

(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
15. Februar 2018 (15.02.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/029259 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/03 (2006.01) B23K 9/095 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/070212

(22) Internationales Anmeldedatum:

09. August 2017 (09.08.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2016 215 050.2

12. August 2016 (12.08.2016) DE

(71) Anmelder: TRUMPF LASER- UND SYSTEMTECH-
NIK GMBH [DE/DE]; Johann-Maus-Strasse 2, 71254 Dit-
zingen (DE).

(72) Erfinder: BRAUN, Holger; Lessingstrasse 8, 71254 Dit-
zingen (DE). PFITZNER, Dieter; Waidgang 1, 75382 Alt-
hengstett (DE).

(74) Anwalt: TRUMPF PATENTABTEILUNG; Trumpf
GmbH & Co. KG, TH501 Patente und Lizenzen, Jo-
hann-Maus-Strasse 2, 71254 Ditzingen (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,
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).

(54) Title: METHOD FOR OBSERVING AND/OR MONITORING A LASER PROCESSING PROCESS AND OBSERVATION
DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BEOBACHTUNG UND/ODER ÜBERWACHUNG EINES
LASERBEARBEITUNGSPROZESSES SOWIE BEOBACHTUNGSVORRICHTUNG

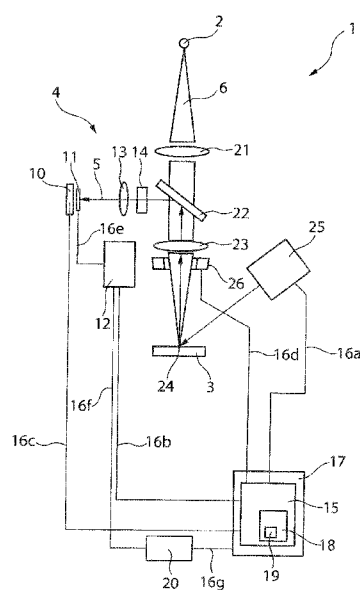


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a method for observing and/or monitoring a laser processing process for a workpiece (3) by means of a camera (10), wherein the transmission of an adjustable filter (11) arranged in an observation beam path (5) of the camera (10) is set. According to the invention, the transmission of the filter (11) is set to different transmittances (a, b, c, a' b' c') in a controlled manner in at least two different regions (I, II, III) of the filter (11) and/or the transmission is set to different transmittances (a, b, c, a' b' c') at least in one region of the filter (11) in a manner synchronized temporally with recording times (a1, a2, a3, a'1, a'2, a'3) of the camera (10) and/or with times of changes in the brightness of at least one additional illumination source (25, 26). The invention furthermore relates to an observation device (4) and to a laser processing device (1).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beobachtung und/oder Überwachung eines Laserbearbeitungsprozesses eines Werkstücks (3) mittels einer Kamera (10), wobei die Transmission eines sich in einem Beobachtungsstrahlengang (5) der Kamera (10) angeordneten, einstellbaren Filters (11) eingestellt wird. Erfindungsgemäß wird die Transmission des Filters (11) in wenigstens zwei unterschiedlichen Bereichen (I, II, III) des Filters (11) gesteuert auf unterschiedliche Transmissionsgrade (a, b, c, a' b' c') eingestellt und/oder wird die Transmission zumindest in einem Bereich des Filters (11) zeitlich mit Aufnahmezeitpunkten (a1, a2, a3, a'1, a'2, a'3) der Kamera (10) und/oder mit Zeitpunkten von Helligkeitsänderungen mindestens einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle (25, 26) synchronisiert auf unterschiedliche Transmissionsgrade (a, b, c, a' b' c') eingestellt. Die Erfindung betrifft des Weiteren eine Beobachtungsvorrichtung (4) sowie eine Laserbearbeitungsvorrichtung (1).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Verfahren zur Beobachtung und/oder Überwachung eines Laserbearbeitungsprozesses sowie Beobachtungsvorrichtung

5 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Beobachtung und/oder Überwachung eines Laserbearbeitungsprozesses eines Werkstücks mittels einer Kamera, wobei die Transmission eines sich in einem Beobachtungsstrahlengang der Kamera angeordneten, einstellbaren Filters eingestellt wird.

10

Es ist bekannt, einen Laserbearbeitungsprozess, beispielsweise einen Laserschweiß- oder Laserschneidprozess, zur Überwachung kamerabasiert zu beobachten. Dazu muss die Lichtmenge bei einer Bildaufnahme einer von einem Laser bearbeiteten Prozesszone eines Werkstücks während des
15 Laserbearbeitungsprozesses begrenzt werden, damit auch bei sehr hohen Strahlungsintensitäten in der Prozesszone Überbelichtungen bzw. Sättigungen im aufgenommenen Bild vermieden werden. Eine solche Begrenzung wird im Allgemeinen durch eine entsprechende Wahl einer

Blende, eines schmalbandigen Bandpassfilters und/oder eines Neutraldichtefilters im Beobachtungsstrahlengang einer die Prozesszone beobachtenden Kamera versucht. Aufgrund der nicht ausreichenden Dynamik der im Stand der Technik verfügbaren Bildsensoren der Kameras können jedoch unter diesen Bedingungen Bearbeitungsbereiche, die außerhalb der eigentlichen Prozesszone liegen, nicht beobachtet werden, da diese dann zu dunkel sind. Durch die Wahl der Kamerabelichtungszeit kann dem bis zu einem gewissen Grad entgegen gewirkt werden, allerdings sind beliebig kurze Belichtungszeiten nicht möglich bzw. die dafür benötigten Kameras sehr teuer. Daher bedarf es einer oder mehrerer zusätzlicher Beleuchtungsquelle(n) zur Beleuchtung dunkler Werkstückbereiche, wenn verschiedene Messaufgaben variabel kombiniert werden sollen.

Aus der DE 10 2009 050 784 B4 und der EP 2 061 621 B1 sind zwei Anordnungen bekannt, die die auf den Bildsensor fallende Lichtmenge über die Belichtungszeit und/oder über die Beleuchtungsintensität steuern. Diese Parameter werden dazu zwischen einzelnen Bildaufnahmen variiert.

Aus der DE 10 2009 016 125 A1 ist es bekannt, bei einem Laserbearbeitungsverfahren Rückreflektionen eines Laserstrahls mit einem Sensor auszuwerten. Es wird ferner ein elektrisch einstell- oder veränderbares Dämpfungsglied beschrieben. Das Dämpfungsglied kann einen motorisch verstellbaren Graukeil, ein elektrochromes Element oder einen LCD-Schirm umfassen.

Auch aus der JPS 58157596 A ist es bekannt, vor einer Kamera, mit der Strahlung aus einer Schweißzone detektiert wird, einen einstellbaren Filter anzuordnen.

Bei diesen bekannten Vorrichtungen kann die auf die Kamera bzw. den Sensor fallende Lichtmenge in Abhängigkeit von der Beobachtungsaufgabe nur eingeschränkt eingestellt bzw. geändert werden. Um beispielsweise Informationen aus unterschiedlichen Bereichen des Werkstücks (z.B. der Prozesszone und der Umgebung) zu erhalten, ist daher eine Wiederholung mit unterschiedlichen Einstellungen erforderlich.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereit zu stellen, durch die eine bildbasierte Beobachtung unterschiedlich heller Bereiche eines Werkstückes während eines Laserbearbeitungsprozesses verbessert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Beobachtung und/oder Überwachung eines Laserbearbeitungsprozesses eines Werkstücks mittels einer Kamera, wobei die Transmission eines sich in einem Beobachtungsstrahlengang der Kamera angeordneten, einstellbaren Filters eingestellt wird, wobei die Transmission des Filters in wenigstens zwei unterschiedlichen Bereichen des Filters gesteuert auf unterschiedliche Transmissionsgrade eingestellt wird und/oder die Transmission zumindest in einem Bereich des Filters zeitlich mit Aufnahmezeitpunkten der Kamera und/oder mit Zeitpunkten von Helligkeitsänderungen einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle synchronisiert auf unterschiedliche Transmissionsgrade eingestellt wird. Erfindungsgemäß wird also ein gesteuert flexibel einstell- bzw. schaltbarer Filter im Beobachtungsstrahlengang der Kamera eingesetzt. Eine gesteuerte Einstellung des Filters bedeutet, dass die Einstellung des Filters applikationsabhängig geändert werden kann, insbesondere, dass der Filter von einer Steuereinheit angesteuert werden kann. Die Transmissionsgrade des Filters sind variabel wählbar (z. B. durch eine Steuerung), insbesondere abhängig von einer Messaufgabe.

Dabei soll unter „schalten“ des Filters eine Einstellung des Filters auf einen neuen Zustand bzw. eine Änderung des Zustands des Filters binnen eines verhältnismäßig kurzen Zeitraums, insbesondere kürzer als 20% der
5 Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmezeitpunkten, verstanden werden.

Wenn die Transmission des Filters mit Aufnahmezeitpunkten der Kamera synchronisiert eingestellt wird, kann die auf die Kamera auftreffende
10 Lichtmenge bedarfsgerecht während des Bearbeitungsprozesses an eine Bildaufnahme individuell angepasst werden. Durch Synchronisation mit Zeitpunkten von Helligkeitsänderungen einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle kann zudem bedarfsgerecht der Helligkeitskontrastbereich des aufzunehmenden Bildes zusätzlich
15 eingegrenzt werden. Insbesondere kann eine zusätzliche Beleuchtung zur Beleuchtung von außerhalb einer Prozesszone gelegenen Bereichen vorgesehen werden. Die Beleuchtungsquelle kann mit der Transmission des Filters bzw. mit der auf die Kamera fallenden Lichtmenge synchronisiert gesteuert werden.

20

Insbesondere im Gegensatz zu beispielsweise einer Aperturblende kann der einstellbare Filter nahezu beliebig entlang des Beobachtungsstrahlengangs positioniert werden. Auch können durch Einsatz des einstellbaren Filters Veränderungen der Schärfentiefe von
25 einer Bildaufnahme zu einer anderen vermieden werden. Dadurch kann die Bildaufnahme mit einer festen, vordefinierbaren Blende erfolgen, wodurch das aufgenommene Bild leichter automatisiert ausgewertet werden kann. Ein einstellbarer bzw. schaltbarer Filter ermöglicht zudem, insbesondere im Gegensatz zu beispielsweise Irisblenden, sehr schnelle
30 Einstellungsänderungen. So können Änderungen des Transmissionsgrads

im Bereich von Millisekunden sowie teilweise im Bereich von Mikrosekunden erreicht werden. Ein einstellbarer bzw. schaltbarer Filter kann zudem sehr langzeitstabil arbeiten, so dass auch ein Dauerbetrieb ermöglicht wird.

5

Der Transmissionsgrad des Filters kann eingestellt werden, indem der Spektralbereich der durch den Filter transmittierten Strahlung verändert wird. Dazu kann der Filter beispielsweise als Bandpass-Filter ausgebildet sein, dessen Zentralwellenlänge und/oder dessen Bandbreite eingestellt wird. Wird beispielsweise die Zentralwellenlänge von einer innerhalb des Wellenlängenbereichs sichtbaren Lichts liegenden Wellenlänge zu einer beispielsweise im Ultraviolett- oder im Infrarotbereich befindlichen Wellenlänge geändert bzw. umgeschaltet, so kann dadurch der Transmissionsgrad im Wellenlängenbereich sichtbaren Lichts eingestellt, insbesondere reduziert werden.

10

15

Es kann auch vorgesehen werden, insbesondere wenn der Filter als Bandpass-Filter ausgebildet ist, den beobachteten Wellenlängenbereich, beispielsweise zwischen sichtbarer und infraroter Strahlung, auszuwählen bzw. umzuschalten. Vorteilhafterweise kann dazu vorgesehen werden, dass auch weitere Elemente entlang des Beobachtungsstrahlengangs, insbesondere die Kamera, auf den jeweils beobachteten Wellenlängenbereich eingestellt werden und/oder zur Beobachtung in allen beobachteten Wellenlängenbereichen ausgebildet sind.

20

25

Alternativ oder ergänzend kann auch vorgesehen werden, nur innerhalb eines vorgegebenen Wellenlängenbereichs den Transmissionsgrad des Filters einzustellen.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Transmission des Filters mit einem vordefinierten Zeitversatz, insbesondere einem zeitlichen Vorlauf, zu den Aufnahmezeitpunkten und/oder den Zeitpunkten der

Helligkeitsänderungen der Beleuchtungsquelle geändert wird. Dadurch

5 können auf einfache Weise Schaltzeiten bzw. Einstellgeschwindigkeiten des Filters berücksichtigt werden, so dass ein Bild mit hoher Sicherheit mit der gewünschten Transmission des einstellbaren Filters aufgenommen werden kann.

10 Der Transmissionsgrad des Filters kann in Abhängigkeit von einer Messaufgabe, beispielsweise einer Aufnahme von Strahlung des Bearbeitungsprozesses, einer Aufnahme unter Auflichtbeleuchtung eines Werkstücks, der Nahtlageregelung und/oder Nahtqualitätskontrolle, eingestellt werden. Somit kann die auf die Kamera während der Aufnahme
15 eintreffende Lichtmenge bedarfsgerecht in Abhängigkeit von der jeweiligen Messaufgabe gesteuert werden. Auch kann vorgesehen werden, den beobachteten Wellenlängenbereich je nach Messaufgabe einzustellen bzw. auszuwählen.

20 Vorzugsweise kann die Helligkeit der Beleuchtungsquelle, die Belichtungszeit und/oder die Aufnahmeempfindlichkeit der Kamera in Abhängigkeit von der eingestellten Transmission des Filters gewählt werden. Somit können weitere Aufnahmeparameter, die die auf die Kamera auftreffende Lichtmenge und/oder die Bildqualität zusätzlich
25 steuern, abgestimmt zur Transmission des Filters eingestellt bzw. geschaltet werden.

Insbesondere kann vorgesehen werden, dass zunächst die Transmission des Filters eingestellt wird, anschließend oder zeitgleich die

30 Beleuchtungsquelle eingestellt, insbesondere ein- oder ausgeschaltet, wird

und sodann ein Bild durch die Kamera aufgenommen wird. Somit können auf einfache Weise unterschiedliche Einstellgeschwindigkeiten des Filters und/oder der Beleuchtungsquelle berücksichtigt werden.

5 In einer alternativen Verfahrensvariante wird die Transmission des Filters in wenigstens zwei unterschiedlichen Bereichen (Pixeln) des Filters auf unterschiedliche Transmissionsgrade gesteuert eingestellt. Somit kann der einstellbare Filter als optische Maske verwendet werden. Beispielsweise können verhältnismäßig dunkle Zonen des Beobachtungsbereichs eines zu
10 beobachtenden bzw. zu bearbeitenden Werkstücks wenig gefiltert werden und gleichzeitig besonders helle Zonen des Beobachtungsbereichs sehr stark gefiltert werden. Die Einstellungen der Filterbereiche können dabei während des beobachteten Laserbearbeitungsprozesses unverändert bleiben.

15 Bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann der Filter in mindestens zwei, insbesondere in viele Bereiche (Pixel) unterteilt werden. Physikalisch kann sich dabei ein Bereich (Pixel) bezüglich seiner Transmission wie ein eigenständiger, schnell geschalteter Filter verhalten.
20 Es lassen sich in den Bereichen unterschiedliche Transmissionsgrade in einem gewissen Kontrastverhältnis einstellen. Diese Einstellung kann orts aufgelöst erfolgen, bevor eine Messung gestartet wird.

Innerhalb des von der Kamera aufgenommenen Bildes können mehrere
25 Messbereiche bzw. Messfenster vorgesehen werden, wobei die Auswertung der gewonnenen Bilddaten auf diese Messfenster beschränkt werden kann.

Für jeden gewünschten Messbereich bzw. jedes Messfenster, beispielsweise vor- und nachlaufend zum Prozessort und am Prozessort,
30 kann im Filter ein geeigneter Transmissionsgrad voreingestellt werden,

der für die jeweils anstehende Messaufgabe, beispielsweise abhängig vom Werkstückmaterial und/oder der Laserleistung, geeignet ist.

Zur Einstellung der Bereiche kann eine Steuereinheit vorgesehen werden, welche es erlaubt, die Transmissionsgrade der einzelnen Bereiche (Pixel) gesteuert einzustellen und beispielsweise über eine entsprechende digitale Schnittstelle mit einer Bildverarbeitungseinheit zu kommunizieren. Das Verändern des Transmissionsgrads kann in dieser Verfahrensvariante auch unabhängig von einer Messung bzw. Aufnahme erfolgen. Dadurch kann auch eine Kommunikationsschnittstelle zwischen der Steuereinheit des Filters und der Bildverarbeitungseinheit mit geringer Übertragungsgeschwindigkeit verwendet werden. Zudem kann ein höherer Kontrast des Filters zwischen minimaler und maximaler Transmission erreicht werden, da längere Einstell- bzw. Umschaltzeiten ermöglicht werden.

Das gesteuert einstellbare räumliche Transmissionsprofil des Filters kann abhängig von einer jeweils gewünschten Anwendung bzw. einer Mess- bzw. Bildverarbeitungsaufgabe gewählt werden. Das Transmissionsprofil für eine bestimmte Messaufgabe kann beispielsweise als Konfigurationsdatensatz in der Steuereinheit vorgesehen werden und beispielsweise durch einen Bediener, durch ein Maschinenprogramm einer Laserbearbeitungsmaschine über eine entsprechende Schnittstelle und/oder durch die Bildverarbeitungseinheit selbst auswählbar sein.

Bei dieser Verfahrensvariante kann die Bildaufnahme für verschiedene Messfenster zeitgleich über einen großen Bildbereich mit derselben Belichtungszeit erfolgen, wodurch die Messgeschwindigkeit gesteigert werden kann.

Die Einstellung des Transmissionsgrads vor den Messfenstern kann bei dieser Verfahrensvariante im Verlauf der Messung unverändert bleiben.

5 Angepasst an die Mess- bzw. Beobachtungsaufgabe und an die Parameter des zu beobachtenden Prozesses können die Transmissionsgrade jedoch auch gesteuert und flexibel zwischen zwei Messungen verändert werden.

10 Die Bildaufnahme kann in dieser Verfahrensvariante für alle Messfenster zeitgleich erfolgen. Alternativ können Bildaufnahmen für die einzelnen Messfenster nacheinander erfolgen, um beispielsweise unterschiedliche Belichtungszeiten der Kamera nutzen zu können.

15 Außerdem kann es sinnvoll sein, die Position der Messfenster und/oder die Position einzelnen Transmissionsbereiche während eines Messlaufs zu ändern, um beispielsweise den Einfluss von Erwärmung der optischen Komponenten im Laserstrahlengang zu kompensieren. Die Nachführung der Positionen kann dabei von Bild zu Bild erfolgen; es kann jedoch auch ein langsames Nachführen über mehrere Kamerabilder hinweg vorgesehen werden.

20

Mögliche Anwendungen dieser Verfahrensvariante können beispielsweise sein:

- 25 – Umschalten des Transmissionsgrads in einem vorlaufenden Messfenster zwischen z.B. 80%, wenn eine Auflichtmessung zur Nahtlageregelung beim Laserschweißen genutzt werden soll, und 10% beim Einsatz einer Lichtschnittmessung.
- Gesteuerte Anpassung der räumlichen Position und/oder Ausdehnung eines den Laser-Brennfleck beinhaltenden Messfensters

an eine Verschiebung (Drift) der Laser-Brennfleckposition im Kamerabild.

- Anpassung des Abstands des vorlaufenden und/oder nachlaufenden Messfensters von der Position des Laser-Brennflecks in Abhängigkeit von Prozessparametern.
- Ändern des Transmissionsgrads des einstellbaren Filters an der Position des Laser-Brennflecks zwischen Einrichtbetrieb und Prozessbetrieb:
 - Einrichten: z.B. 80% Transmission für Auflichtmessung einer Referenzmarke an einem Testwerkstück.
 - Prozessbetrieb: z.B. 10% Transmission für die Messung des Laserbrennflecks.

In den Rahmen der Erfindung fällt des Weiteren eine

Beobachtungsvorrichtung, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens gemäß der Erfindung, mit einer Kamera, mindestens einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle und einem in einem Beobachtungsstrahlengang der Kamera angeordneten einstellbaren Filter, wobei die Beobachtungsvorrichtung eine Steuereinheit aufweist, die eingerichtet ist, die Transmission des Filters in wenigstens zwei unterschiedlichen Bereichen des Filters auf unterschiedliche Transmissionsgrade einzustellen, und/oder wobei die Beobachtungsvorrichtung eine Synchronisationseinheit aufweist, die eingerichtet ist, die Transmission zumindest in einem Bereich des Filters mit Aufnahmezeitpunkten der Kamera und/oder mit Zeitpunkten von Helligkeitsänderungen der zusätzlichen Beleuchtungsquelle(n) synchronisiert auf verschiedene Transmissionsgrade einzustellen.

Es kann vorgesehen sein, dass der Filter als Neutraldichtefilter ausgebildet ist. Somit kann die Transmission des Filters weitgehend farbneutral

eingestellt werden. Ein Neutrallichtfilter stellt ferner eine einfache Möglichkeit dar, die Transmission ohne Veränderungen der Schärfentiefe des aufzunehmenden Bildes einzustellen.

- 5 Die Kamera kann als Flächendetektor ausgebildet sein. Die Kamera kann beispielsweise ein CCD-Element und/oder ein CMOS-Element aufweisen.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Transmission des Filters elektrisch geschaltet auf unterschiedliche Transmissionsgrade einstellbar ist. Dazu
10 kann der Filter wenigstens ein Flüssigkristall-Element aufweisen. Der Filter kann beispielsweise als LCD-Element ausgebildet sein.

Dabei kann es besonders bevorzugt vorgesehen sein, dass das Flüssigkristall-Element mit einer Wechselspannung, bevorzugt mit einer
15 Rechteckwechselspannung, angesteuert wird. Insbesondere, wenn der Filter als LCD-Element gebildet ist, können so unerwünschte Gleichspannungs-Kriechströme vermieden werden, die eine Flüssigkristallschicht des LCD-Elements aufgrund einer unerwünschten Ionenmigration mittelfristig zerstören könnten.

20

Es kann vorgesehen werden, dass der Filter einen Flüssigkristall-Retarder aufweist. Es kann insbesondere vorgesehen werden, einzelne variable Flüssigkristall-Retarder zu kombinieren. Auch können mehrere Flüssigkristall-Zellen kombiniert werden. Eine einstellbare Transmission
25 kann auch dadurch erreicht werden, dass ein Flüssigkristallmodul, z.B. monolithisch in einem optischen Element, mit Polarisatoren kombiniert wird. Zur Einstellung können dann die Polarisatoren um vorgebbare Winkel und in vorgebbare Drehrichtungen rotiert werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Filter ein Transmissionseinstellverhältnis von mindestens 2:1 aufweist. Unter Transmissionseinstellverhältnis wird dabei das Verhältnis des maximal zum minimal einstellbaren Transmissionsgrad verstanden. Bereits ein
5 Transmissionseinstellverhältnis des einstellbaren Filters von 2:1 ergibt bereits deutliche Vorteile gegenüber einem System ohne einstellbaren bzw. schaltbaren Filter. Insbesondere können dadurch besonders hohe Messraten während der Überwachung bzw. Beobachtung erreicht werden. Ein Transmissionseinstellverhältnis von 2:1 ermöglicht bereits ungefähr
10 eine Verdopplung der erzielbaren Messrate gegenüber einer herkömmlichen Beobachtung ohne einstellbaren Filter. Somit kann der Laserbearbeitungsprozess mit verbesserter Genauigkeit beobachtet werden.

15 Besonders bevorzugt ist es, wenn der Filter eine Schaltzeit von höchstens 5ms, bevorzugt zwischen 1µs und 5ms, aufweist. Dabei ist unter Schaltzeit die Zeitdauer von einer Einstellung eines Transmissionsgrades zu einer nächsten Einstellung zu verstehen. Auf diese Weise wird eine erforderliche Synchronisation des Einstellvorganges mit der Bildaufnahme
20 durch die Kamera prozesssicher ermöglicht.

Wenn der Filter in einem Spektralbereich von 400 bis 950 nm transmittiert, kann die Transmission weitgehend im Wellenlängenbereich sichtbaren Lichts geändert werden.

25 Bevorzugt kann vorgesehen sein, dass der Filter eine freie Apertur von mindestens 1 mm, bevorzugt zwischen 1mm und 20mm aufweist. So kann sichergestellt werden, dass am Filter keine unerwünschten Beugungseffekte auftreten. Gleichzeitig kann der Bauraumbedarf des
30 Filters hinreichend klein gehalten werden.

Es kann vorgesehen sein, dass der Beobachtungsstrahlengang zumindest in einem Abschnitt coaxial zu einem Bearbeitungsstrahl verläuft. Alternativ kann vorgesehen sein, dass der Beobachtungsstrahlengang off-axial zu dem Bearbeitungsstrahl, mit anderen Worten schräg zum Bearbeitungsstrahl, verläuft.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Synchronisationseinheit ausgebildet ist, wenigstens ein erstes Steuersignal zur zeitlich synchronisierten Steuerung der Transmission des Filters und/oder der Aufnahmezeitpunkte der Kamera und/oder der Zeitpunkte von Helligkeitsänderungen der zusätzlichen Beleuchtungsquelle zu generieren. Es kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Synchronisationseinheit mehrere Steuersignale, insbesondere jeweils wenigstens eines je zu steuerndem Element, erzeugt. Die Steuersignale können insbesondere zur zeitlichen Synchronisation bzw. Steuerung des Filters, der Kamera und/oder der zusätzlichen Beleuchtungsquelle dienen. Die Steuersignale können auch zur Steuerung weiterer Einstellungen genutzt werden, beispielsweise zur Variation der Leistung der zusätzlichen Beleuchtungsquelle, zur Helligkeitsregelung bzw. Empfindlichkeitsregelung der Kamera und dergleichen.

Dazu kann die Synchronisationseinheit als Rechneinheit ausgebildet sein oder einen Teil einer Rechneinheit, insbesondere der Bildverarbeitungsrechneinheit, bilden.

Es kann vorgesehen sein, dass die Beobachtungsvorrichtung eine Echtzeit-Computerprogrammkomponente zur Generierung wenigstens eines Synchronisationssteuersignales aufweist. Vorteilhafterweise kann die Echtzeit-Computerprogrammkomponente in einem Speicherbereich der

Rechnereinheit ausführbar abgespeichert sein. Dadurch ist es möglich, die Echtzeit-Computerprogrammkomponente auf der Rechnereinheit auszuführen.

- 5 Die Echtzeit-Computerprogrammkomponente kann insbesondere ausgebildet sein, das wenigstens eine Synchronisationssteuersignal zu generieren und an die Synchronisationseinheit zu liefern. Somit können auf einfache Weise zur synchronisierten Steuerung erforderliche Steuerungsaufgaben realisiert werden.

10

Die Echtzeit-Computerprogrammkomponente kann dazu als eigenständige Echtzeit-Programmkomponente gestaltet sein. Es kann auch vorgesehen sein, dass die Rechnereinheit mit einem Echtzeit-Betriebssystem ausgestattet ist, das die Echtzeit-Computerprogrammkomponente unter
15 Echtzeitbedingungen ausführt. Durch die Ausgestaltung als Echtzeit-Computerprogrammkomponente kann in vorteilhafter Weise sichergestellt werden, dass die von der Synchronisationseinheit gebildeten Steuersignale entsprechend der jeweiligen Steueraufgabe nicht nur korrekt sondern auch rechtzeitig bereitgestellt werden können.

20

Die Synchronisationseinheit kann als Triggerboard ausgebildet sein. Das Triggerboard kann in besonders vorteilhaften Ausführungen durch von einem die aufgenommenen Bilder weiterverarbeitenden Framegrabber bzw. einem in diesem implementierten codierten Ablauf gesteuert werden.
25 Der Framegrabber kann ebenfalls Teil der Rechnereinheit sein. Auch kann in alternativen Ausführungen vorgesehen sein, die Synchronisationseinheit auf einer eigenständigen Steuerplatine und/oder in der Kamera auszubilden.

Die Beobachtungsvorrichtung, vorzugsweise die Synchronisationseinheit und/oder die Echtzeit-Computerprogrammkomponente, kann ein Verzögerungselement zur Verzögerung eines Steuersignals aufweisen. Das Verzögerungselement kann beispielsweise als Programmelement der
5 Echtzeit-Computerprogrammkomponente gebildet sein. Auch kann das Verzögerungselement als elektronische Schaltung, vorzugsweise als Teil der Synchronisationseinheit, gebildet sein. Ist beispielsweise das Steuersignal Impuls-basiert, so kann das Verzögerungselement die Impulse des Steuersignals um eine vordefinierte Zeitdauer verzögern.

10 Durch das Verzögerungselement kann insbesondere eines der Steuersignale der Synchronisationseinheit gegenüber einem der anderen Steuersignale der Synchronisationseinheit zeitlich verzögert bzw. versetzt werden. Insbesondere kann das Steuersignal, das die Kamera steuert,
15 gegenüber einem Steuersignal, das den einstellbaren Filter und/oder die zusätzliche Beleuchtungsquelle steuert, um wenigstens die Zeitdauer verzögert werden, die der einstellbare Filter zur Einstellung eines nächsten Transmissionsgrades und/oder die zusätzliche Beleuchtungsquelle zur Einstellung einer nächsten Helligkeit benötigt. Somit können durch die
20 vordefinierte Verzögerung die einzelnen Komponenten zueinander noch besser zeitlich abgestimmt werden. Insbesondere können auch sonstige durch die Komponenten verursachte Verzögerungen und/oder ein möglicher Jitter ausgeglichen werden.

25 Die Steuereinheit kann als separates Modul ausgebildet sein. Sie kann insbesondere an einem Bearbeitungskopf einer Laserbearbeitungsmaschine, in einem Schaltschrank oder in der Bildverarbeitungsrechnereinheit angeordnet sein. Alternativ kann die Steuereinheit auch in die Rechnereinheit bzw. die Synchronisationseinheit
30 bzw. das Triggerboard und/oder in die Echtzeit-

Computerprogrammkomponente integriert oder als weitere auf der Rechnereinheit ausführbar installierbare Echtzeit-Computerprogrammkomponente ausgebildet sein.

- 5 Die Steuereinheit kann eine Schnittstelle zu weiteren Bildverarbeitungseinheiten, zu weiteren Sensorik- und/oder zu weiteren Maschinensteuerungen aufweisen. Über diese Schnittstelle kann eine Parametrisierung und Ansteuerung des Filters erfolgen. Die Parametrisierung kann dadurch besonders einfach erfolgen. Ferner kann
10 vorgesehen sein, dass die Parametrisierung manuell durch einen Bediener, automatisiert, über Softwarealgorithmen und/oder externe Schnittstellen angepasst werden kann.

- Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Beobachtungsvorrichtung einen
15 im Beobachtungsstrahlengang angeordneten spektralen Filter aufweist. Somit können beispielsweise kühlere und in der Regel dunklere Zonen mit niedriger Farbtemperatur schwächer und gleichzeitig heißere und somit in der Regel hellere Zonen mit höherer Farbtemperatur stärker gefiltert werden. Auch kann der spektrale Filter beispielsweise den einstellbaren
20 Filter und/oder die Kamera vor Beschädigung durch von einem zu bearbeitenden bzw. zu beobachtenden Werkstück ausgehender Rückreflexion bzw. Abstrahlung von Wärmestrahlung schützen.

- Ferner kann es vorgesehen sein, dass die Beobachtungsvorrichtung ein im
25 Beobachtungsstrahlengang angeordnetes Beobachtungsobjektiv aufweist, wobei der spektrale Filter zwischen dem Werkstück und dem Beobachtungsobjektiv und der einstellbare Filter zwischen dem Beobachtungsobjektiv und der Kamera angeordnet sein können. Insbesondere kann der einstellbare Filter dicht vor der Kamera angeordnet
30 werden.

Des Weiteren fällt in den Bereich der Erfindung eine Laserbearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstücks mit einer Beobachtungsvorrichtung gemäß der Erfindung. Die

5 Laserbearbeitungsvorrichtung kann dabei als Laserschweißvorrichtung, als Laserschneidvorrichtung und/oder als Laserscanvorrichtung ausgebildet sein.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden

10 Beschreibung von Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie von Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Vorrichtungen, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, sowie aus den Ansprüchen. Die dort gezeigten Merkmale sind nicht

15 erfindungsgemäßen Besonderheiten deutlich sichtbar gemacht werden können. Die verschiedenen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen bei Varianten der Erfindung verwirklicht sein. Es zeigen:

20 Fig. 1 eine Laserbearbeitungsvorrichtung mit einer Beobachtungsvorrichtung gemäß der Erfindung;

Fig. 2a eine schematische Darstellung der aus einer gemäß der

bis 2c Erfindung synchronisierten Steuerung einer Kamera, einem

25 einstellbaren Filter und einer Beleuchtungsquelle resultierenden Zeitverläufe und

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines einstellbaren Filters mit

drei auf unterschiedliche Transmissionsgrade eingestellten

30 Bereichen.

Die Figur 1 zeigt in einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Laserbearbeitungsvorrichtung 1. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 ein Laserschweißgerät. Die
5 Laserbearbeitungsvorrichtung 1 weist einen Laser 2 auf, der ein Werkstück 3 mittels eines Bearbeitungsstrahls 6 bearbeitet, d.h. laserschweißt.

Der Laserschweißvorgang, allgemein der Laserbearbeitungsprozess, wird
10 durch eine Beobachtungsvorrichtung 4 beobachtet bzw. überwacht. Die Beobachtungsvorrichtung 4 weist dazu eine Kamera 10 auf. Die Kamera 10 ist als Flächendetektor mit einem CMOS-basierten Fotosensorelement ausgebildet.

15 Entlang ihres Beobachtungsstrahlenganges 5 ist ein gesteuert einstellbarer bzw. zwischen verschiedenen Transmissionsgraden schaltbarer Filter 11 angeordnet. Der einstellbare bzw. schaltbare Filter 11 ist als teiltransparentes LCD-Element ausgebildet. Er weist einen Spektralbereich von 400 bis 950 nm und eine freie Apertur von 20mm auf. In diesem
20 Spektralbereich wirkt der Filter 11 als Neutraldichtefilter bzw. ist als solcher in diesem Spektralbereich ausgebildet. Durch den Filter 11 hindurchtretendes Licht wird somit entsprechend einem jeweils eingestellten Transmissionsgrad weitgehend farbneutral geschwächt.

25 Als LCD-Element ausgebildet, erlaubt es der Filter 11, pixelweise durch geeignete elektrische Steuersignale angesteuert zu werden und somit unterschiedliche Bereiche seiner Filterfläche auf unterschiedliche Transmissionsgrade einzustellen. Somit kann auf dem Filter 11 ein einstellbares Muster mit unterschiedlichen Transmissionsgraden erzeugt

werden. Dabei beträgt das Transmissionseinstellverhältnis des Filters 11 mindestens 2:1, beispielsweise 100:1.

5 Mit seiner Filterfläche überdeckt der einstellbare Filter 11 das
Fotosensorelement der Kamera 10.

Entlang des Beobachtungsstrahlenganges 5 ist ein Objektiv 13 dem einstellbaren Filter 11 vorgelagert.

10 Wiederum dem Objektiv 13 entlang des Beobachtungsstrahlengangs 5 vorgelagert ist ein spektraler Filter 14. Der spektrale Filter 14 dient zur Vorfilterung des auf die Kamera 10 eintreffenden Lichtes. Auch dient der spektrale Filter 14 zum Schutz des einstellbaren Filters 11 und der Kamera 10 gegenüber zu intensiver Wärmestrahlung.

15 Ausgehend vom Laser 2 durchtritt ausgestrahltes Laserlicht 6 eine Kollimationslinse 21 sowie einen Strahlteiler 22, um nachfolgend durch eine Fokussierlinse 23 auf einen Brennpunkt 24 am Werkstück 3 fokussiert zu werden.

20 Vom Werkstück 3 bzw. vom Brennpunkt 24 sowie von einer an den Brennpunkt 24 angrenzenden Prozesszone ausgehende Strahlung gelangt wiederum durch die Fokussierlinse 23. Am Strahlteiler 22 wird die auf diesen koaxial auftreffende Strahlung in den Beobachtungsstrahlengang 5
25 der Beobachtungsvorrichtung 4 umgelenkt. Somit tritt die Strahlung durch den spektralen Filter 14, das Objektiv 13 und den einstellbaren Filter 11 und trifft auf die Kamera 10.

30 Um das Werkstück 3 außerhalb des Brennpunktes 24 zusätzlich zu beleuchten und dort ebenfalls beobachten zu können, ist ferner eine

zusätzliche Beleuchtungsquelle 25 in Form einer Lichtschnitt-Beleuchtung off-axial, d. h. schräg zum Bearbeitungsstrahl 6, angeordnet. Außerdem ist eine weitere zusätzliche Beleuchtungsquelle 26 als Auflicht-Beleuchtung ringförmig um den Bearbeitungsstrahl 6 herum angeordnet.

5

Zum Schalten des Filters 11 zwischen verschiedenen Transmissionsgraden ist eine Synchronisationseinheit 15 über Steuerleitungen 16a, 16b, 16c, 16d mit den zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25 und 26, einer Ansteuerelektronik 12 sowie der Kamera 10 verbunden. Die Ansteuerelektronik 12 ist über eine Steuerleitung 16e mit dem einstellbaren Filter 11 verbunden.

10

Die Synchronisationseinheit 15 ist ausgebildet, mittels über die Steuerleitung 16a, 16b, 16c und 16d übertragenen Steuersignalen die Kamera 10, die Ansteuerelektronik 12 sowie die zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25 und 26 synchronisiert anzusteuern.

15

Die Synchronisationseinheit 15 ist als Triggerboard einer Bildverarbeitungsrechnereinheit 17 ausgebildet. In einem Speicherbereich der Bildverarbeitungsrechnereinheit 17 ist eine Computerprogrammkomponente 18, die als Echtzeit-Computerprogrammkomponente ausgebildet ist, ausführbar abgespeichert. Die Computerprogrammkomponente 18 ist eingerichtet, Synchronisationssteuersignale zu generieren und an die Synchronisationseinheit 15 zu liefern. Dazu weist die Computerprogrammkomponente 18 ein als Programmelement ausgebildetes Verzögerungselement 19 auf. Das Verzögerungselement 19 verzögert Impulse eines als Impulsfolge ausgebildeten Synchronisationssteuersignals für den Filter 11 um vordefinierte Zeitspannen und bildet hieraus Synchronisationssteuersignale bzw.

20

25

30

Impulsfolgen für die zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25, 26 und die Kamera 10.

Die Synchronisationseinheit 15 wandelt diese

- 5 Synchronisationssteuersignale in auf die Kamera 10, die Ansteuerelektronik 12 sowie die zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25 und 26 angepasste elektrische Steuersignale um und überträgt diese über die Steuerleitungen 16a, 16b, 16c, 16d.
- 10 Die Ansteuerelektronik 12 ist ausgebildet, in Abhängigkeit von dem über die Steuerleitung 16b empfangenen Steuersignal ein Ansteuersignal über die Steuerleitung 16e an den einstellbaren Filter 11 zu übertragen. Das Ansteuersignal ist dazu zweckmäßigerweise als Rechteckwechselspannung ausgebildet und wird zur Erzeugung eines gewünschten
- 15 Transmissionsgrads an den schaltbaren bzw. einstellbaren Filter 11 übertragen.

- Mit der Ansteuerelektronik 12 des als LCD-Element ausgebildeten einstellbaren Filters 11 ist ferner eine Steuereinheit 20 über eine
- 20 Steuerleitung 16f verbunden, die die zur Ansteuerung eines pixelweisen Transmissionsmusters des Filters 11 notwendigen Steuersignale erzeugt. Verschiedene räumliche Transmissionsprofile des Filters 11 sind jeweils als Konfigurationsdatensatz in der Steuereinheit 20 gespeichert und werden durch die Bildverarbeitungsrechnereinheit 17 über eine Steuerleitung 16g,
- 25 über die die Steuereinheit 20 mit der Bildverarbeitungseinheit 17 verbunden ist, ausgewählt. In einer alternativen Ausgestaltung können die Konfigurationsdatensätze auch durch einen Bediener (z.B. am Steuerrechner des Gesamtsystems) oder durch ein Steuerprogramm der Laserbearbeitungsvorrichtung 1 über eine entsprechende Schnittstelle
- 30 ausgewählt werden. In Abhängigkeit von einer vordefinierten Messaufgabe

legt ein Konfigurationsdatensatz die Position und Ausdehnung einzelner Transmissionsbereiche des Filters 11 sowie den dort einzustellenden Transmissionsgrad fest. Außerdem kann ein Konfigurationsdatensatz auch Daten zu Beleuchtungsstärke und -zeit der Beleuchtungsquellen 25, 26 sowie zu Belichtungszeiten der Kamera 10 enthalten.

Anhand der Figuren 2a bis 2c sowie der Figur 3 werden nun das Verfahren gemäß der Erfindung sowie hieraus resultierende zeitliche Abfolgen näher erläutert.

Figur 2a zeigt dazu einen zeitlichen Verlauf der Transmission des einstellbaren Filters 11 der Figur 1. Der Figur 2a sind Aufnahmezeitpunkte a_1 , a_2 , a_3 der Kamera 10 (Figur 1) zu entnehmen. Vor dem Aufnahmezeitpunkt a_1 wird mit einem zeitlichen Vorlauf Δf_1 ein Transmissionsgrad b des Filters 11 eingestellt bzw. geschaltet. b beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 50%.

Mit einem zeitlichen Vorlauf Δf_2 zum darauffolgenden Aufnahmezeitpunkt a_2 wird die Transmission des Filters 11 auf einen Transmissionsgrad a , in diesem Ausführungsbeispiel 10%, eingestellt bzw. geschaltet. Mit einem weiteren zeitlichen Vorlauf Δf_3 zum darauffolgenden Aufnahmezeitpunkt a_3 wird dann die Transmission des Filters 11 auf einen Transmissionsgrad c , in diesem Fall 90%, eingestellt bzw. geschaltet. Die Vorlaufdauern Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 sind etwas länger als die Schaltzeit des Filters 11 gewählt, die in diesem Ausführungsbeispiel höchstens 5ms beträgt. Somit kann der Filter 11 sicher auf die gewünschte folgende Transmission umgeschaltet werden, bevor das nächste Bild aufgenommen wird.

Der Figur 2b sind nun zugehörige Belichtungszeiten der Kamera 10 zu entnehmen. Dazu sind jeweils Phasen 33, 34, 35 markiert, in denen die

Kamera 10 ein Bild aufnimmt bzw. das Fotosensorelement der Kamera 10 belichtet wird.

Zu erkennen ist, dass beginnend mit Aufnahmezeitpunkt a_1 die Kamera 10 mit einer Belichtungsdauer Δk_1 , zum Aufnahmezeitpunkt a_2 mit einer Belichtungsdauer Δk_2 und zum Aufnahmezeitpunkt a_3 mit einer Belichtungsdauer Δk_3 belichtet wird. In diesem Ausführungsbeispiel ist die kürzeste Belichtungsdauer durch Δk_2 gegeben und die längste Belichtungsdauer durch Δk_1 .

Der Figur 2c sind Helligkeitsänderungen der zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25 und 26 (Figur 1) zu entnehmen. Zu erkennen ist, dass zum Aufnahmezeitpunkt a_1 die zusätzliche Beleuchtungsquelle 25 mit der Helligkeit e und zum Aufnahmezeitpunkt a_3 die zusätzliche Beleuchtungsquelle 26 mit der Helligkeit d eingeschaltet ist. Zum Aufnahmezeitpunkt a_2 sind die zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25, 26 ausgeschaltet. Die Helligkeitsänderungen bzw. -einstellungen erfolgen mit einem zeitlichen Vorlauf Δb_1 zum Aufnahmezeitpunkt a_1 , Δb_2 zum Aufnahmezeitpunkt a_2 bzw. Δb_3 zum Aufnahmezeitpunkt a_3 . Auch diese zeitlichen Vorläufe Δb_1 , Δb_2 , Δb_3 sind abgestimmt und etwas länger gewählt als die jeweiligen Einstelldauern der zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25, 26.

Zu erkennen ist ferner, dass zum Aufnahmezeitpunkt a_1 die Helligkeit der zusätzlichen Beleuchtungsquelle 25 (Laserlinie für Lichtschnitt) auf einen Maximalwert e eingestellt ist, wohingegen zum Aufnahmezeitpunkt a_3 die Helligkeit der Beleuchtungsquelle 26 (Auflichtbeleuchtung) auf einen geringeren Helligkeitswert d eingestellt ist.

Somit erfolgen die Einstellungen der Transmission des Filters 11 sowie die Helligkeitsänderungen der Beleuchtungsquellen 25, 26 synchronisiert zu Aufnahmezeitpunkten a_1 , a_2 , a_3 der Kamera 10. Beispielsweise anhand des Aufnahmezeitpunkts a_3 ist auch zu erkennen, dass zunächst die

5 Transmission des Filters 11 eingestellt wird, dann die Beleuchtungsquellen 25, 26 ein- oder ausgeschaltet werden und sodann ein Bild durch die Kamera 10 aufgenommen wird.

Die zeitlichen Abstände zwischen den Aufnahmezeitpunkten a_1 , a_2 , a_3

10 entsprechen im Übrigen in diesem Ausführungsbeispiel dem Kehrwert der Bildwiederholrate bzw. der Bildwechseldauer der Kamera 10.

Die zeitliche Steuerung des Filters 11 sowie die zeitliche Steuerung der zusätzlichen Beleuchtungsquellen 25, 26 sind der jeweiligen

15 Aufnahmearbeit angepasst ausgestaltet. Die Aufnahme zum Aufnahmezeitpunkt a_1 dient beispielsweise zur Nahtqualitätskontrolle mit Hilfe einer Lichtschnittmessung. Die Aufnahme zum Aufnahmezeitpunkt a_2 dient zur Überwachung des Laserbrennpunktes 24 (Figur 1). Die Aufnahme zum Aufnahmezeitpunkt a_3 dient beispielsweise zur

20 Nahtlageregelung durch Erkennung der Fügestelle mit Hilfe einer Auflichtbeleuchtung.

Daher ist den Figuren 2a bis 2c auch zu entnehmen, dass zum Aufnahmezeitpunkt a_1 das Werkstück 3 (Figur 1) mit einer hohen

25 Intensität zusätzlich beleuchtet wird, wobei der Filter 11 auf den mittleren Transmissionsgrad b eingestellt ist.

Zum Aufnahmezeitpunkt a_2 erfolgt eine Aufnahme der Strahlung an der Position des Brennpunktes 24, die stark abgeschwächt werden muss.

Zur Nahtlageregelung wird das Werkstück 3 am Aufnahmezeitpunkt a_3 mit Auflicht aus der zusätzlichen Beleuchtungsquelle 26 beleuchtet. Zur sicheren Erkennung beispielsweise einer Füge Stelle wird eine hohe Lichtintensität auf dem Fotosensorelement der Kamera 10 benötigt. Daher
5 wird das Bild durch den Filter 11 mit dem vergleichsweise hohen Transmissionsgrad c nur geringfügig abgeschwächt und von der Kamera 10 aufgenommen.

Die Bildaufnahmen zu den Zeitpunkten a_1 , a_2 und a_3 werden während des
10 Laserschweißprozesses fortlaufend nacheinander wiederholt.

Der Figur 3 ist nun eine weitere Variante des Verfahrens gemäß der Erfindung zu entnehmen. Dazu sind in der Figur 3 eine schematische Frontansicht der Kamera 10 sowie des der Kamera 10 vorgelagerten
15 Filters 11 abgebildet.

Zu erkennen ist, dass in dieser Variante die Transmission des Filters 11 in den Bereichen I, II und III auf unterschiedliche Transmissionsgrade b' , a' , c' eingestellt wird. Auch in dieser Verfahrensvariante ist der kleinste
20 Transmissionsgrad durch a' und der größte Transmissionsgrad durch c' gegeben.

Zu erkennen sind Messfenster 30, 31 und 32, d.h. Bereiche des Kamerabilds der Kamera 10, die zur Prozessüberwachung ausgewertet
25 werden. Vor den Messfenstern 30, 31, 32 sind jeweils unterschiedliche Transmissionsgrade in den unterschiedlichen Bereichen I, II und III des Filters 11 eingestellt.

Das Messfenster 30 des Zustands I ist zur Nahtqualitätskontrolle ausgebildet. Der Transmissionsgrad b' des Filters 11 ist beispielsweise auf einen Wert von 50% eingestellt.

- 5 Das Messfenster 31 des Bereichs II ist zur Überwachung des Laserbrennpunktes 24 ausgebildet. Der Transmissionsgrad a' des Filters 11 ist beispielsweise auf einen Wert von 10% eingestellt. .

- Das Messfenster 32 des Bereichs III ist zur Nahtlageregelung ausgebildet.
10 Der Transmissionsgrad c' des Filters 11 ist beispielsweise auf einen Wert von 90% eingestellt.

- Die Bildaufnahme erfolgt in dieser Verfahrensvariante für alle Messfenster zeitgleich. Angepasst an die Mess- bzw. Beobachtungsaufgabe und an die
15 Parameter des zu beobachtenden Prozesses können die Transmissionsgrade a' , b' , c' bedarfsweise gesteuert und flexibel zwischen zwei Messungen verändert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Beobachtung und/oder Überwachung eines
Laserbearbeitungsprozesses eines Werkstücks (3) mittels einer
5 Kamera (10), wobei die Transmission eines sich in einem
Beobachtungsstrahlengang (5) der Kamera (10) angeordneten,
einstellbaren Filters (11) eingestellt wird, dadurch gekennzeichnet,
dass die Transmission des Filters (11) in wenigstens zwei
unterschiedlichen Bereichen (I, II, III) des Filters (11) gesteuert auf
10 unterschiedliche Transmissionsgrade (a, b, c, a', b', c') eingestellt wird
und/oder die Transmission zumindest in einem Bereich des Filters (11)
zeitlich mit Aufnahmezeitpunkten (a₁, a₂, a₃, a'₁, a'₂, a'₃) der Kamera
(10) und/oder mit Zeitpunkten von Helligkeitsänderungen mindestens
einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle (25, 26) synchronisiert auf
15 unterschiedliche Transmissionsgrade (a, b, c, a', b', c') eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der
Transmissionsgrad des Filters eingestellt wird, indem der
Spektralbereich der durch den Filter (11) transmittierten Strahlung
20 verändert wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass die Transmission des Filters (11) mit einem
vordefinierten Zeitversatz, insbesondere einem zeitlichen Vorlauf (Δf_1 ,
25 Δf_2 , Δf_3), zu den Aufnahmezeitpunkten (a₁, a₂, a₃, a'₁, a'₂, a'₃)
und/oder den Zeitpunkten der Helligkeitsänderungen der zusätzlichen
Beleuchtungsquelle (25, 26) geändert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
30 gekennzeichnet, dass die Helligkeit der zusätzlichen

Beleuchtungsquelle (25, 26), die Belichtungszeit (Δk_1 , Δk_2 , Δk_3) der Kamera (10) und/oder die Aufnahmeempfindlichkeit der Kamera (10) in Abhängigkeit von der eingestellten Transmission des Filters (11) gewählt wird.

5

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zunächst die Transmission des Filters (11) eingestellt wird, anschließend oder zeitgleich die zusätzliche Beleuchtungsquelle (25, 26) eingestellt, insbesondere ein- oder ausgeschaltet, wird und sodann ein Bild durch die Kamera (10) aufgenommen wird.

10

6. Beobachtungsvorrichtung (4), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer Kamera (10), mindestens einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle (25, 26) und einem in einem Beobachtungsstrahlengang (5) der Kamera (10) angeordneten einstellbaren Filter (11), dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachtungsvorrichtung (4) eine Steuereinheit (20) aufweist, die eingerichtet ist, die Transmission des Filters (11) in wenigstens zwei unterschiedlichen Bereichen des Filters (11) auf unterschiedliche Transmissionsgrade (a , b , c , a' , b' , c') einzustellen, und/oder dass die Beobachtungsvorrichtung (4) eine Synchronisationseinheit (15) aufweist, die eingerichtet ist, die Transmission zumindest in einem Bereich des Filters (11) mit Aufnahmezeitpunkten (a_1 , a_2 , a_3 , a'_1 , a'_2 , a'_3) der Kamera (10) und/oder mit Zeitpunkten von Helligkeitsänderungen einer zusätzlichen Beleuchtungsquelle (25, 26) synchronisiert auf verschiedene Transmissionsgrade (a , b , c , a' , b' , c') einzustellen.

15

20

25

7. Beobachtungsvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) als Neutraldichtefilter ausgebildet ist.
8. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Transmission des Filters (11) elektrisch auf unterschiedliche Transmissionsgrade einstellbar ist.
9. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) wenigstens ein Flüssigkristall-Element aufweist, wobei das Flüssigkristall-Element bevorzugt mit einer Rechteckwechselspannung angesteuert wird.
10. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) einen Flüssigkristall-Retarder aufweist.
11. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) ein Transmissionseinstellverhältnis von mindestens 2:1 aufweist.
12. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) eine Schaltzeit von höchstens 5ms, bevorzugt zwischen 1µs und 5ms, aufweist.
13. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) in einem Spektralbereich von 400-950 nm transmittiert.

14. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Filter (11) eine freie Apertur von mindestens 1 mm, bevorzugt zwischen 1 mm und 20 mm, aufweist.
- 5 15. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Synchronisationseinheit (15) ausgebildet ist, wenigstens ein erstes Steuersignal zur zeitlich synchronisierten Steuerung der Transmission des Filters (11) und/oder der Aufnahmezeitpunkte (a_1 , a_2 , a_3 , a'_1 , a'_2 , a'_3) der Kamera (10) und/oder der Zeitpunkte von Helligkeitsänderungen der zusätzlichen Beleuchtungsquelle (25, 26) zu generieren.
- 10 16. Beobachtungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Beobachtungsvorrichtung (4), vorzugsweise die Synchronisationseinheit (15) und/oder eine Echtzeit-Computerprogrammkomponente (18) zur Generierung wenigstens eines Synchronisationssteuersignals, ein Verzögerungselement (19) zur Verzögerung eines Steuersignals aufweist.
- 15 17. Laserbearbeitungsvorrichtung (1) zur Bearbeitung eines Werkstücks (3) mit einer Beobachtungsvorrichtung (4) nach einem der Ansprüche 6 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserbearbeitungsvorrichtung (1) als Laserschweißvorrichtung, als Laserschneidvorrichtung und/oder als Laserscanvorrichtung ausgebildet ist.
- 20 25

1 / 3

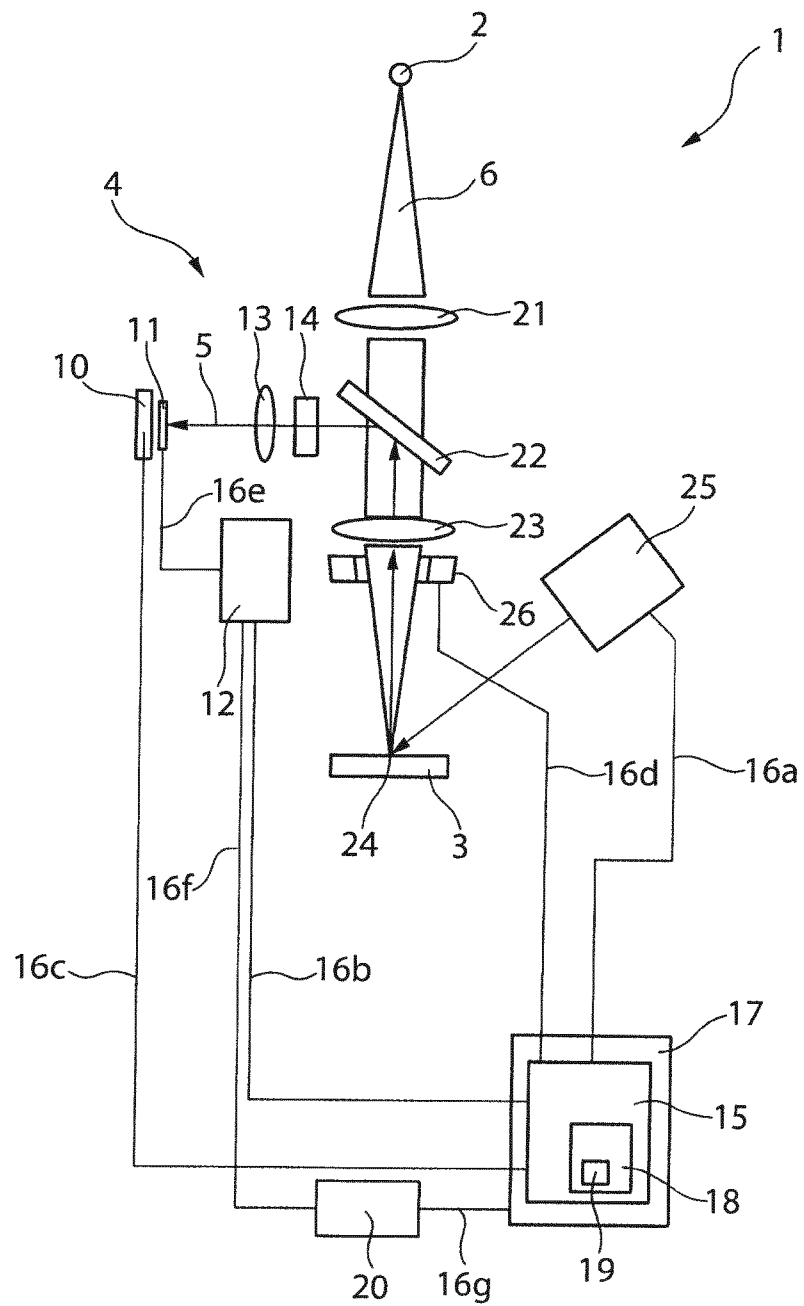


Fig. 1

2 / 3

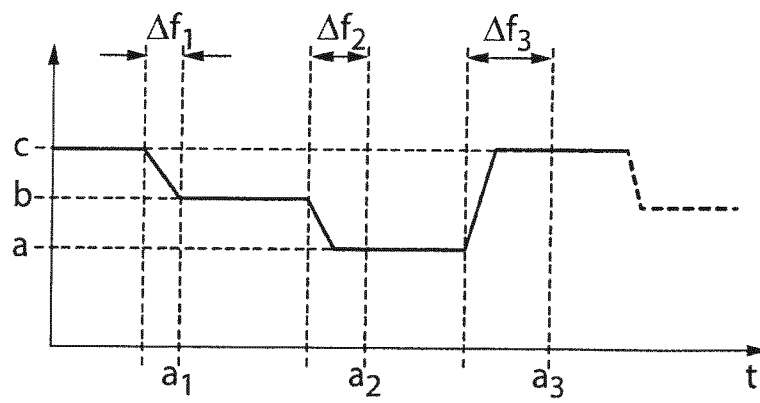


Fig. 2a

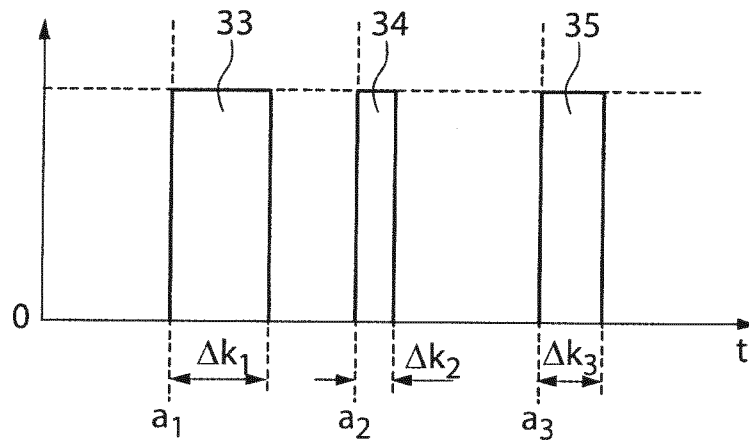


Fig. 2b

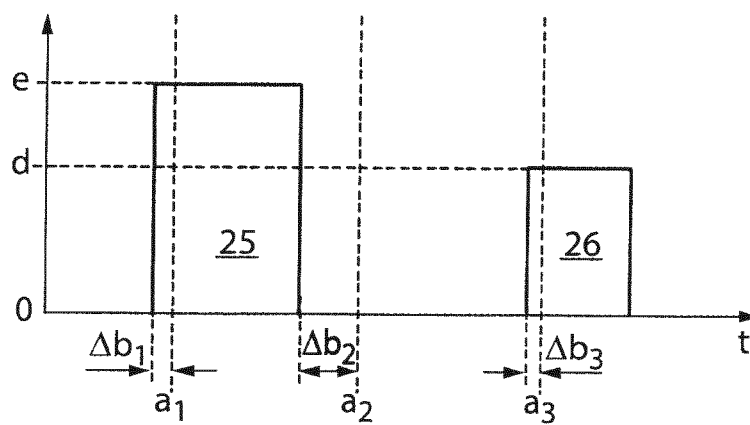


Fig. 2c

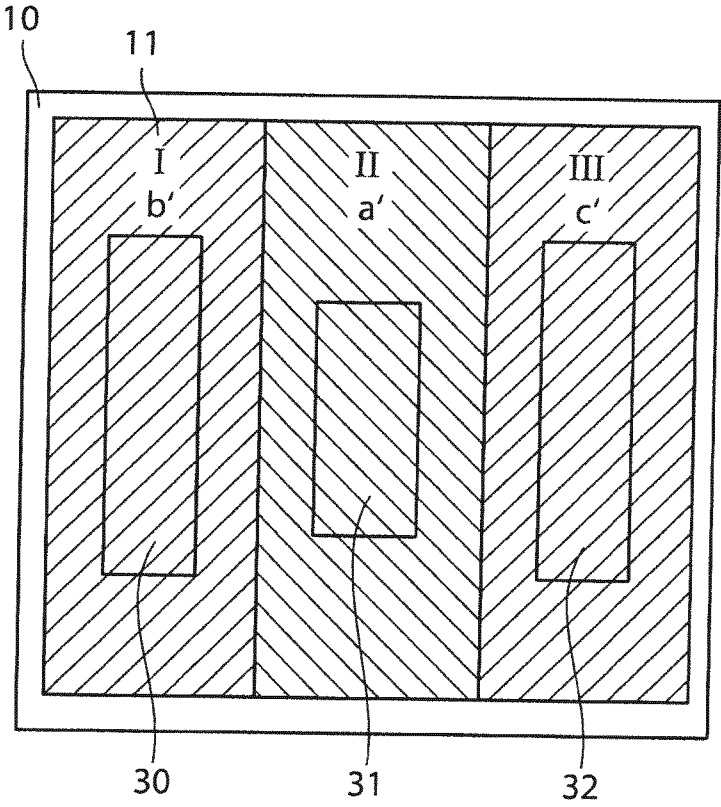


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/070212

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B23K26/03 B23K9/095
ADD.

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	DE 10 2009 050784 A1 (LESSMUELLER LASERTECHNIK GMBH [DE]) 26 May 2011 (2011-05-26)	1-8, 11-17
Y	abstract figures 1,2 paragraphs [0020] - [0027], [0040] - [0045]	9,10
X	DE 198 52 302 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 25 May 2000 (2000-05-25) abstract column 6, line 14 - line 23 column 10, line 11 - line 29 ----- -/-	1,2



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 November 2017

Date of mailing of the international search report

08/12/2017

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Perret, William

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/070212

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2015 211335 A1 (FRONIUS INT GMBH [AT]) 7 April 2016 (2016-04-07)	6-17
A	abstract paragraphs [0007], [0008], [0012] - [0018], [0021] - [0024] -----	1-5
Y	JP 3 322549 B2 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 9 September 2002 (2002-09-09) abstract -----	9,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/070212

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102009050784 A1	26-05-2011	NONE	
DE 19852302 A1	25-05-2000	DE 19852302 A1	25-05-2000
		EP 1128927 A1	05-09-2001
		US 6791057 B1	14-09-2004
		WO 0029166 A1	25-05-2000
DE 102015211335 A1	07-04-2016	AT 515916 A4	15-01-2016
		DE 102015211335 A1	07-04-2016
		WO 2016044874 A1	31-03-2016
JP 3322549 B2	09-09-2002	JP 3322549 B2	09-09-2002
		JP H09192836 A	29-07-1997

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K26/03 B23K9/095
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	DE 10 2009 050784 A1 (LESSMUELLER LASERTECHNIK GMBH [DE]) 26. Mai 2011 (2011-05-26)	1-8, 11-17
Y	Zusammenfassung Abbildungen 1,2 Absätze [0020] - [0027], [0040] - [0045] -----	9,10
X	DE 198 52 302 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 25. Mai 2000 (2000-05-25) Zusammenfassung Spalte 6, Zeile 14 - Zeile 23 Spalte 10, Zeile 11 - Zeile 29 -----	1,2
X	DE 10 2015 211335 A1 (FRONIUS INT GMBH [AT]) 7. April 2016 (2016-04-07)	6-17
A	Zusammenfassung Absätze [0007], [0008], [0012] - [0018], [0021] - [0024] ----- -/-	1-5

☒ 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

29. November 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/12/2017

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.
Y	JP 3 322549 B2 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 9. September 2002 (2002-09-09) Zusammenfassung -----	9,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/070212

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009050784 A1	26-05-2011	KEINE	
DE 19852302 A1	25-05-2000	DE 19852302 A1	25-05-2000
		EP 1128927 A1	05-09-2001
		US 6791057 B1	14-09-2004
		WO 0029166 A1	25-05-2000
DE 102015211335 A1	07-04-2016	AT 515916 A4	15-01-2016
		DE 102015211335 A1	07-04-2016
		WO 2016044874 A1	31-03-2016
JP 3322549 B2	09-09-2002	JP 3322549 B2	09-09-2002
		JP H09192836 A	29-07-1997