn eine größere Anzahl optischer Sensoren eingesetzt wird, also indem vier oder mehr Sensoren vorgesehen werden. Alternativ ist es auch möglich, die Genauigkeit beziehungsweise Auflösung zu erhöhen, indem Gruppen optischer Sensoren unterschiedlicher Bauart eingesetzt werden. Hierbei hat es sich insbesondere als
- 30

günstig erwiesen, wenn während einer Bearbeitung eines Werkstücks die Strahlungsintensität der vom der vom Werkstück emittierten Strahlung gleichzeitig von einer ersten Sensorgruppe mit mindestens drei optischen Sensoren einer ersten Bauart und von einer zweiten Sensorgruppe mit mindestens drei optischen Sensoren einer zweiten Bauart erfasst wird. Die optischen Sensoren der ersten und zweiten Sensorgruppe unterscheiden sich beispielsweise in ihrer Bauart, wenn sie zur Erfassung unterschiedlicher Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche der vom Werkstück emittierten Strahlung ausgelegt sind.

Dadurch, dass das erfindungsgemäße Justier-Verfahren auch während des Betriebs einer Laserbearbeitungsmaschine durchführbar ist (*In-Prozess-Justierung*), ergeben sich mehrere Vorteile: Der Vorteil einer In-Prozess-Justierung liegt einerseits darin, dass durch die auch während einer Bearbeitung mögliche Justierung eine gleichbleibende Bearbeitungsqualität auch bei einer längeren Bearbeitungsdauer erreicht werden kann und andererseits die Bearbeitungsdauer insgesamt verringert werden kann, da ein aufwendiges Nachjustieren, beispielsweise unter Einsatz einer Strahlfalle, sowie eine möglichst exakte Positionierung des Laserstrahls bei Wiederaufnahme der Bearbeitung am Ort der Bearbeitungunterbrechung entfallen kann. Dies trägt zu einer effizienten und damit kostengünstigen Bearbeitung bei. Gleichzeitig ist das erfindungsgemäße Verfahren auch zur Überwachung des Laserbearbeitungsprozesses einsetzbar, da auch Abweichungen von vorgegebenen Strahlungsintensitätswerten erfasst werden können. Auf einen zusätzlichen Sensor zur Prozessüberwachung kann daher verzichtet werden.

Vorteilhafterweise kann das Verfahren zum Trennen oder Markieren metallischer Werkstücke verwendet werden, da das erfindungsgemäße Verfahren mit einer hohen Bearbeitungsgenauigkeit einhergeht. Insbesondere beim Trennen metallischer Werkstücke gibt es das Problem, dass es bei mangelhafter Zentrierung des Laserstrahls bezogen auf die Austrittsöffnung im Bereich der Schnittflächen zu Schnittflächenverletzungen oder zur Gratbildung kommen kann. Im schlimmsten Fall grober Abweichungen der Zentrierung ist es sogar möglich, dass der Schnitt

aufgrund der mangelnden Zentrierung des Laserstrahls sogar während des Schneidvorgangs abreißt.

Es hat sich als günstig erwiesen, wenn zum Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung gemäß Verfahrensschritt b) die von den optischen Sensoren im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm erfassten Strahlungsintensitätswerte herangezogen werden.

Zur Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung können zwar grundsätzlich optische Sensoren eingesetzt werden, die über einen mehr oder minder großen Wellenlängenbereich sensitiv sind. Die Justiergenauigkeit lässt sich allerdings erhöhen, wenn zum Einstellen der Position des Laserstrahls nur bestimmte Strahlungsintensitätswerte herangezogen werden, die für einen bestimmten Wellenlängenbereich oder die bei einer bestimmten Wellenlänge ermittelt wurden. Welcher Wellenlängenbereich beziehungsweise welche Wellenlänge am geeignetsten erscheint, ist grundsätzlich unabhängig von der Laser-Wellenlänge und hängt im Wesentlichen davon ab, aus welchem Material das Werkstück gefertigt ist. Bei der Bearbeitung von metallischen Werkstücken, insbesondere aus Stahl, Edelstahl, Aluminium, Messing oder Kupfer, werden gute Ergebnisse hinsichtlich der Justiergenauigkeit erzielt, wenn zum Einstellen der Position des Laserstrahls die im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm ermittelten Strahlungsintensitätswerte herangezogen werden. Als besonders geeignet hat sich der Wellenlängenbereich von 900 nm bis 1250 nm erwiesen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass entweder spezielle optische Sensoren verwendet werden, die nur in einem bestimmten Wellenlängenbereich, vorzugsweise dem oben genannten Wellenlängenbereich, sensitiv sind, oder dass im Strahlengang vor einem über einen größeren Wellenlängenbereich sensitiven Sensor ein Filter angeordnet ist, das nur für Strahlung bestimmter Wellenlängen, vorzugsweise nur für Wellenlängen in den obengenannten Wellenlängenbereichen, durchlässig ist.

Es sich als besonders günstig erwiesen, wenn zum Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung gemäß Verfahrensschritt b) die von den optischen Sensoren im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.000 nm und im

Wellenlängenbereich von 1.100 nm bis 1.400 nm erfassten Strahlungsintensitätswerte herangezogen werden. Dadurch, dass der Wellenlängenbereich von 1.000 nm bis 1.100 nm nicht erfasst wird, ist das Verfahren insbesondere für die Justierung eines Ytterbium-Faserlasers mit einer Emissionswellenlänge von 1.060 nm geeignet. Die Erfassung zweier separater Wellenlängenbereiche kann sowohl mit separaten Sensoren als auch mit einem einzigen Sensor erfolgen, beispielsweise indem dem einzigen Sensor ein Filter vorgeordnet wird, das optische Strahlung mit Wellenlängen im Wellenlängenbereich von 1.000 nm bis 1.100 nm absorbiert.

- 10 Vorteilhafterweise wird von den mindestens drei optischen Sensoren die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung nach deren Durchtritt durch die Austrittsöffnung erfasst.

Sind die optischen Sensoren vom Werkstück aus gesehen hinter der Austrittsöffnung angeordnet, wird von den optischen Sensoren nur ein Teil der vom Werkstück emittierten Strahlung erfasst, nämlich der Teil, der in Richtung der Austrittsöffnung emittiert wird. Dies führt dazu, dass in erster Linie Strahlungsanteile erfasst werden, die von dem Werkstück in einem gewissen Nahbereich um den Bearbeitungspunkt des Laserstrahls emittiert werden. Da die Unterschiede in den Strahlungsintensitäten im Nahbereich um den Bearbeitungspunkt des Laserstrahls besonders stark ausgeprägt sind, trägt die zuvor beschriebene Anordnung der optischen Sensoren dazu bei, dass die Genauigkeit der Positionserfassung verbessert und damit einhergehend die Justiergenauigkeit erhöht wird. Die Austrittsöffnung wirkt wie eine Blendenöffnung, so dass der Lichtdurchlass auf die optischen Sensoren verringert wird und nur ein begrenzter Strahlungsanteil der vom Werkstück emittierten Strahlung von den optischen Sensoren erfasst und bei der Justierung des Laserstrahls berücksichtigt werden muss. Dies eröffnet Möglichkeiten in zweierlei Hinsicht: Einerseits kann durch eine geeignete Wahl der Austrittsöffnung und deren Größe der von den optischen Sensoren erfassbare Strahlungsanteil der vom Werkstück emittierten Strahlung an die physikalischen Eigenschaften der optischen Sensoren angepasst werden, andererseits wird

15
20
25
30

durch die Begrenzung des Strahlungsanteils durch die Austrittsöffnung auch der Einsatz kostengünstiger Sensoren ermöglicht.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahren wird zur Vorjustierung des Laserstrahls ein Pilotstrahl verwendet, wobei die vom Werkstück reflektierte Strahlung des Pilotstrahls von den mindestens drei optischen Sensoren erfasst wird, und die von den optischen Sensoren erfassten Intensitätswerte der reflektierten Strahlung zum Voreinstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung verwendet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur automatisierten Laserstrahl-Justierung betrifft in erster Linie die In-Prozess-Justierung des Laserstrahls. Allerdings ist es auch beim Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens vorteilhaft, wenn vor der Werkstückbearbeitung zunächst eine Vorjustierung des Laserstrahls durchgeführt wird. Dies hat den Vorteil, dass unmittelbar mit einer Bearbeitung begonnen werden kann. Hinsichtlich der Vorjustierung kann entweder auf bekannte Verfahren zurückgegriffen werden, wie sie beispielsweise in der DE 11 2010 003 743 B4 beschrieben sind, oder, wenn das zu bearbeitende Werkstück eine reflektierende Oberfläche hat, kann die Vorjustierung alternativ mit einem Pilotstrahl und den bereits vorhandenen mindestens drei optischen Sensoren durchgeführt werden. Unter einer reflektierenden Oberfläche wird eine Oberfläche verstanden, deren Oberflächenrauheit (mittlere Rauheit R_a) geringer ist als Wellenlänge des Pilotstrahls. Der Einsatz des Pilotstrahls zur Vorjustierung hat den Vorteil, dass die erfindungsgemäß ohnehin vorgesehenen optischen Sensoren auch zur Vorjustierung genutzt werden können, sodass ein einfaches und kostengünstig durchzuführendes Verfahren erhalten wird, das gleichzeitig mit einem geringen apparativen Aufwand einhergeht.

Unter einem Pilotstrahl wird im Sinne der Erfindung ein Laserstrahl mit geringer Energie, vorzugsweise unterhalb von 5 mW, verstanden, der so geführt wird, dass er anstelle des Laserstrahls durch die Austrittsöffnung auf das Werkstück fokussiert wird. Besonders gute Ergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit der Vorjustierung werden erzielt, wenn der Laserstrahl und Pilotstrahl zumindest teilweise mit-

tels derselben Optik auf das Werkstück fokussiert werden. Die Wellenlänge des Pilotstrahls ist so gewählt, dass sie von den bereits vorhandenen mindestens drei optischen Sensoren erfasst werden kann. Vorzugsweise hat der Pilotstrahl eine Wellenlänge im sichtbaren Spektralbereich, insbesondere im Wellenlängenbereich von 635 nm bis 750 nm. Da die Energie des Pilotstrahls zu gering ist, um das Werkstück zu bearbeiten, wird der Pilotstrahl am Werkstück reflektiert, wobei die reflektierte Strahlung von den optischen Sensoren erfasst wird. Die von den optischen Sensoren erfassten Intensitätswerte der reflektierten Strahlung werden analog zu den oben zur In-Prozess-Justierung beschriebenen Strahlungsintensitätswerten zum Erfassen und Einstellen der Position des Pilotstrahls und damit auch des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung verwendet.

Darüber hinaus ist es auch denkbar, dass der Pilotstrahl parallel zum Strahlengang des Laserstrahls durch eine separate Pilotstrahlöffnung geführt wird. In diesem Fall stimmt allerdings der Punkt, an dem der Pilotstrahl auf das Werkstück trifft, nicht zwangsläufig genau mit dem Punkt überein, an dem der Laserstrahl auf das Werkstück trifft. Um dennoch eine Vorjustierung durchzuführen zu können, müssten daher entweder separate optische Sensoren für den Pilotstrahl oder eine rechnerische Korrektur der mittels des Pilotstrahls ermittelten Ergebnisse vorgesehen werden.

Hinsichtlich der Justier-Einheit wird die oben genannte technische Aufgabe ausgehend von einer Justier-Einheit der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Justier-Einheit mindestens drei optische Sensoren zur Erfassung der während einer Bearbeitung eines Werkstücks vom Werkstück emittierten Strahlung aufweist, wobei die Justier-Einheit derart ausgestaltet ist, dass die von den mindestens drei optischen Sensoren während der Bearbeitung erfassten Strahlungsintensitäten von der Justier-Einheit beim Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung berücksichtigt wird.

Die erfindungsgemäße Justier-Einheit ist zur In-Prozess-Justierung des Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine einsetzbar und weist mindestens drei optische Sensoren auf, mit denen die während eines Laserbearbeitungsprozesses

ses vom Werkstück emittierte Strahlung, insbesondere deren Intensität, erfasst werden kann. Wie bereits oben erläutert, erlauben die von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitäten Rückschlüsse einerseits hinsichtlich der aktuellen Lage und Position des Laserstrahls relativ zu einer Austrittsöffnung und
5 andererseits hinsichtlich etwaiger Positionsänderungen, um den Laserstrahl optimal in Bezug auf die Mitte der Austrittsöffnung zu justieren. Die Erfassung der Strahlungsintensität kann bei ausgewählten, einzelnen Wellenlängen, aber auch über einen Wellenlängenbereich erfolgen. Dabei hat es sich als günstig erwiesen, wenn die mindestens drei optischen Sensoren zur Erfassung Strahlungsintensität
10 in demselben Wellenlängenbereich oder bei derselben Wellenlänge ausgelegt sind. Vorzugsweise weisen die mindestens drei optischen Sensoren dieselbe Bauart auf.

Weiterhin ist die Justier-Einheit so ausgestaltet, dass sie die von den mindestens drei optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte bei der Justierung
15 eines Laserstrahls berücksichtigt. Hierzu weist die Justier-Einheit vorzugsweise eine Auswerte-Einheit mit einem Rechner auf, an der die von den optischen Sensoren ermittelten Strahlungsintensitäten als Eingangssignal anliegen und die daraus ein Ausgangssignal errechnet und ausgibt, anhand dessen die die Einstellung der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung erfolgen kann.

20 Es hat sich als günstig erwiesen, wenn die Auswerte-Einheit derart ausgelegt ist, dass anhand der von den Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte zunächst die aktuelle Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung und deren Mitte ermittelt werden kann. Bei Vorgabe von Ober- und Untergrenzen für die Position des Laserstrahls kann so mittels der optischen Sensoren zunächst der
25 Bearbeitungsprozess überwacht werden. Werden die Ober- und/oder Untergrenzen über- bzw. unterschritten, können von der Auswerte-Einheit notwendige Positionsänderungen errechnet werden, um die Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung zu justieren.

Die optischen Sensoren sind in der Justier-Einheit vorzugsweise derart angeordnet,
30 net, dass die Justier-Einheit in eine Laserbearbeitungsmaschine einbaubar ist,

und zwar so, dass die optischen Sensoren äquidistant zur Mittenachse der Austrittsöffnung angeordnet sind. Alternativ ist es aber auch möglich, dass die Sensoren in der Justier-Einheit beliebig angeordnet sind, wenn die Justier-Einheit so ausgestaltet ist, dass die tatsächliche Position der Sensoren zu dem zu justierenden Laserstrahl ermittelbar und von der Justier-Einheit bei der Auswertung der von ihnen erfassten Strahlungsintensitäten berücksichtigbar ist, beispielsweise durch eine rechnerische Korrektur mittels der Auswerte-Einheit.

Die Genauigkeit beziehungsweise die Auflösung der Positionsbestimmung des Laserstrahls und der nachfolgenden Justierung kann erhöht werden, wenn eine größere Anzahl optischer Sensoren vorgesehen wird. Sind mindestens drei optische Sensoren vorgesehen, ist eine Justierung in zwei Raumrichtungen und damit in der Austrittsebene möglich. Die Genauigkeit beziehungsweise Auflösung der Positionsbestimmung und Justierung kann weiter erhöht werden, indem vier oder mehr Sensoren vorgesehen werden. Alternativ ist es auch möglich, die Genauigkeit beziehungsweise Auflösung zu erhöhen, indem Gruppen optischer Sensoren unterschiedlicher Bauart eingesetzt werden. Hierbei hat es sich insbesondere als günstig erwiesen, wenn die Justier-Einheit zur Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung eine erste Sensorgruppe mit mindestens drei optischen Sensoren einer ersten Bauart und eine zweite Sensorgruppe mit mindestens drei optischen Sensoren einer zweiten Bauart aufweist, wobei die Justier-Einheit derart ausgestaltet ist, dass sie die von der ersten Sensorgruppe erfassten Strahlungsintensitätswerte und/oder die von der zweiten Sensorgruppe erfassten Strahlungsintensitätswerte zum Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung berücksichtigt. Die Berücksichtigung der Strahlungsintensitätswerte von zwei Sensorgruppen trägt zu einer hohen Justiergenauigkeit bei. Die optischen Sensoren der ersten und zweiten Sensorgruppe unterscheiden sich in ihrer Bauart beispielsweise dann, wenn sie zur Erfassung unterschiedlicher Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche der vom Werkstück emittierten Strahlung ausgelegt sind.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die mindestens drei optischen Sensoren zur Erfassung von optischer Strahlung im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts und/oder nahinfraroter Strahlung ausgelegt sind.

Es hat sich gezeigt, dass eine gute Justiergenauigkeit erreicht werden kann,
5 wenn die optischen Sensoren zur Erfassung von optischer Strahlung im Wellenlängenbereich des sichtbaren und nahinfraroten Lichts ausgelegt sind. Strahlung im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts oder solche mit Wellenlängen im Nahinfrarot-Bereich wird von vielen Werkstück-Materialien während ihrer Bearbeitung mit einem Laserstrahl emittiert. Darüber hinaus ist Strahlung in diesem Wellenlängenbereich einfach von der Laserstrahl-Emission vieler häufig verwendeter
10 Laserstrahlquellen unterscheidbar. Vorzugsweise sind die mindestens drei optischen Sensoren jeweils in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm sensitiv.

Vorteilhafterweise sind mindestens fünf optische Sensoren zur Erfassung der
15 während einer Bearbeitung eines Werkstücks vom Werkstück emittierten Strahlung vorgesehen.

Sind mehrere optische Sensoren zur Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung vorgesehen, so unterscheiden sich die Sensoren in ihrer Lage bezogen auf die Vorschubrichtung. Sind beispielsweise vier optische Sensoren jeweils um
20 90° versetzt zueinander um die Mittelachse der Austrittsöffnung angeordnet, so kann grundsätzlich zwischen einem dem Bearbeitungsprozess in Vorschubrichtung vorangeführten optischen Sensor, zwei seitlich angeordneten optischen Sensoren und einem dem Bearbeitungsprozess nachgeführten optischen Sensor unterschieden werden. Es hat sich nun gezeigt, dass bei Vorschubgeschwindigkeiten von mehr als 800 mm/min insbesondere ein der Vorschubrichtung nachgeführter Sensor ein – wenn auch meist geringfügig – höheres Signal erfasst als ein in Vorschubrichtung gesehen vorangeführter Sensor oder die beiden seitlich angeordneten Sensoren. Ein vom nachgeführten optischen Sensor erfasster, zu hoher Strahlungsintensitätswert kann allerdings zu einer Fehljustierung des Laserstrahls bezogen auf die Austrittsöffnung beitragen. Sind mindestens fünf optische
30

Sensoren vorgesehen, kann bei Vorschubgeschwindigkeiten von mehr als 800 mm/min bei der Auswertung das Signal des in Vorschubrichtung gesehen nachgeführten optischen Sensors unberücksichtigt bleiben, ohne dass hierdurch eine Beeinträchtigung der Justiergenauigkeit Kauf genommen werden muss, da zur
5 Justierung weiterhin vier Sensoren zur Verfügung stehen.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Justier-Einheit ist im Strahlengang vor den mindestens drei optischen Sensoren ein optisches Filter angeordnet, das die Wellenlänge des Laserstrahls herausfiltert.

Ein optisches Filter, das auf einfallende optische Strahlung nach der Wellenlänge
10 selektiert, in dem es die Wellenlänge des Bearbeitungs-Laserstrahls herausfiltert, trägt dazu bei, dass Strahlungsanteile, die bei der Justierung des Laserstrahls nicht benötigt werden und sogar stören können, möglichst effektiv eliminiert werden. Dies trägt zur Erzielung einer hohen Justiergenauigkeit bei.

In diesem Zusammenhang hat es sich als günstig erwiesen, wenn die optischen
15 Sensoren im Strahlengang nach einem teildurchlässigen Spiegel angeordnet sind, auf den das optische Filter aufgebracht ist.

Ein teildurchlässiger Spiegel ist ein Spiegel, der für einen Teil der auf ihn einfallenden optischen Strahlung durchlässig ist und der den anderen Teil reflektiert. Der Einsatz eines teildurchlässigen Spiegels hat Vorteile insbesondere dann,
20 wenn der optische Sensor dem teildurchlässigen Spiegel nachgeordnet ist, so dass der Anteil der auf den optischen Sensor auftreffenden Strahlung reduziert wird. Ist der optische Sensor hinter einem teildurchlässigen Spiegel angebracht, kann das optische Filter einfach auf den teildurchlässigen Spiegel aufgebracht werden. Ein teildurchlässiger Spiegel mit einer darauf aufgetragenen Beschichtung ist einfach und kostengünstig zu fertigen. Darüber hinaus benötigt ein beschichteter teildurchlässiger Spiegel nur einen geringen Bauraum und trägt so zu
25 einer kompakten Justier-Einheit bei.

Dabei hat es sich bewährt, wenn die optischen Sensoren Photodioden oder CCD-Chips sind, und wenn auf die Photodioden beziehungsweise die CCD-Chips jeweils ein optisches Filter als Beschichtung aufgebracht ist.

Das optische Filter kann unmittelbar auf die optischen Sensoren aufgebracht
5 werden, beispielsweise auf eine Photodiode oder einen CCD-Chip. Eine beschichtete Photodiode oder ein beschichteter CCD-Chip sind einfach und kostengünstig zu fertigen; sie benötigen darüber hinaus kaum mehr Bauraum als ihre unbeschichtete Ausführungsform.

Hinsichtlich der Laserbearbeitungsmaschine wird die oben genannte technische
10 Aufgabe ausgehend von einer Laserbearbeitungsmaschine der eingangs genannten Gattung erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass eine Justier-Einheit – wie sie zuvor beschrieben ist – zur automatisierten Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung vorgesehen ist.

Die erfindungsgemäße Laserbearbeitungsmaschine ist zur In-Prozess-Justierung
15 des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung ausgelegt. Sie ist insbesondere zum Schneiden und Markieren von Werkstücken aus Metall einsetzbar. Die Laserbearbeitungsmaschine weist eine Justier-Einheit auf, die während einer Bearbeitung die Intensität der vom Werkstück emittierten Strahlung erfasst. Anhand der erfassten Strahlungsintensitäten ist eine Bestimmung der aktuellen Lage und Position
20 des Laserstrahls sowie von Positionsänderungen möglich, die vorgenommen werden müssen, um den Laserstrahl optimal in Bezug auf die Mitte der Austrittsöffnung zu justieren. Bezüglich der Justier-Einheit und deren Ausgestaltung wird auf die obigen Ausführungen verwiesen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Austrittsöffnung eine Öffnungsweite
25 und der Laserstrahl in der Ebene der Austrittsöffnung gesehen einen maximalen Laserstrahl-Durchmesser aufweist, und wenn das Verhältnis des maximalen Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite weniger als 0,7 beträgt, vorzugsweise im Bereich zwischen 0,5 und 0,25 liegt.

Das Verhältnis des Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite der Austrittsöffnung hat Einfluss auf die Justiergenauigkeit. Dabei gilt: Je größer die Öffnungsweite, umso mehr Strahlung kann durch die Austrittsöffnung gelangen und nachfolgend erfasst werden, das heißt umso größer sind die erfassten Strahlungsintensitätswerte. Da der Laserstrahl in der Austrittsebene in Abhängigkeit von der Fokuslage unterschiedliche Durchmesser aufweisen kann, wird nachfolgend auf den Durchmesser abgestellt, den der Laserstrahl in der Austrittsebene maximal einnehmen kann. Dieser Durchmesser wird hier als maximaler Laserstrahl-Durchmesser bezeichnet. Bei einem Verhältnis des maximalen Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite von weniger als 0,7 stehen mindestens 50 % der Fläche der Austrittsebene für die Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung zur Verfügung. Vorzugsweise beträgt das Verhältnis des maximalen Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite weniger als 0,5. Beträgt das Verhältnis des maximalen Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite weniger als 0,5, stehen mehr als 75% der Fläche der Austrittsebene für die Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung zur Verfügung. Das erfasste Signal ist ein intensives Strahlungsintensitätssignal, das zu einer möglichst genauen Justierung beiträgt. Beträgt das Verhältnis des maximalen Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite weniger als 0,25, stehen mehr als 93% der Fläche der Austrittsebene für die Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung zur Verfügung. Eine weitere Verringerung des Verhältnisses von maximalem Laserstrahl-Durchmesser zur Öffnungsweite vermag daher kaum noch zu einer Verbesserung der Justiergenauigkeit beizutragen.

Ausführungsbeispiel

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher beschrieben. Dabei zeigt in schematischer Darstellung:

Figur 1 eine Ausführungsform eines über einer Werkstückoberfläche positionierten Laserbearbeitungskopfs einer erfindungsgemäßen Laserschneidmaschine mit einer Justier-Einheit im Längsschnitt,

- Figur 2** eine über einer Werkstückoberfläche positionierte Schneiddüse einer erfindungsgemäßen Laserschneidmaschine, sowie den Strahlengang der Laserstrahlung und der von dem Werkstück emittierten Strahlung, wenn der Laserstrahl relativ zur Austrittsöffnung nicht-
- 5 zentriert verläuft,
- Figur 3** die über der Werkstückoberfläche positionierte Schneiddüse gemäß Figur 2 und den Strahlengang der Laserstrahlung und der von dem Werkstück emittierten Strahlung bei einem relativ zur Austrittsöffnung zentrierten Laserstrahl,
- 10 **Figur 4** eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Justier-Einheit mit zwölf Sensoren, und
- Figur 5** eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Justier-Einheit mit fünf Sensoren.

Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Ausführungsform einer Laser-

15 schneidmaschine, der insgesamt die Bezugsziffer 100 zugeordnet ist. Die Laserschneidmaschine 100 ist zum Schneiden eines metallischen Werkstücks 108 mit einer Dicke bis 25 mm geeignet und umfasst eine Laserstrahlquelle 111 zur Erzeugung eines Laserstrahls 101, einen Laserbearbeitungskopf 110 mit einem Prozessgaseinlass 105 und einer Fokussier-Optik 104 zum Fokussieren des La-

20 serstrahls 101 in Richtung der Schneiddüsen-Austrittsöffnung 106 beziehungsweise in Richtung des Werkstücks 108, sowie eine Justier-Einheit 112, die eine automatisierte Justierung des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 ermöglicht.

Die Laserstrahlquelle 111 ist ein CO₂-Laser; die Wellenlänge des von der Laser-

25 strahlquelle 111 erzeugten Laserstrahls 101 beträgt 10,6 µm. Zur Umlenkung des Laserstrahls 101 in Richtung des Werkstücks 108 ist ein Spiegel 102 vorgesehen. Der Laserstrahl 101 wird schließlich von der Fokussier-Einheit 104 so fokussiert, dass der Durchmesser des Laserstrahls 101 in der Ebene der Austrittsöffnung 106 gesehen maximal 2 mm beträgt. Die Austrittsöffnung 106 hat eine Öffnungs-

weite von 3 mm. Das Verhältnis des maximalen Durchmessers des Laserstrahls 101 in der Ebene der Austrittsöffnung 106 zur Öffnungsweite beträgt 0,67 Justier-Einheit 112 umfasst drei optische Sensoren 103a, 103b in Form von Photodioden, die zur Erfassung von Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 5 1.250 nm ausgelegt sind (In Figur 1 ist einer der drei optischen Sensoren nicht dargestellt). Auf die beiden optischen Sensoren 103a, 103b ist eine als Filter wirkende Beschichtung aufgebracht (nicht dargestellt), die Strahlung im Wellenlängenbereich des von der Laserstrahlquelle 111 erzeugten Laserstrahls 101 absorbiert, für Strahlung im oben genannten Wellenlängenbereich von 800 nm bis 10 1.250 nm aber durchlässig ist. Die optischen Sensoren 103a, 103b sind zur Erfassung von Strahlungsintensitäten ausgelegt.

Bei der Bearbeitung des Werkstücks 108 mit dem Laserstrahl 101 kommt es lokal zu einem Energieeintrag in das Werkstück 108, wodurch das Werkstück 108 selbst Strahlung 107 emittiert. Das Spektrum der vom Werkstück 108 emittierten 15 Strahlung 107 hängt in erster Linie davon ab, aus welchem Material das Werkstück 108 gefertigt ist. Werkstücke aus Metall emittieren in der Regel Strahlung im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm. Die beiden optischen Sensoren 103a, 103b sind parallel zum Strahlengang des Laserstrahls 101 und äquidistant zu einer durch die Mitte der Austrittsöffnung 106 verlaufenden Mittenachse 20 derart angeordnet, dass sie die bei einer Bearbeitung vom Werkstück 108 emittierte Strahlung 107 erfassen, sofern diese durch die Austrittsöffnung 106 der Schneiddüse hindurchtritt. An der Auswerte-Einheit 113 der Justier-Einheit 112 liegen die von den optischen Sensoren 103a, 103b erfassten Strahlungsintensitäten als Eingangssignal an. Die Auswerte-Einheit 113 weist eine Rechen-Einheit 25 (nicht dargestellt) auf, die aus den Eingangssignalen die Lage des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 berechnet. Darüber hinaus errechnet die Rechen-Einheit aus den Eingangssignalen, wie die Position des Laserstrahls 101 verändert werden muss, so dass der Laserstrahl 101 durch die Mitte der Ausgangsöffnung verläuft. Basierend hierauf gibt die Auswerte-Einheit 112 ein Ausgangssignal an einen Aktor (nicht dargestellt) aus, der die errechneten Positionsänderungen umsetzt. 30

Bei einer alternativen Ausführungsform der Laserschneidmaschine 100 (nicht dargestellt) ist der Spiegel 102 ein teildurchlässiger Spiegel, auf den eine Filterschicht aufgebracht ist, die die Wellenlänge des Laserstrahls 101 absorbiert. Darüber hinaus sind drei optische Sensoren in Form von CCD-Chips vorgesehen, die im Strahlengang der vom Werkstück emittierten Strahlung folgend nach dem teildurchlässigen Spiegel in einer Ebene senkrecht zur Strahlrichtung des Laserstrahls 101 angeordnet sind. Alternativ ist es natürlich auch möglich, anstelle des mit der Filterschicht versehenen teildurchlässigen Spiegels einen unbeschichteten teildurchlässigen Spiegel einzusetzen und die Filterschicht dafür auf die CCD-Chips aufzubringen (ebenfalls nicht dargestellt).

Nachfolgend wird anhand von Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls 101 einer Laserbearbeitungsmaschine 100 relativ zu einer Austrittsöffnung 106 für den Laserstrahl 101 näher erläutert:

Vor dem Start einer Bearbeitung des Werkstücks 108 wird zunächst eine Vorjustierung durchgeführt. Hierbei wird anstelle des Laserstrahls 101 ein Pilotstrahl mit einer Wellenlänge von 730 nm und einer Leistung von 4,5 mW erzeugt und mittels der Fokussier-Einheit 104 durch die Austrittsöffnung 106 auf das Werkstück 108 fokussiert. Die Energie der Laserstrahlung des Pilotstrahls ist so gering, dass das Werkstück 108 mit dem Pilotstrahl nicht bearbeitet werden kann. Folglich entsteht auch keine vom Werkstück 108 selbst emittierte Strahlung. Allerdings wird der Pilotstrahl an der Werkstück-Oberfläche reflektiert, sodass die reflektierte Pilotstrahl-Strahlung von den beiden optischen Sensoren 103a, 103b erfasst wird. Da in Figur 1 die optischen Sensoren 103a, 103b äquidistant zur Mittenachse der Austrittsöffnung 106 angeordnet sind, ist die gewünschte Vorjustierung erreicht, wenn die von den beiden optischen Sensoren 103a, 103b erfassten Intensitätswerte der reflektierten Strahlung Strahlungsintensitätswerte um maximal 0,5% voneinander abweichen.

Bei der Bearbeitung wird zunächst mittels der Laserstrahlquelle 111 ein Laserstrahl 101 erzeugt. Der Laserstrahl 101 wird über einen Spiegel 102 in Richtung des Werkstücks 108 umgelenkt. Mittels der Fokussier-Einheit 104 wird der Laser-

strahl 101 auf das Werkstück 108 fokussiert, und zwar derart, dass der Laserstrahl 101 zunächst durch die Austrittsöffnung 106 der Schneiddüse hindurchtritt, bevor er auf das Werkstück 108 auftrifft. Durch die Bearbeitung des Werkstücks 108 mit dem Laserstrahl 101 emittiert das Werkstück 108 ungerichtet Strahlung 107 mit Wellenlängen in einem weiten Wellenlängenbereich, insbesondere im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm. Die von dem Werkstück 108 emittierte Strahlung 107 wird schließlich mit den drei optischen Sensoren 103a, 103b erfasst. Die optischen Sensoren 103a, 103b sind Photodioden, die für die Erfassung von Strahlungsintensitäten bei einer Meßwellenlänge von 1.200 nm ausgelegt sind. Dabei werden von den optischen Sensoren 103a, 103b in Abhängigkeit von der Zeit Strahlungsintensitätswerte erfasst, die nachfolgend zum Einstellen der Position des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 verwendet werden. Insbesondere kann aus den erfassten Strahlungsintensitätswerten die aktuelle Position des Laserstrahls 101 relativ zur Mitte der Austrittsöffnung 106 ermittelt werden. Darüber hinaus kann anhand der erfassten Strahlungsintensitätswerte berechnet werden, wie die Position des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 zu verändern ist, um den Laserstrahl 101 mittig zur Austrittsöffnung 106 zu justieren. Schließlich erfolgt das Einstellen der Position des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 mittels eines geeigneten Aktors. Die Einstellung/Justierung der Position des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 erfolgt in einem iterativen Verfahren. Da in Figur 1 die optischen Sensoren 103a, 103b äquidistant zur Mittenachse der Austrittsöffnung 106 angeordnet sind, ist die gewünschte Justierung des Laserstrahls 101 relativ zur Austrittsöffnung 106 erreicht, wenn die von den drei optischen Sensoren 103a, 103b erfassten Strahlungsintensitätswerte um maximal 0,5% voneinander abweichen. Bei einem alternativen Verfahren ist es auch möglich, die von den optischen Sensoren 103a, 103b erfassten Strahlungsintensitätswerte auf den Mittelwert der von allen optischen Sensoren 103a, 103b erfassten Strahlungsintensitätswerte zu beziehen. Hierbei ist vorzugsweise der arithmetische Mittelwert zugrunde zu legen. Die gewünschte Justierung ist erreicht, wenn keiner der von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte um mehr als 0,3 % (prozentualer Tole-

ranzwert) vom arithmetischen Mittelwert der von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte abweicht.

Die **Figuren 2 und 3** zeigen eine Schneiddüse 210 einer Laserschneidmaschine, die über einem Werkstück 108 aus Stahl positioniert ist. Ferner ist ein Laserstrahl 211 dargestellt, der durch die Austrittsöffnung 106 auf das Werkstück 108 fokussiert ist. Schließlich sind auf der dem Werkstück 108 abgewandten Seite der Schneiddüse 210 drei Sensoren angeordnet, die zur Erfassung der vom Werkstück emittierten Strahlung 200 ausgelegt sind. Von den drei Sensoren sind zur Vereinfachung der Darstellung nur zwei Sensoren S1 und S2 gezeigt.

10 In **Figur 2** ist der Fall dargestellt, dass der Strahlengang des Laserstrahls 211 nicht zentriert zur Austrittsöffnung 106 verläuft. Durch die Bearbeitung des Werkstücks 108 mit dem Laserstrahl 211 erfolgt ein Energieeintrag in das Werkstück 108. Dies hat zur Folge, dass das Werkstück 108 unter anderem Strahlung 200 in einem Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm ungerichtet emittiert. Betrachtet man die Grenzstrahlen 201, 202 der vom Werkstück emittierten Strahlung mit Grenzwinkeln α_1 , α_2 , so zeigt sich, dass im Falle einer Fehljustierung die Sensoren S1, S2 voneinander abweichende Strahlungsintensitätswerte erfassen. Hier erfasst der Sensor S1 eine geringere Strahlungsintensität als der Sensor S2.

20 In **Figur 3** ist hingegen der Fall dargestellt, dass der Strahlengang des Laserstrahls 211 zentriert zur Austrittsöffnung 106 verläuft. Betrachtet man die Grenzstrahlen 201, 202 der vom Werkstück emittierten Strahlung mit den Grenzwinkeln α , so zeigt sich, dass bei einem justierten Laserstrahl 211 der Sensor S1 und der Sensor S2 jedenfalls theoretisch dieselbe Strahlungsintensität erfassen.

Figur 4 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Justier-Einheit, der insgesamt die Bezugsziffer 400 zugeordnet ist. Die Justier-Einheit 400 umfasst eine Auswerte-Einheit 401, eine Öffnung 402, durch die ein zu justierender Laserstrahl geführt werden kann, sowie drei Sensorgruppen 403, 404, 405 mit jeweils vier baugleichen Sensoren, die um 90° versetzt um die Öffnung 402 angeordnet sind. Die Ausgangssignale der einzelnen Sensoren der Sensorgruppen 403, 404, 30 405 liegen als Eingangssignal an der Auswerte-Einheit 401 an.

Die Sensorgruppen 403, 404, 405 unterscheiden sich wie folgt:

Die Sensorgruppe 403 umfasst vier baugleiche Sensoren, die zur Erfassung von Wellenlängen im Bereich von 600 nm bis 900 nm ausgelegt sind. Die Sensorgruppe 404 umfasst vier baugleiche Sensoren, die zur Erfassung von Wellenlängen im Bereich von 1.000 nm bis 1.200 nm ausgelegt sind. Dadurch, dass sich die Sensoren der Sensorgruppen 403 und 404 in den mit ihnen erfassbaren Wellenlängenbereichen unterscheiden, kann beispielsweise in Abhängigkeit vom eingesetzten Laser oder zu bearbeitenden Werkstück ausgewählt werden, welche Strahlungsanteile in welchen Wellenlängenbereichen erfasst werden sollen. Dabei ist es möglich, Strahlung im Wellenlängenbereich von 600 nm bis 900 nm und/oder Strahlung im Wellenlängenbereich von 1.000 nm bis 1.200 nm zu erfassen. Dies trägt dazu bei, dass die Justier-Einheit flexibel einsetzbar ist.

Die Sensorgruppe 405 umfasst wie die Sensorgruppe 404 vier baugleiche Sensoren, die zur Erfassung von Wellenlängen im Bereich von 1.000 nm bis 1.200 nm ausgelegt sind. Die Sensoren der Sensorgruppe 405 weisen allerdings eine etwa 10-fach höhere Empfindlichkeit auf, als die Sensoren der Sensorgruppe 404. Der Vorteil des gleichzeitigen Einsatzes von Sensorgruppen, die sich in den Sensor-Empfindlichkeiten unterscheiden, liegt darin, dass dieselbe Justier-Einheit zur Fokussierung unterschiedlicher Laserstrahlen eingesetzt werden kann, beispielsweise zur Fokussierung eines Arbeitslaserstrahls und eines Pilotlaserstrahls. Auf diese Weise wird eine flexibel einsetzbare Justier-Einheit erhalten.

Figur 5 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Justier-Einheit, der insgesamt die Bezugsziffer 500 zugeordnet ist. Die Justier-Einheit 500 umfasst eine zur Durchführung eines zu justierenden Laserstrahls geeignete Öffnung 501, sowie fünf baugleiche optische Sensoren 503-507, die um die Öffnung 501 um 72° versetzt zueinander angeordnet sind. Wird beispielsweise die Justier-Einheit 500 mit einer Vorschubgeschwindigkeit von mehr als 800 mm/min in Vorschubrichtung 502 relativ zu einem Werkstück bewegt, erfasst insbesondere der in Vorschubrichtung der Bearbeitung nachgeführte Sensor, hier der Sensor 503, regelmäßig ein höheres Strahlungsintensitätssignal als die anderen in Vorschubrichtung

tung 502 gesehen seitlich angeordneten Sensoren, hier die Sensoren 504-507. Die Justier-Einheit 500 ist daher so ausgelegt, dass das Strahlungsintensitätssignal des in Vorschubrichtung 502 gesehen nachgeführten Sensors, das ist im vorliegenden Beispiel das Signal des Sensors 503, unberücksichtigt bleibt und zur

5 Justierung nur die Signale der vier übrigen Sensoren berücksichtigt werden. Hierdurch wird einer Fehljustierung bedingt durch ein erhöhtes Strahlungsintensitätssignal eines in Vorschubrichtung gesehen nachgeführten Sensors entgegengewirkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine relativ zu einer Austrittsöffnung für den Laserstrahl, umfassend die Verfahrensschritte:
 - (a) Fokussieren des Laserstrahls, und
 - (b) Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung, dadurch gekennzeichnet, dass während einer Bearbeitung eines Werkstücks die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung mit mindestens drei optischen Sensoren erfasst wird, und die von den optischen Sensoren erfassten Strahlungsintensitätswerte während der Bearbeitung zum Einstellen der Position des Laserstrahls gemäß Verfahrensschritt (b) verwendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zum Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung gemäß Verfahrensschritt b) die von den optischen Sensoren im Wellenlängenbereich von 800 nm bis 1.400 nm erfassten Strahlungsintensitätswerte herangezogen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass von den mindestens drei optischen Sensoren die Strahlungsintensität der vom Werkstück emittierten Strahlung nach deren Durchtritt durch die Austrittsöffnung erfasst wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vorjustierung des Laserstrahls ein Pilotstrahl verwendet wird, wobei die vom Werkstück reflektierte Strahlung von den mindestens drei optischen Sensoren erfasst wird, und die von den optischen Sensoren erfassten Intensitätswerte der reflektierten Strahlung zum Voreinstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung verwendet werden.

5. Justier-Einheit zur automatisierten Justierung eines Laserstrahls einer Laserbearbeitungsmaschine relativ zu einer Austrittsöffnung für den Laserstrahl, dadurch gekennzeichnet, dass die Justier-Einheit mindestens drei optische Sensoren zur Erfassung der während einer Bearbeitung eines Werkstücks vom Werkstück emittierten Strahlung aufweist, wobei die Justier-Einheit derart ausgestaltet ist, dass die von den mindestens drei optischen Sensoren während der Bearbeitung erfassten Strahlungsintensitäten von der Justier-Einheit beim Einstellen der Position des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung berücksichtigt wird.
6. Justier-Einheit nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens drei optischen Sensoren zur Erfassung von optischer Strahlung im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts und/oder nahinfraroter Strahlung ausgelegt sind.
7. Justier-Einheit nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens fünf optische Sensoren zur Erfassung der während einer Bearbeitung eines Werkstücks vom Werkstück emittierten Strahlung vorgesehen sind.
8. Justier-Einheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang vor den mindestens drei optischen Sensoren ein optisches Filter angeordnet ist, das die Wellenlänge des Bearbeitungslasers herausfiltert.
9. Justier-Einheit nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Sensoren im Strahlengang nach einem teildurchlässigen Spiegel angeordnet sind, auf den das optische Filter aufgebracht ist.
10. Justier-Einheit nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Sensoren Photodioden oder CCD-Chips sind, und dass auf die Photodioden beziehungsweise die CCD-Chips jeweils ein optisches Filter als Beschichtung aufgebracht ist.

11. Laserbearbeitungsmaschine, aufweisend eine Austrittsöffnung für den Laserstrahl und eine Fokussier-Optik zum Fokussieren des Laserstrahls in Richtung der Austrittsöffnung, dadurch gekennzeichnet, dass eine Justier-Einheit nach einem der vorhergehenden Ansprüche 5 bis 10 zur automatisierten Justierung des Laserstrahls relativ zur Austrittsöffnung vorgesehen ist.
12. Laserbearbeitungsmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Austrittsöffnung eine Öffnungsweite und der Laserstrahl in der Ebene der Austrittsöffnung gesehen einen maximalen Laserstrahl-Durchmesser aufweist, und dass das Verhältnis des maximalen Laserstrahl-Durchmessers zur Öffnungsweite weniger als 0,7 beträgt, vorzugsweise im Bereich zwischen 0,5 und 0,25 liegt.

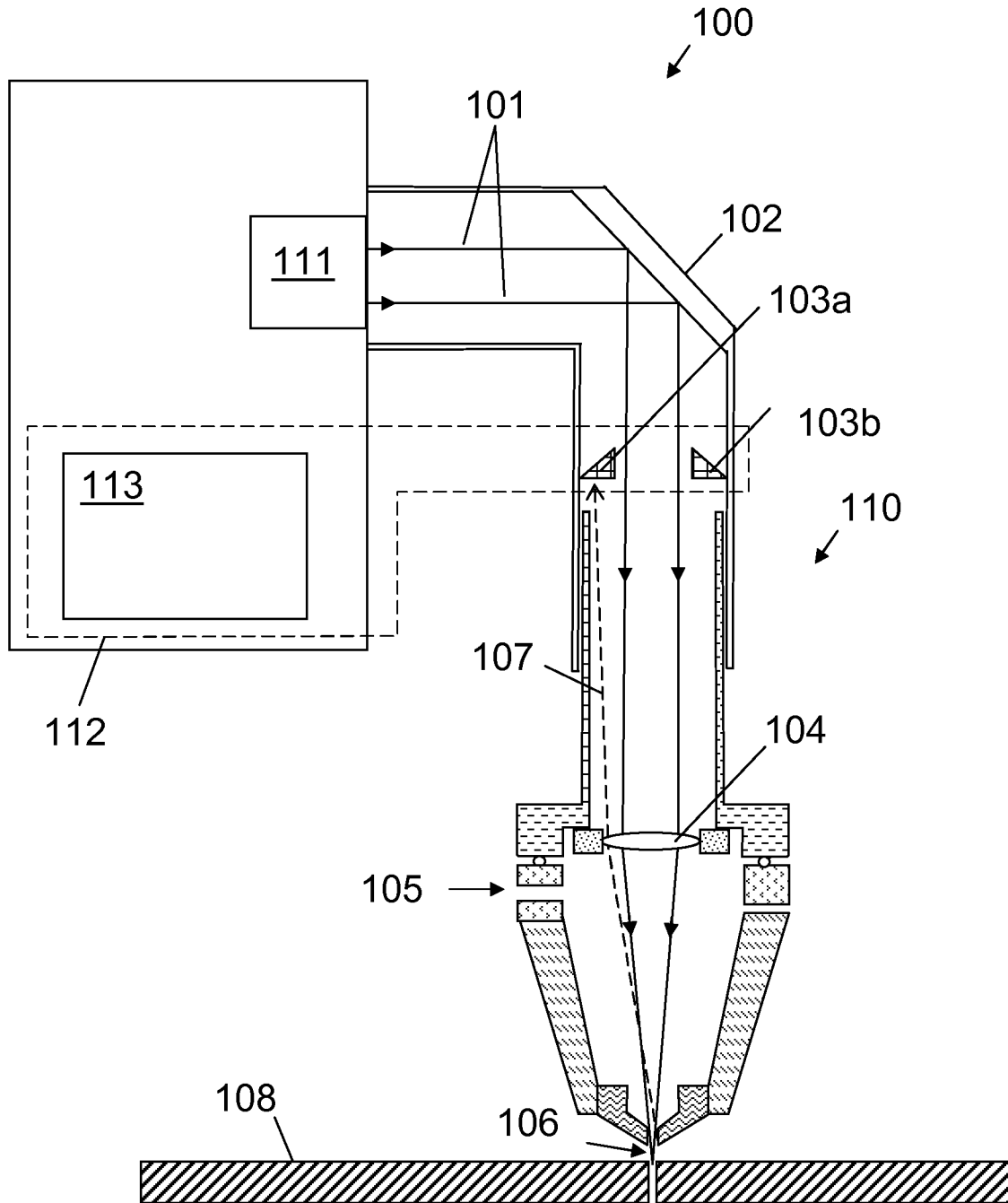


Fig. 1

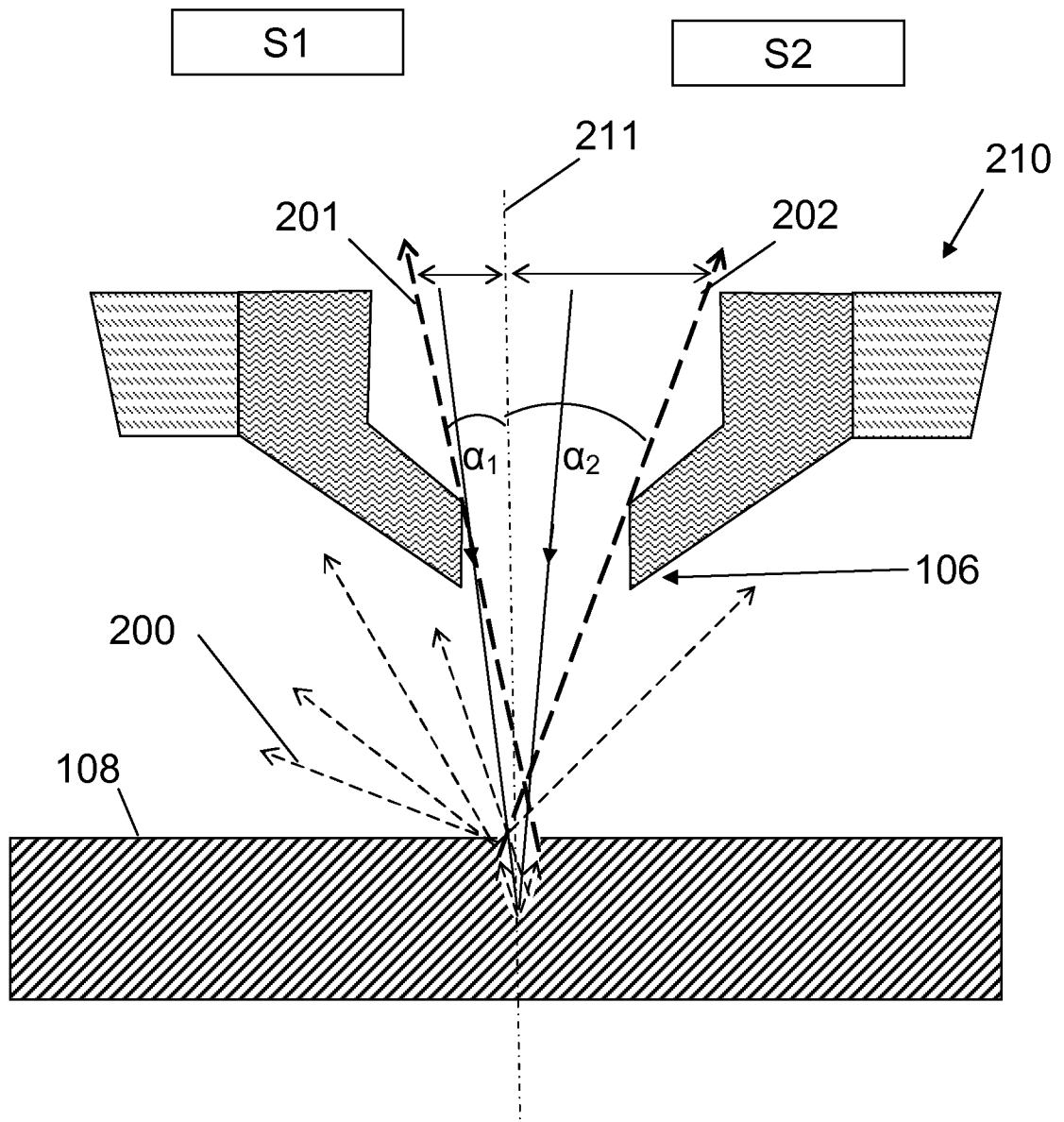


Fig. 2

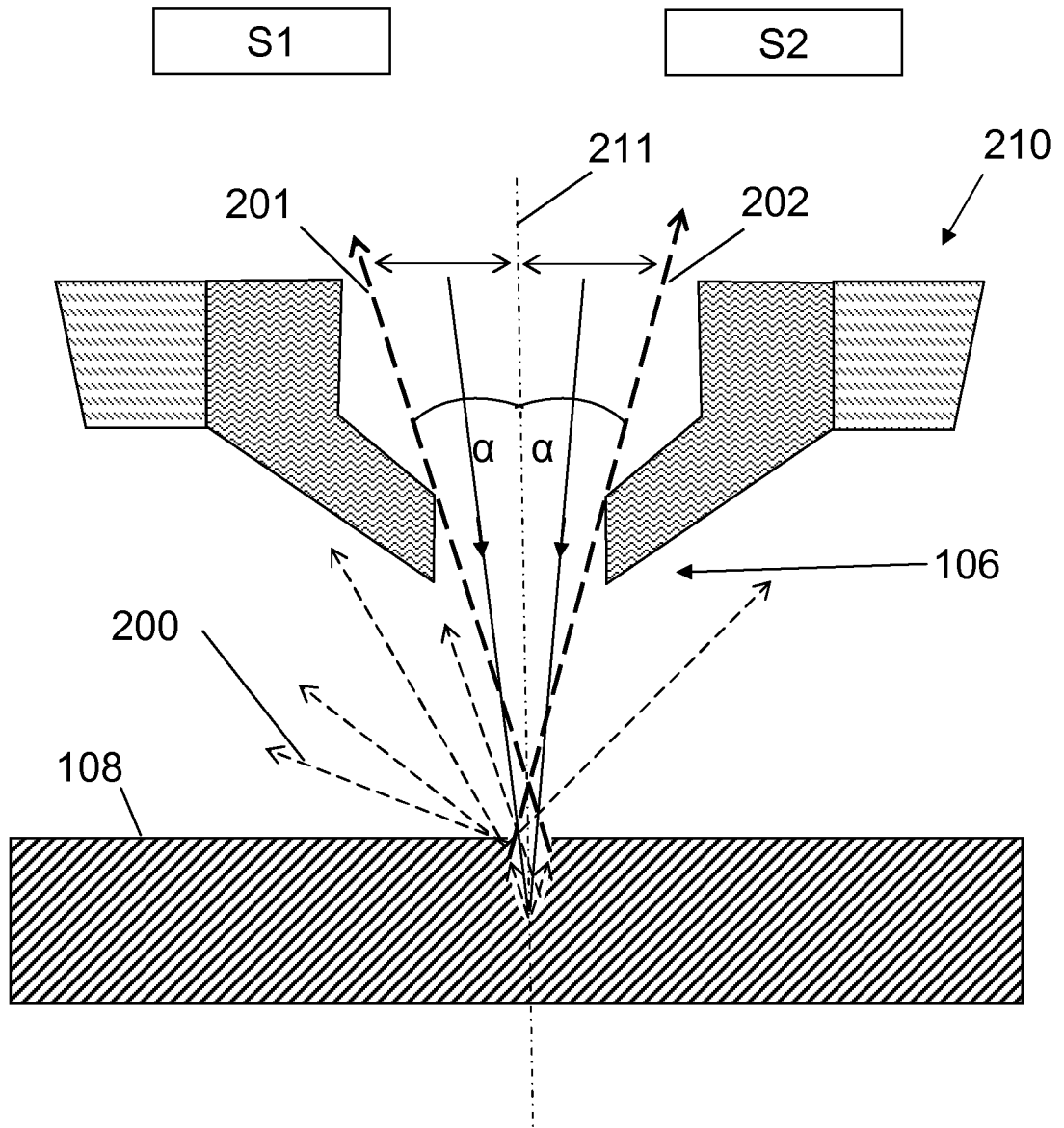
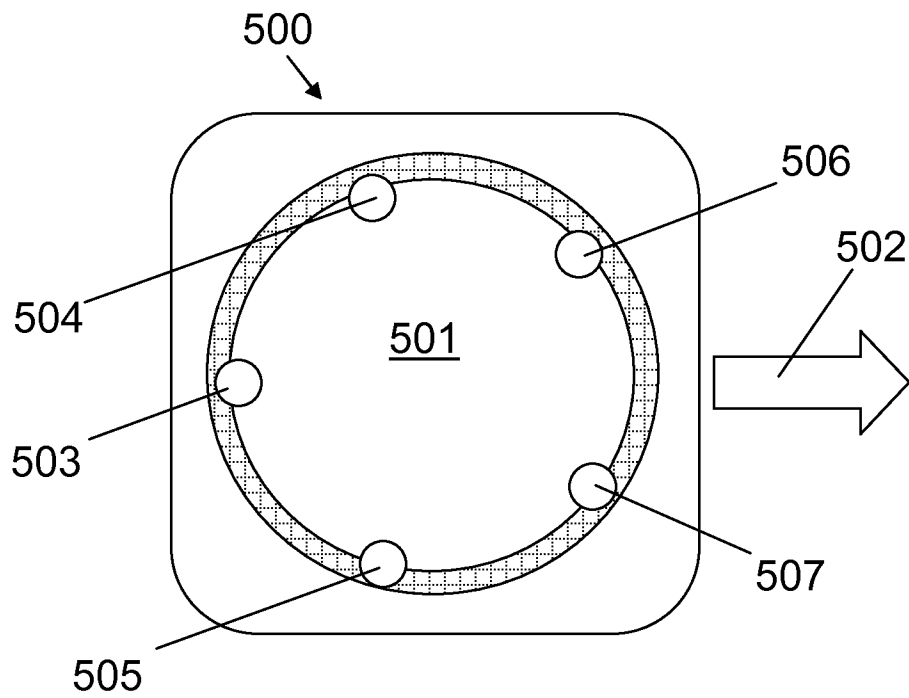
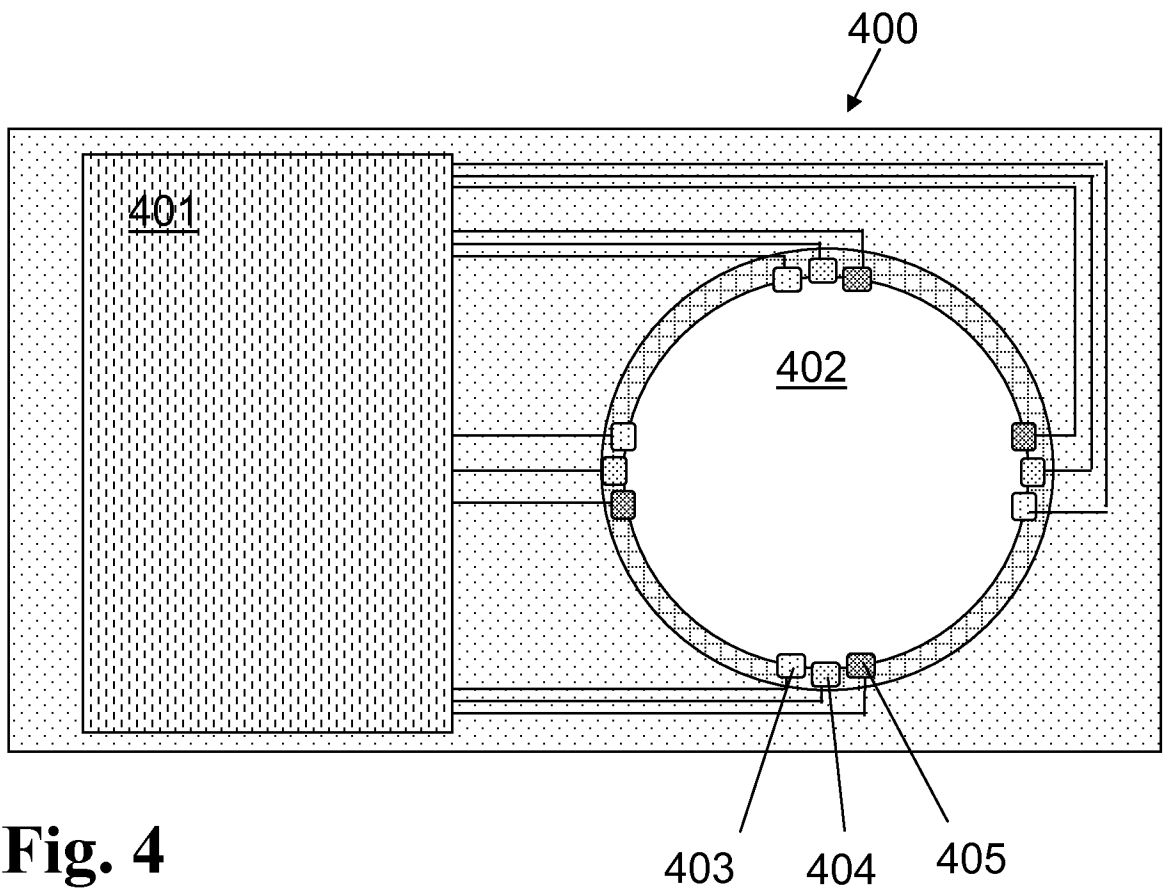


Fig. 3

4/4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/084144

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B23K 26/04</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/70</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/042</i> (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 2013334181 A1 (LUEDI ANDREAS [CH] ET AL) 19 December 2013 (2013-12-19) abstract figures 1,3 claims 1,9,14 paragraphs [0083], [0087], [0089]	1-12
X	DE 102007048471 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK [DE]) 23 April 2009 (2009-04-23) abstract claim 1 paragraphs [0006], [0007], [0029] figure *	1-12
X	WO 2011035888 A1 (PRECITEC KG [DE]; SCHUERMAN BERT [DE]; SPOERL GEORG [DE]) 31 March 2011 (2011-03-31) abstract page 3, line 13 - page 6, line 4 figures 1-3	1-12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 19 March 2019		Date of mailing of the international search report 26 March 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 Perret, William Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/084144

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2013334181	A1	19 December 2013	NONE			
DE	102007048471	A1	23 April 2009	NONE			
WO	2011035888	A1	31 March 2011	CH	703957	B1	30 April 2014
				DE	102009042529	A1	26 May 2011
				DE	112010003743	A5	07 March 2013
				WO	2011035888	A1	31 March 2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23K26/04 B23K26/70 B23K26/042
 ADD.

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 2013/334181 A1 (LUEDI ANDREAS [CH] ET AL) 19. Dezember 2013 (2013-12-19) Zusammenfassung Abbildungen 1,3 Ansprüche 1,9,14 Absätze [0083], [0087], [0089] -----	1-12
X	DE 10 2007 048471 A1 (TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK [DE]) 23. April 2009 (2009-04-23) Zusammenfassung Anspruch 1 Absätze [0006], [0007], [0029] Abbildung * ----- -/--	1-12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"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)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"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

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. März 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/03/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Perret, William

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2011/035888 A1 (PRECITEC KG [DE]; SCHUERMANN BERT [DE]; SPOERL GEORG [DE]) 31. März 2011 (2011-03-31) Zusammenfassung Seite 3, Zeile 13 - Seite 6, Zeile 4 Abbildungen 1-3 -----	1-12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/084144

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013334181 A1	19-12-2013	KEINE	

DE 102007048471 A1	23-04-2009	KEINE	

WO 2011035888 A1	31-03-2011	CH 703957 B1	30-04-2014
		DE 102009042529 A1	26-05-2011
		DE 112010003743 A5	07-03-2013
		WO 2011035888 A1	31-03-2011
