

(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
26. August 2021 (26.08.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/165380 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/244 (2014.01) B23K 101/38 (2006.01)
B23K 26/03 (2006.01) B23K 103/10 (2006.01)
B23K 31/02 (2006.01) B23K 103/12 (2006.01)
B23K 31/12 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2021/053993

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Februar 2021 (18.02.2021)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2020 104 462.3
20. Februar 2020 (20.02.2020) DE

(71) Anmelder: **PRECITEC GMBH & CO. KG** [DE/DE];
Draisstraße 1, 76571 Gaggenau (DE).

(72) Erfinder: **REISER, Jens**; Buchenweg 14, 76287 Rheinstetten (DE). **KÖNIG, Lutz**; Orsinistraße 8, 76473 Iffezheim (DE). **SAUER, Erich**; Favoritestraße 45, 76456 Kuppenheim (DE). **LORENZ, Thorsten**; Mittelweg 25, 76473 Iffezheim (DE). **NOLTE, Jonas**; Karlstraße 130, 76137 Karlsruhe (DE). **DONKE, Alexis**; Gartenweg 123, 75181

Pforzheim (DE). **GRAU, Sascha**; Kriegsstraße 121, 76135 Karlsruhe (DE). **MOSER, Rüdiger**; Franz-Hirth-Straße 2, 76316 Malsch (DE). **DUONG, Wei Quang**; Otto-Dix-Straße 2, 76437 Rastatt (DE). **STREBEL, Matthias**; Bismarckstraße 7, 76571 Gaggenau (DE). **STEFAN, Birmanns**; Stygstraße 11a, 8462 Rheinau (CH).

(74) Anwalt: **TER MEER STEINMEISTER & PARTNER PATENTANWÄLTE MBB**; Nymphenburger Straße 4, 80335 München (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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: METHOD FOR ANALYSING A WELD DURING LASER WELDING OF WORKPIECES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ANALYSIEREN EINER SCHWEIßVERBINDUNG BEIM LASERSCHWEIßEN VON WERKSTÜCKEN

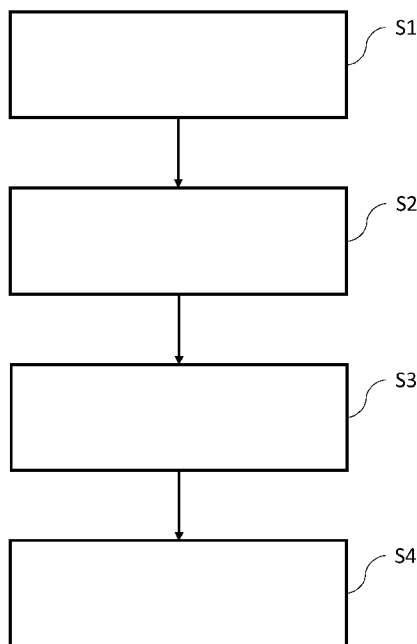


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a method for analysing a weld during laser welding of workpieces (30a, 30b), comprising: - detecting (S1) a first measurement signal (P1, P2) for process radiation generated during laser welding; - detecting (S2) a second measurement signal (P3) for radiation reflected by the workpieces (30a, 30b); - determining (S3), on the basis of the first measurement signal (P1, P2), whether there is a gap (S) between the workpieces (30a, 30b); and - if it is found that there is a gap (S), determining, on the basis of the second measurement signal (P3), whether a weld exists.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken (30a, 30b), umfassend: - Erfassen (S1) eines ersten Messsignals (P1, P2) für eine beim Laserschweißen erzeugte Prozessstrahlung; - Erfassen (S2) eines zweiten Messsignals (P3) für eine von den Werkstücken (30a, 30b) reflektierte Strahlung; - Bestimmen (S3) basierend auf dem ersten Messsignal (P1, P2), ob ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt; und - wenn bestimmt wird, dass ein Spalt (S) vorliegt, Bestimmen (S4) basierend auf dem zweiten Messsignal (P3), ob eine Schweißverbindung besteht.

WO 2021/165380 A1

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 zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken, insbesondere während des Laserschweißvorgangs.

Hintergrund und Stand der Technik

In einem Laserbearbeitungssystem zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls wird der von einer Laserlichtquelle oder einem Ende einer Laserleitfaser austretende Laserstrahl mit Hilfe einer Strahlführungs- und Fokussieroptik auf das zu bearbeitende Werkstück fokussiert oder gebündelt. Die Bearbeitung kann beispielsweise ein Laserschweißen umfassen. Das Laserbearbeitungssystem kann eine Laserbearbeitungsvorrichtung, beispielsweise einen Laserbearbeitungskopf, insbesondere einen Laserschweißkopf, umfassen. Insbesondere beim Laserschweißen eines Werkstücks ist es wichtig, den Schweißprozess kontinuierlich zu überwachen, um die Qualität der Bearbeitung zu sichern. Dies schließt die Erkennung von Bearbeitungsfehlern ein.

Die Überwachung eines Bearbeitungsprozesses erfolgt typischerweise durch Erfassung und Analyse verschiedener Parameter einer Prozessstrahlung, auch Prozessstrahl, Prozesslicht oder Prozessemission genannt. Dazu zählen beispielsweise von Werkstückoberflächen durch die Bearbeitung entstehende Plasmastrahlung, Prozessemissionen im infraroten Bereich des Lichts, wie Temperaturstrahlung, oder Prozessemissionen im sichtbaren Bereich des Lichts. Anschließend erfolgt eine Beurteilung, bei der die entsprechenden Messsignale dahingehend überprüft werden, ob gewisse Bedingungen erfüllt sind. Wenn ein oder mehrere Messsignale während der Bearbeitung zuvor festgelegte Bedingungen erfüllen, wird ein Fehlersignal ausgegeben. Dementsprechend kann ein bearbeitetes Werkstück als „gut“ oder „Gutteil“ (d.h. geeignet für die Weiterverarbeitung oder den Verkauf) oder als „schlecht“ oder „Schlechtteil“ (d.h. als Ausschuss) gekennzeichnet werden. Die kontinuierliche Überwachung eines Bearbeitungsprozesses erfolgt typischerweise in Echtzeit während der Durchführung des Bearbeitungsprozesses, und wird daher auch als Online-Prozessüberwachung oder In-Line-Prozessüberwachung bezeichnet.

Die Anmeldung DE 10 2019 122 047 beschreibt ein Sensormodul zur Überwachung von Laserschweißprozessen, welches mehrere Detektoren oder Sensoren aufweist, die verschiedene Parameter der Prozessstrahlung detektieren und als Messsignal ausgeben.

Im Bereich der Elektromobilität spielen Batterien eine zentrale Rolle. Einzelne Batteriezellen, auch „Akkuzellen“ genannt, werden dabei miteinander verbunden, d.h. kontaktiert. Ein

Verbund aus mehreren Batteriezellen wird als „Batteriemodul“ bezeichnet. Das Verbinden erfolgt dabei zumeist durch Laserschweißen. Dabei werden die Ableiter der Batteriezellen durch Laserschweißen, typischerweise im Überlappstoß, miteinander verbunden. Die Schweißnähte haben beispielsweise eine sogenannte „I-Naht“-Geometrie. Werkstoffe sind für gewöhnlich Aluminium und Kupfer. Typische Verbindungen bzw. Materialkombinationen sind Kupfer-Kupfer, Aluminium-Aluminium und Kupfer-Aluminium. Beim Verbinden von Batteriezellen zu Batteriemodulen und somit für einen erfolgreichen Modulbau ist es essentiell, dass zwischen den verbundenen Werkstücken ein elektrischer Kontakt besteht, d.h. dass zwischen den verbundenen Werkstücken bzw. über die Schweißnaht Strom fließen kann. Nur in diesem Fall ist die Kontaktierung erfolgreich.

Beim Laserschweißen, insbesondere im Überlappstoß mit I-Nähten, können typische Fehlerbilder auftreten. Dazu zählt ein Spalt zwischen den Werkstücken. Dieser Fehler kann toleriert werden, wenn eine Schweißverbindung vorliegt, d.h. der Spalt durch aufgeschmolzenes Material der Werkstücke überbrückt ist, d.h. wenn trotz des vorhandenen Spalts noch ein elektrischer Kontakt zwischen den zu verschweißenden Werkstücken besteht. Dies wird auch als „Schweißung mit Spaltüberbrückung“ bzw. „Spalt mit (elektrischem) Kontakt“ bezeichnet. Ein weiteres typisches Fehlerbild wird als „false friend“ oder „falscher Freund“ bezeichnet. Dabei ist ein Spalt zwischen den verbundenen Werkstücken vorhanden, wobei der Spalt nicht überbrückt ist und somit kein (elektrischer) Kontakt zwischen den Werkstücken besteht. Dies wird auch als „Schweißung ohne Spaltüberbrückung“ oder „Spalt ohne (elektrischem) Kontakt“ bezeichnet. Ein Spalt zwischen den Werkstücken sollte also möglichst nicht vorhanden sein oder sollte möglichst klein sein.

Bei einer Draufsicht, insbesondere bei einer Inspektion nach Durchführung des Laserschweißens, ist rein visuell nicht zu unterscheiden, ob eine ordnungsgemäße Schweißung, d.h. eine Schweißverbindung ohne Spalt, auch als „Gutschweißung“ oder als „Schweißung mit Nullspalt“ bezeichnet, vorliegt, oder ob eine Schweißung mit Spalt aber mit Spaltüberbrückung, d.h. eine Schweißverbindung mit Spalt, oder eine Schweißung mit Spalt aber ohne Spaltüberbrückung vorliegt. Aktuell besteht keine Möglichkeit, einen falschen Freund während des Schweißprozesses zu erkennen.

Offenbarung der Erfindung

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, beim Laserschweißen eine Schweißverbindung zwischen Werkstücken einfach und schnell zu analysieren bzw. zu beurteilen.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, beim Laserschweißen, eine einfache und schnelle Unterscheidung zwischen einer Schweißung ohne Spalt und einer Schweißung mit Spalt zu ermöglichen.

Es ist insbesondere eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, bei einer Schweißung mit einem zwischen den Werkstücken vorhandenen Spalt zu erkennen, ob ein Spalt mit Spaltüberbrückung, d.h. mit elektrischem Kontakt zwischen den Werkstücken, oder ein Spalt ohne Anbindung, d.h. ohne elektrischen Kontakt zwischen den Werkstücken, vorliegt.

Es ist weiter eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Analyse bzw. die Unterscheidung in Echtzeit, insbesondere während des Laserschweißvorgangs der Schweißverbindung, zu ermöglichen.

Diese Aufgaben werden durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind Gegenstand abhängiger Ansprüche.

Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, basierend auf beim Laserschweißen von Schweißverbindungen entstandener Prozessstrahlung und rückreflektierter Laserstrahlung Messsignale, insbesondere während des Laserschweißvorgangs, zu erfassen und geeignet auszuwerten, um dadurch Schweißungen bzw. Schweißverbindungen zu analysieren bzw. zu unterscheiden. Die Messsignale können durch Sensoren, insbesondere durch Photodioden, erfasst werden.

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Analysieren bzw. Beurteilen einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken angegeben wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Erfassen eines ersten Messsignals einer beim Laserschweißen erzeugten Prozessstrahlung; Erfassen eines zweiten Messsignals einer von den Werkstücken reflektierten Strahlung, insbesondere einer von den Werkstücken reflektierten Laserstrahlung; Bestimmen basierend auf dem ersten Messsignal, ob ein Spalt zwischen den verbundenen Werkstücken vorliegt; und wenn bestimmt wird, dass ein Spalt vorliegt, Bestimmen basierend auf dem zweiten Messsignal, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht. Die reflektierte Strahlung kann hierbei zumindest eines der folgenden umfassen: reflektierte Laserstrahlung des (Bearbeitungs-)Laserstrahls, reflektierte LED Strahlung bzw. reflektiertes LED Licht, und reflektierte Pilotlaserstrahlung. Das Verfahren kann ferner umfassen: Einstrahlen einer LED Strahlung bzw. Beleuchten mit LED Licht, insbesondere Beleuchten einer aktuellen Bearbeitungsposition bzw. Beleuchten eines Bereichs um einen aktuellen Auftreffpunkt eines (Bearbeitungs-)Laserstrahls. Das Verfahren kann ferner umfassen: Einstrahlen eines Pilotlaser-

strahls, insbesondere Einstrahlen in eine aktuelle Bearbeitungsposition bzw. in einen Bereich um einen aktuellen Auftreffpunkt eines (Bearbeitungs-)Laserstrahls. Die reflektierte Strahlung bzw. der Pilotlaserstrahl bzw. das LED Licht kann jede beliebige Wellenlänge aufweisen, insbesondere eine Wellenlänge im infraroten Bereich oder im sichtbaren grünen oder blauen Bereich. Insbesondere kann eine LED Lichtquelle oder eine Pilotlaserstrahlquelle beispielsweise eine Wellenlänge von ca. 630 nm oder ca. 530 nm aufweisen. Vorzugsweise verläuft zumindest ein Teil eines Strahlengangs eines in einen Bearbeitungsbereich eingestrahnten LED Lichts oder Pilotlaserstrahls koaxial zum Strahlengang eines Bearbeitungslaserstrahls.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es demnach möglich, zu erkennen, ob ein Spalt zwischen den verbundenen Werkstücken vorliegt. Ferner wird durch das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht, zu erkennen, ob eine Schweißverbindung besteht. Die Schweißverbindung kann eine elektrische und/oder mechanische (d.h. physikalische) Schweißverbindung bezeichnen, d.h. es besteht ein elektrischer bzw. mechanischer Kontakt zwischen den Werkstücken. Eine Schweißverbindung liegt vor, wenn kein Spalt zwischen den verbundenen Werkstücken vorhanden ist (sogenannter Nullspalt), oder wenn ein Spalt vorhanden ist, dieser aber überbrückt wird (Spalt mit Spaltüberbrückung). Es besteht keine Schweißverbindung, wenn ein Spalt nicht überbrückt wird. Demnach kann das Verfahren zum Analysieren einer geschweißten elektrischen Verbindung, insbesondere zum Erkennen eines fehlenden elektrischen Kontakts zwischen verbundenen Werkstücken, z.B. bei der Kontaktierung von Batteriezellen zu Batteriemodulen, verwendet werden. Somit kann erfindungsgemäß eine Unterscheidung von Gutschweißungen bzw. Schweißungen ohne Spalt von Schweißungen mit Spalt und eine Unterscheidung der Schweißungen mit Spalt in solche mit Spaltüberbrückung und in solche ohne Spaltüberbrückung erfolgen.

Ferner ist es möglich, die Schweißung zu klassifizieren in: (i) eine ordnungsgemäße Schweißverbindung, d.h. eine Schweißverbindung ohne Spalt, auch als „Gutschweißung“ oder als „Schweißung mit Nullspalt“ bezeichnet, (ii) eine Schweißung mit Spalt und mit Spaltüberbrückung, sodass ein (elektrischer bzw. mechanischer) Kontakt zwischen den verbundenen Werkstücken besteht, und (iii) eine Schweißung mit Spalt aber ohne Spaltüberbrückung, sodass kein (elektrischer bzw. mechanischer) Kontakt zwischen den verbundenen Werkstücken besteht, vorliegt. Die Klassifizierung erfolgt vorzugsweise noch beim Laserschweißen, d.h. während des Laserschweißvorgangs zur Herstellung der Schweißung.

Vorzugsweise werden die durch das Laserschweißen verbundenen Werkstücke als „gut“ bzw. „Gutteil“ bewertet oder gekennzeichnet, wenn bestimmt wird, dass eine Schweißverbindung besteht, und als „schlecht“ bzw. „Schlechtteil“ bewertet oder gekennzeichnet, wenn bestimmt

wird, dass keine Schweißverbindung besteht. Basierend darauf kann ferner das Laserschweißen geregelt bzw. gesteuert werden. Beispielsweise können Bearbeitungsparameter wie zugeführte Laserleistung, Abstand einer Laserbearbeitungsvorrichtung zu den Werkstücken, eine Fokusposition und/oder Fokusbildung eines zum Laserschweißen verwendeten Laserstrahls etc., insbesondere in Echtzeit, angepasst bzw. geregelt werden. Das Verfahren kann weiter das Ausgeben eines Fehlers für Werkstücke umfassen, wenn bestimmt wird, dass keine Schweißverbindung besteht, und/oder das Ausgeben einer Warnung für Werkstücke umfassen, wenn bestimmt wird, dass ein Spalt, insbesondere ein Spalt mit Spaltbreite größer als einer vorgegebener Wert, vorliegt.

In einem Ausführungsbeispiel kann das Bestimmen basierend auf dem zweiten Messsignal, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht, nur dann erfolgen, wenn zuvor bestimmt wurde, dass ein Spalt vorhanden ist.

Zumindest ein Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens kann während des Laserschweißens der Schweißung, insbesondere in Echtzeit, durchgeführt werden. Demnach kann das erfindungsgemäße Verfahren als „In-Line-Verfahren“ bezeichnet werden. Vorzugsweise werden das erste und/oder zweite Messsignal während des Laserschweißens erfasst. Ebenso können das Bestimmen, ob ein Spalt vorliegt, und/oder das Bestimmen, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht, während des Laserschweißens erfolgen. Vorzugsweise wird das gesamte erfindungsgemäße Verfahren während des Laserschweißens ausgeführt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere beim Laserschweißen im Überlapp- oder Parallelstoß verwendet werden.

Das erste Messsignal und/oder zweite Messsignal können auf einer Messung einer Strahlungsintensität basieren. Insbesondere kann das erste Messsignal auf einer Messung einer Strahlungsintensität der Prozessstrahlung basieren, und/oder das zweite Messsignal kann auf einer Messung einer Strahlungsintensität der reflektierten Strahlung, z.B. der reflektierten Laserstrahlung, basieren. Die beim Laserschweißen erzeugte Prozessstrahlung kann eine Temperaturstrahlung im infraroten Wellenlängenbereich des Lichts und/oder eine Plasmastrahlung im sichtbaren Bereich des Lichts umfassen.

Das erste Messsignal kann in einem ersten Wellenlängenbereich oberhalb der Wellenlänge eines zum Laserschweißen verwendeten Laserstrahls und/oder oberhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung erfasst werden. Alternativ oder zusätzlich kann das erste Messsignal in einem zweiten Wellenlängenbereich unterhalb der Wellenlänge eines zum Laserschweißen verwend-

ten Laserstrahls und/oder unterhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung erfasst werden. Der erste Wellenlängenbereich kann einem infraroten Wellenlängenbereich des Lichts entsprechen. Mit anderen Worten kann das erste Messsignal im ersten Wellenlängenbereich einer Temperaturstrahlung entsprechen. Der zweite Wellenlängenbereich kann einem sichtbaren Wellenlängenbereich des Lichts entsprechen. Mit anderen Worten kann das erste Messsignal im zweiten Wellenlängenbereich einer Plasmastrahlung entsprechen. Das erste Messsignal im ersten Wellenlängenbereich kann durch mindestens eine erste Photodiode mit spektraler Empfindlichkeit im ersten Wellenlängenbereich erfasst werden. Das erste Messsignal im zweiten Wellenlängenbereich kann durch mindestens eine zweite Photodiode mit spektraler Empfindlichkeit im zweiten Wellenlängenbereich erfasst werden. Mit anderen Worten wird das erste Messsignal vorzugsweise im ersten Wellenlängenbereich und im zweiten Wellenlängenbereich getrennt bzw. durch jeweils mindestens eine Photodiode erfasst.

Das zweite Messsignal bzw. die reflektierte Strahlung, insbesondere die reflektierte Laserstrahlung, bzw. der für das Laserschweißen verwendete Laserstrahl bzw. der eingestrahlte Pilotlaserstrahl bzw. das eingestrahlte LED Licht kann im infraroten, blauen oder grünen Wellenlängenbereich bzw. Spektralbereich liegen. Mit anderen Worten kann eine Infrarot-Laserstrahlquelle als Strahlquelle für den (Bearbeitungs-)Laserstrahl oder für den Pilotlaserstrahl verwendet werden. Alternativ kann eine Laserstrahlquelle des für das Laserschweißen verwendeten Laserstrahls oder des Pilotlaserstrahls im grünen oder blauen Spektral- bzw. Wellenlängenbereich emittieren.

Das erste Messsignal kann also basierend auf einer Detektion von Strahlungsintensität der Prozessstrahlung in einem ersten Wellenlängenbereich, insbesondere in einem infraroten Bereich, um Temperaturstrahlung zu detektieren, und/oder basierend auf einer Detektion von Strahlungsintensität der Prozessstrahlung in einem zweiten Wellenlängenbereich, insbesondere in einem sichtbaren Bereich, um Plasmastrahlung zu detektieren, erfasst werden. Das in dem ersten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal kann dementsprechend als „Temperatursignal“ bezeichnet werden. Das in dem zweiten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal kann dementsprechend als „Plasmasignal“ bezeichnet werden.

Die beim Laserschweißen erzeugte Prozessstrahlung kann durch mindestens eine (erste und/oder zweite) Photodiode als erstes Messsignal erfasst werden und/oder die reflektierte Strahlung kann durch mindestens eine (dritte) Photodiode als zweites Messsignal erfasst werden. Die dritte Photodiode kann eine spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich des zum Laserschweißen verwendeten Lasers aufweisen. Mit anderen Worten werden das erste und das zweite Messsignal vorzugsweise getrennt bzw. durch jeweils mindestens

eine Photodiode erfasst. Die Photodioden weisen vorzugsweise voneinander verschiedene spektrale Empfindlichkeiten auf.

Das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, kann das Bestimmen einer Spaltbreite basierend auf dem ersten Messsignal umfassen. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt vorliegt, wenn die Spaltbreite größer als ein vorgegebener Spaltbreiten-Grenzwert ist. Der Spaltbreiten-Grenzwert kann zwischen 50 μm und 200 μm , insbesondere 100 μm und 175 μm , liegen oder 50 μm , 100 μm oder 150 μm betragen.

Die Spaltbreite kann beispielsweise als kürzester Abstand zwischen den verbundenen Werkstücken angrenzend zu aber außerhalb der Schweißung bzw. einer Schweißnaht definiert sein. Beispielsweise kann die Spaltbreite, beispielsweise beim Überlappstoß oder Parallelstoß, als kürzester Abstand zwischen den gegenüberliegend angeordneten Werkstückoberflächen definiert sein.

Das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, kann das Bestimmen umfassen, ob das erste Messsignal unter einem Referenzwert oder einem Referenzverlauf liegt. Wenn das erste Messsignal jeweils für den ersten Wellenlängenbereich und den zweiten Wellenlängenbereich erfasst wird, kann bestimmt werden, ob das erste Messsignal des ersten Wellenlängenbereichs unter einem ersten Referenzwert bzw. Referenzverlauf liegt und ob das erste Messsignal des zweiten Wellenlängenbereichs unter einem zweiten Referenzwert bzw. Referenzverlauf liegt. Der Referenzverlauf kann eine untere Hüllkurve sein. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn das Messsignal unter dem Referenzwert oder dem Referenzverlauf liegt. Das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, kann auch das Bestimmen umfassen, ob das erste Messsignal unter einen Referenzwert oder einen Referenzverlauf abfällt. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn das Messsignal unter dem Referenzwert oder dem Referenzverlauf abfällt.

Das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, kann das Bilden eines ersten Integrals über das erste Messsignal umfassen. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn das erste Integral einen vorgegebenen ersten Integral-Grenzwert unterschreitet. Das erste Integral kann über mindestens einen Bereich des ersten Messsignals gebildet werden.

Alternativ oder zusätzlich kann das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, das Bilden eines ersten Mittelwerts über das erste Messsignal umfassen. In diesem Fall

kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn der erste Mittelwert einen vorgegebenen ersten Mittelwert-Grenzwert unterschreitet. Der erste Mittelwert kann über mindestens einen Bereich des ersten Messsignals gebildet werden.

Alternativ oder zusätzlich kann das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, das Ermitteln einer ersten Ausreißerhäufigkeit des ersten Messsignals umfassen. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn die erste Ausreißerhäufigkeit des ersten Messsignals einen vorgegebenen ersten Ausreißer-Grenzwert überschreitet. Die erste Ausreißerhäufigkeit kann über mindestens einen Bereich des ersten Messsignals gebildet werden.

Wenn das erste Messsignal jeweils für den ersten Wellenlängenbereich und den zweiten Wellenlängenbereich erfasst wird, kann das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, das Bilden eines ersten Integrals über das im ersten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal, d.h. das Temperatursignal, und das Bilden eines zweiten Integrals über das im zweiten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal, d.h. das Plasmasignal, umfassen, wobei bestimmt wird, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn das erste Integral einen vorgegebenen ersten Integral-Grenzwert unterschreitet und/oder wenn das zweite Integral einen vorgegebenen zweiten Integral-Grenzwert unterschreitet.

Wenn das erste Messsignal jeweils für den ersten Wellenlängenbereich und den zweiten Wellenlängenbereich erfasst wird, kann das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, das Bilden eines ersten Mittelwerts über das im ersten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal, d.h. das Temperatursignal, und das Bilden eines zweiten Mittelwerts über das im zweiten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal, d.h. das Plasmasignal, umfassen, wobei bestimmt wird, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn der erste Mittelwert einen vorgegebenen ersten Mittelwert-Grenzwert unterschreitet und/oder wenn der zweite Mittelwert einen vorgegebenen zweiten Mittelwert-Grenzwert unterschreitet.

Wenn das erste Messsignal jeweils für den ersten Wellenlängenbereich und den zweiten Wellenlängenbereich erfasst wird, kann das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, das Ermitteln einer ersten Ausreißerhäufigkeit des im ersten Wellenlängenbereich erfassten ersten Messsignals, d.h. des Temperatursignals, und das Berechnen einer zweiten Ausreißerhäufigkeit des im zweiten Wellenlängenbereich erfassten ersten Messsignals, d.h. des Plasmasignals, umfassen. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn die erste Ausreißerhäufigkeit einen vorgegebenen ersten Ausreißer-

Grenzwert überschreitet und/oder wenn die zweite Ausreißerhäufigkeit einen vorgegebenen zweiten Ausreißer-Grenzwert überschreitet.

Die Ausreißerhäufigkeit kann definiert sein als eine Häufigkeit bzw. Anzahl von Werten des ersten Messsignals, die außerhalb von vorgegebenen Hüllkurven für das erste Messsignal liegen. Die Ausreißerhäufigkeit kann prozentual bezogen auf ein betrachtetes und/oder vorgegebenes Zeitintervall bzw. Messintervall bzw. auf einen betrachteten und/oder vorgegebenen Bereich des ersten Messsignals angegeben sein. Alternativ kann die Ausreißerhäufigkeit absolut angegeben sein. Wird das erste Messsignal im ersten und im zweiten Wellenlängenbereich erfasst, kann jeweils getrennt die erste Ausreißerhäufigkeit, basierend auf einer Häufigkeit bzw. Anzahl von Werten des ersten Messsignals im ersten Wellenlängenbereich, die außerhalb von vorgegebenen ersten Hüllkurven für das erste Messsignal liegen, und die zweite Ausreißerhäufigkeit, basierend auf einer Häufigkeit bzw. Anzahl von Werten des ersten Messsignals im zweiten Wellenlängenbereich, die außerhalb von vorgegebenen zweiten Hüllkurven für das erste Messsignal liegen, bestimmt werden.

Das Bestimmen, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht, kann basierend auf einem Rauschen des zweiten Messsignals bestimmt werden. Das Rauschen kann bestimmt werden als Abweichung von einem Mittelwert des zweiten Messsignals, z.B. in einem vorgegebenen Zeitintervall bzw. Messintervall bzw. in einem betrachteten und/oder vorgegebenen Bereich des zweiten Messsignals, und optional mit einem Verstärkungsfaktor versehen werden. Das Rauschen kann auch als „Rauschsignal“ oder als „Rauschanteil“ des zweiten Messsignals bezeichnet werden.

Es kann bestimmt werden, dass keine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht, wenn eine Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des zweiten Messsignals einen vorgegebenen ersten Rausch-Grenzwert überschreitet, und/oder wenn ein Integral über das Rauschen des zweiten Messsignals einen vorgegebenen zweiten Rausch-Grenzwert überschreitet.

Die Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des zweiten Messsignals kann definiert sein als eine Häufigkeit bzw. Anzahl von Werten des Rauschens, die außerhalb vorgegebener Hüllkurven und/oder vorgegebener Toleranzbereiche für das Rauschen liegen. Die Ausreißerhäufigkeit kann prozentual bezogen auf ein betrachtetes Zeitintervall und/oder Messintervall bzw. auf einen Bereich des zweiten Messsignals angegeben sein. Alternativ kann die Ausreißerhäufigkeit absolut angegeben sein.

Zumindest eines der Werkstücke kann Aluminium und/oder Kupfer und/oder Nickel aufweisen oder daraus bestehen. Insbesondere kann eines der Werkstücke aus Aluminium bestehen und ein anderes der Werkstücke kann Kupfer umfassen, wobei letzteres optional mit Nickel beschichtet (Schichtdicke z.B. 8 μm) sein kann. Die Beschichtung kann galvanisch aufgebracht sein.

Zumindest eines der Werkstücke kann eine Dicke von 0,10 mm bis 0,50 mm, bevorzugt eine Dicke von 0,15 mm bis 0,35 mm, besonders bevorzugt eine Dicke von 0,20 mm bis 0,30 mm aufweisen.

Die Werkstücke können ein Blech oder ein Ableiter sein oder umfassen. Eines der Werkstücke kann eine Batterie, ein Batteriemodul und/oder eine Batteriezelle umfassen, und/oder ein weiteres der Werkstücke kann einen Ableiter umfassen. Als Schweißung kann ein geschweißter elektrischer Kontakt zwischen dem Ableiter und der Batteriezelle analysiert werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist ein Verfahren zum Laserschweißen eines ersten Werkstücks und eines zweiten Werkstücks angegeben, umfassend die Schritte: Anordnen der Werkstücke derart, dass eine erste Oberfläche des ersten Werkstücks und eine erste Oberfläche des zweiten Werkstücks aufeinander liegen bzw. miteinander in Kontakt sind; Laserschweißen der Werkstücke zum Ausbilden einer Schweißverbindung zwischen den Werkstücken durch Einstrahlen eines Laserstrahls auf eine zweite Oberfläche des ersten Werkstücks, wobei die zweite Oberfläche des ersten Werkstücks der ersten Oberfläche des ersten Werkstücks gegenüberliegt und/oder durch Einstrahlen eines Laserstrahls auf eine zweite Oberfläche des zweiten Werkstücks, wobei die zweite Oberfläche des zweiten Werkstücks der ersten Oberfläche des zweiten Werkstücks gegenüberliegt; und Durchführen des Verfahrens zum Analysieren der Schweißverbindung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

Die erste Oberfläche und die zweite Oberfläche des ersten Werkstücks und/oder die erste Oberfläche und die zweite Oberfläche des zweiten Werkstücks können parallel zueinander ausgebildet sein. Das erste Werkstück und/oder das zweite Werkstück kann als Blech oder Ableiter ausgebildet sein oder ein Blech oder einen Ableiter umfassen. Die ersten und zweiten Oberflächen der Werkstücke können als Hauptoberflächen der Werkstücke bezeichnet werden.

Die ersten Oberflächen der Werkstücke können sich in zumindest einem Bereich berühren. In einem weiteren Bereich kann ein Spalt zwischen den Werkstücken vorhanden sein.

Das Anordnen der Werkstücke kann mit dem Ziel erfolgen, dass der Spalt zwischen den Werkstücken nicht vorhanden oder möglichst klein ist. Die Werkstücke können im Überlappstoß oder Parallelstoß angeordnet werden.

Die erfindungsgemäßen Verfahren können durch ein Laserbearbeitungssystem durchgeführt werden, welches eine Laserbearbeitungsvorrichtung zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels Laserstrahl, insbesondere einen Laserschweißkopf, und ein Sensormodul umfasst. Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann einen Strahlteiler zum Auskoppeln von Prozessstrahlung aus dem Strahlengang des Laserstrahls aufweisen. Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann einen optischen Ausgang zum Auskoppeln von Prozessstrahlung umfassen und das Sensormodul kann einen optischen Eingang zum Einkoppeln der aus der Laserbearbeitungsvorrichtung austretenden Prozessstrahlung umfassen. Das Sensormodul umfasst mindestens einen Detektor zum Detektieren der Prozessstrahlung und zum Detektieren der reflektierten Strahlung, in diesem Beispiel der reflektierten Laserstrahlung des (Bearbeitungs-)Laserstrahls. In einem Ausführungsbeispiel kann das Laserbearbeitungssystem eine LED-Beleuchtungseinheit zum Einstrahlen von LED Licht umfassen. In diesem Fall umfasst die durch das Sensormodul detektierte reflektierte Strahlung reflektierte LED Strahlung bzw. reflektiertes LED Licht. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann das Laserbearbeitungssystem eine Pilotlaser-Einheit zum Einstrahlen eines Pilotlaserstrahls umfassen. In diesem Fall umfasst die durch das Sensormodul detektierte reflektierte Strahlung reflektierte Pilotlaserstrahlung bzw. reflektiertes LED Licht. Die Pilotlaser-Einheit kann eine Pilotlaser-Strahlquelle umfassen. Das Laserbearbeitungssystem kann eine Pilotlaserstrahlquelle, z.B. zum Erzeugen eines Pilotlaserstrahls mit einer Wellenlänge von ca. 630 nm oder ca. 530 nm, umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann das Laserbearbeitungssystem eine LED Quelle zur Erzeugung von LED Lichts umfassen. Das LED-Licht kann, z.B. mittels eines Strahlteilers, in einen Strahlengang des Bearbeitungslaserstrahls bzw. in die Laserbearbeitungsvorrichtung eingekoppelt werden. Das Sensormodul kann an die Laserbearbeitungsvorrichtung gekoppelt sein. Der zumindest eine Detektor kann eingerichtet sein, um zumindest einen Strahlparameter der Prozessstrahlung, insbesondere eine Intensität in einem bestimmten Wellenlängenbereich, zu detektieren. Der zumindest eine Detektor kann ferner eingerichtet sein, um basierend auf der Detektion ein Messsignal auszugeben. Die Detektoren können eine Photodiode und/oder ein Photodiodenarray und/oder eine Kamera, beispielsweise eine CMOS- oder CCD-basierte Kamera, umfassen. Das Sensormodul kann mehrere Detektoren umfassen, die jeweils eingerichtet sind, um die Prozessstrahlung bei verschiedenen Wellenlängen bzw. in verschiedenen Wellenlängenbereichen zu detektieren. Das Laserbearbeitungssystem kann ferner eine Steuereinheit umfassen. Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, um analoge Messsignale von dem zumindest einen Detektor zu empfangen. Die Steuereinheit kann eingerichtet sein, ein Verfahren

gemäß einer der in dieser Offenbarung aufgeführten Ausführungsformen durchzuführen, um Schweißverbindungen zu analysieren. Die Steuereinheit kann ferner eingerichtet sein, um basierend auf einem Ergebnis der Analyse das Laserbearbeitungssystem, insbesondere die Laserbearbeitungsvorrichtung, wie vorstehend beschrieben zu regeln bzw. zu steuern.

Die jeweiligen Detektoren können nur bei einer bestimmten Wellenlänge oder in einem bestimmten Wellenlängenbereich sensitiv sein. Beispielsweise kann ein erster Detektor im sichtbaren Bereich des Lichts sensitiv sein, ein zweiter Detektor kann in einem infraroten Bereich sensitiv sein, und/oder ein dritter Detektor kann in einem Laseremissions-Wellenlängenbereich der Laserbearbeitungsvorrichtung sensitiv sein. Die Detektoren können also so ausgebildet sein, dass sie in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen sensitiv sind. Gemäß einer Ausführung umfasst das Sensormodul einen ersten Detektor mit einer Photodiode, die im sichtbaren Spektrum des Lichts sensitiv ist, um Plasma-Prozessemissionen bzw. Plasmastrahlung zu detektieren, einen zweiten Detektor, mit einer Photodiode, die im infraroten Wellenlängenbereich sensitiv ist, um Temperatur-Prozessemissionen bzw. Temperaturstrahlung zu detektieren, und einen dritten Detektor mit einer Photodiode, die im Laseremissions-Wellenlängenbereich sensitiv ist, um Rückreflexe des Lasers der Laserbearbeitungsvorrichtung zu detektieren. Demnach kann mit dem Laserbearbeitungssystem das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden. Insbesondere können durch das beschriebene Sensormodul das erste Messsignal, insbesondere das Temperatursignal und/oder das Plasmasignal, und das zweite Messsignal erfasst werden.

Gemäß der vorliegenden Offenbarung ist ein Verfahren zur Detektion von Spalten und insbesondere zur Unterscheidung von Spalten mit Anbindung bzw. mit Kontakt und von Spalten ohne Anbindung bzw. ohne Kontakt, insbesondere mit Hilfe von Sensoren wie Photodioden, angegeben.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Figuren im Detail beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Laserbearbeitungssystems zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines Laserstrahls zum Durchführen eines Verfahrens zum Analysieren einer Schweißverbindung gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung;

Fig. 2 zeigt eine detaillierte schematische Darstellung eines Sensormoduls des in Fig. 1 dargestellten Laserbearbeitungssystems;

Fig. 3 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung;

Fig. 4A-4D zeigen Schweißverbindungen, die mit einem Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung analysiert wurden;

Fig. 5A-5D zeigen beispielhaft zeitliche Verläufe von Messsignalen, die von einem Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen erfasst wurden; und

Fig. 6 zeigt beispielhaft eine Bestimmung von Spaltbreiten durch ein Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden werden, sofern nicht anders vermerkt, für gleiche und gleichwirkende Elemente dieselben Bezugszeichen verwendet.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Laserbearbeitungssystems zur Bearbeitung eines Werkstücks mittels eines (Bearbeitungs-)Laserstrahls gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Fig. 2 zeigt eine detaillierte schematische Darstellung des Sensormoduls des in Fig. 1 dargestellten Laserbearbeitungssystems.

Das Laserbearbeitungssystem 1 umfasst eine Laserbearbeitungsvorrichtung 10, ein Sensormodul 20 und eine Steuereinheit 40.

Die Laserbearbeitungsvorrichtung 10, die beispielsweise als Laserbearbeitungskopf, insbesondere als Laserschweißkopf, ausgebildet sein kann, ist eingerichtet, um einen von einer Laserlichtquelle oder einem Ende einer Laserleitfaser austretenden (Bearbeitungs-)Laserstrahl (nicht gezeigt) mit Hilfe einer Strahlführungs- und Fokussieroptik (nicht gezeigt) auf das zu bearbeitende Werkstücke 30a, 30b zu fokussieren oder zu bündeln, um dadurch eine Bearbeitung oder einen Bearbeitungsprozess auszuführen. Die Bearbeitung kann insbesondere ein Laserschweißen umfassen. Bei der Bearbeitung entsteht Prozessstrahlung 11, die in die Laserbearbeitungsvorrichtung 10 eintritt und dort von einem Strahlteiler 12 aus dem Strahlengang des Laserstrahls ausge-

koppelt wird. Die Prozessstrahlung wird in das Sensormodul 20 geleitet und trifft dort auf zumindest einen Detektor D1, D2, D3.

Zur Bearbeitung können die Werkstücke 30a, 30b derart angeordnet werden, dass sie sich überlappen. Die Werkstücke 30a, 30b können insbesondere im Parallelstoß oder Überlappstoß angeordnet sein.

Wie in Fig. 1 liegt beispielsweise eine untere Oberfläche des Werkstücks 30a einer oberen Oberfläche des Werkstücks 30b gegenüber und der Laserstrahl wird auf eine obere Oberfläche des Werkstücks 30a eingestrahlt. Die oberen Oberflächen und die unteren Oberflächen der Werkstücke 30a, 30b können auch als Hauptflächen oder Hauptoberflächen der Werkstücke 30a, 30b bezeichnet werden.

Wie gezeigt erfolgt das Einstrahlen des Laserstrahls auf die obere Oberfläche bzw. die obere Hauptfläche des Werkstücks 30a, vorzugsweise im Wesentlichen senkrecht zu den Hauptflächen der Werkstücke 30a, 30b. Das Einstrahlen des Laserstrahls erfolgt demnach nicht auf die Ränder oder Kanten oder parallel zu den Hauptflächen der Werkstücke 30a, 30b.

Demnach wird die entstehende Prozessstrahlung 11 von der oberen Oberfläche bzw. von der oberen Hauptfläche des Werkstücks 30a abgestrahlt. Die Erfassung der Prozessstrahlung 11 erfolgt also vorzugsweise von der oberen Oberfläche des Werkstücks 30a. Ebenso erfolgt die Erfassung einer reflektierten Strahlung vorzugsweise von der oberen Oberfläche des Werkstücks 30a. In einem nicht gezeigten Ausführungsbeispiel kann das Laserbearbeitungssystem eine LED-Beleuchtungseinheit zum Einstrahlen von LED Licht in einen Bearbeitungsbereich auf dem Werkstück umfassen. In diesem Fall umfasst die durch das Sensormodul detektierte reflektierte Strahlung reflektierte LED Strahlung bzw. reflektiertes LED Licht. In einem weiteren nicht gezeigten Ausführungsbeispiel kann das Laserbearbeitungssystem eine Pilotlaser-Einheit zum Einstrahlen eines Pilotlaserstrahls in einen Bearbeitungsbereich auf dem Werkstück umfassen. In diesem Fall umfasst die durch das Sensormodul detektierte reflektierte Strahlung reflektierte Pilotlaserstrahlung bzw. reflektiertes LED Licht. Die Pilotlaser-Einheit kann eine Pilotlaser-Strahlquelle umfassen.

Insbesondere zum Laserschweißen der Werkstücke 30a 30b sollte das Anordnen der Werkstücke 30a, 30b im Überlapp oder Parallelstoß derart erfolgen, dass ein Spalt zwischen den so angeordneten Werkstücken 30a, 30b nicht vorhanden ist, oder dass der Spalt möglichst klein ist. Wie gezeigt ist ein (unerwünschter) Spalt zwischen den Werkstücken 30a, 30b, d.h. zwischen der oberen Oberfläche des Werkstücks 30b und der unteren Oberfläche des Werkstücks 30a, vor-

handen. Bei einer Draufsicht auf die Werkstücke 30a, 30b, insbesondere bei einer Draufsicht auf die obere Oberfläche des Werkstücks 30a oder einer Draufsicht auf die untere Oberfläche des Werkstücks 30b kann nicht erkannt werden, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken 30a, 30b vorhanden ist.

Wie in Fig. 2 gezeigt umfasst das Sensormodul 20 vorzugsweise mehrere Detektoren oder Sensoren D1, D2, D3 die eingerichtet sind, um verschiedene Parameter, wie beispielsweise eine Intensität, der Prozessstrahlung 11 zu erfassen und darauf basierend ein Messsignal auszugeben. Jeder der Detektoren D1, D2, D3 kann eine Photodiode oder ein Photodioden- oder Pixelarray umfassen. Vorzugsweise umfassen die Detektoren eine Photodiode bzw. einen Sensor für den sichtbaren Spektralbereich, eine Photodiode bzw. einen Sensor für den infraroten Spektralbereich und eine Photodiode bzw. einen Sensor für einen Wellenlängenbereich des Laserstrahls bzw. des eingestrahnten Pilotlaserstrahls bzw. des eingestrahnten LED Lichts. Ferner kann das Sensormodul 20 mehrere Strahlteiler 221, 222 umfassen, um die Prozessstrahlung 11 aufzuspalten und auf die entsprechenden Detektoren D1, D2, D3 zu richten. Die Strahlteiler 221, 222 können als teildurchlässige Spiegel ausgebildet und können gemäß Ausführungsformen wellenlängenselektiv sein.

Die Steuereinheit 40 ist mit dem Sensormodul 20 verbunden und empfängt die Messsignale der Detektoren D1, D2, D3. Die Steuereinheit 40 kann eingerichtet sein, um die Messsignale der Detektoren D1, D2, D3 aufzuzeichnen. Die Steuereinheit 40 ist eingerichtet, um ein Bearbeitungsergebnis der Laserbearbeitung zu bestimmen und/oder zu analysieren, und ist insbesondere eingerichtet, um Schweißverbindungen zu analysieren. Die Steuereinheit 40 kann ferner eingerichtet sein, um basierend auf einem Ergebnis der Analyse die Laserbearbeitungsvorrichtung 10 zu steuern.

Das Laserbearbeitungssystem 1 kann eingerichtet sein, um Laserbearbeitungsprozesse, insbesondere ein Laserschweißen durchzuführen, und um Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung durchzuführen.

Fig. 3 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

Das Verfahren beginnt mit dem Erfassen eines ersten Messsignals für eine beim Laserschweißen erzeugte Prozessstrahlung (Schritt S1). Ferner umfasst das Verfahren das Erfassen eines zweiten

Messsignals für eine von den Werkstücken reflektierte Strahlung (Schritt S2). Das Erfassen des ersten Messsignals und das Erfassen des zweiten Messsignals kann gemäß Ausführungsformen gleichzeitig erfolgen. Anschließend wird basierend auf dem ersten Messsignal bestimmt, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt (Schritt S3). Wenn bestimmt wird, dass ein Spalt vorliegt, wird basierend auf dem zweiten Messsignal bestimmt, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung zwischen den beiden Werkstücken besteht oder vorliegt (Schritt S4). Mit anderen Worten wird bestimmt, ob ein elektrischer bzw. mechanischer Kontakt zwischen den Werkstücken besteht.

Durch das Verfahren ist es demnach möglich, zu erkennen, ob ein Spalt zwischen den verbundenen Werkstücken vorliegt. Ferner wird durch das Verfahren ermöglicht, zu erkennen, ob eine Spaltüberbrückung, d.h. eine Schweißverbindung, insbesondere eine elektrische und mechanische Schweißverbindung, vorliegt. Insbesondere kann das Verfahren zum Analysieren einer geschweißten elektrischen Verbindung, beispielsweise zum Erkennen eines fehlenden elektrischen Kontakts zwischen verbundenen Werkstücken, verwendet werden. Demnach ist es möglich, zu unterscheiden, ob eine ordnungsgemäße Schweißung, d.h. eine Schweißung ohne Spalt, auch als „Gutschweißung“ oder als „Schweißung mit 0-Spalt“ bezeichnet, vorliegt, oder ob eine Schweißung mit Spalt und mit Spaltüberbrückung, sodass ein elektrischer Kontakt zwischen den verbundenen Werkstücken besteht, oder eine Schweißung mit Spalt aber ohne Spaltüberbrückung, sodass kein elektrischer Kontakt zwischen den verbundenen Werkstücken besteht, vorliegt.

Das erste Messsignal wird vorzugsweise in zwei verschiedenen Wellenlängenbereichen erfasst. Beispielsweise kann das erste Messsignal auf einer Detektion von Strahlungsintensität der Prozessstrahlung in einem ersten Wellenlängenbereich oberhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung bzw. oberhalb der Wellenlänge des zum Laserschweißen verwendeten Laserstrahls, insbesondere in einem infraroten Bereich, und auf einer Detektion von Strahlungsintensität der Prozessstrahlung in einem zweiten Wellenlängenbereich unterhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung bzw. unterhalb der Wellenlänge des Laserstrahls, insbesondere in einem sichtbaren Bereich erfasst werden. Das in dem ersten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal kann einer Temperaturstrahlung entsprechen und als „Temperatursignal“ bezeichnet werden. Das in dem zweiten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal kann einer Plasmastrahlung entsprechen und als „Plasmasignal“ bezeichnet werden. Es ist aber auch möglich, nur das erste Messsignal nur in einem dieser Wellenlängenbereiche zu erfassen bzw. auszuwerten. Wie oben erwähnt, kann die reflektierte Strahlung reflektierte Laserstrahlung eines eingestrahnten Pilotlaserstrahls oder reflektierte Laserstrahlung des für den Schweißprozess verwendeten (Bearbeitungs-)Laserstrahls oder reflektierte Laserstrahlung eines eingestrahnten LED Lichts umfassen.

In dem Ausführungsbeispiel von Figuren 1 und 2 kann das Plasmasignal durch den Detektor D1 erfasst werden, welcher in einem Wellenlängenbereich unterhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung bzw. des Laserstrahls, insbesondere im sichtbaren Wellenlängenbereich des Lichts, sensitiv ist, um die Intensität von Plasma-Prozessemissionen zu detektieren. Das Temperatursignal kann durch den Detektor D2 erfasst werden, welcher in einem Wellenlängenbereich oberhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung bzw. des Laserstrahls, insbesondere in einem infraroten Wellenlängenbereich des Lichts, sensitiv ist, um die Intensität von Prozessemissionen im Infrarot- oder Temperatur-Spektralbereich, d.h. von Temperaturstrahlung, zu detektieren. Das zweite Messsignal kann durch den Detektor D3 erfasst werden, welcher im Wellenlängenbereich der reflektierten Strahlung bzw. des Laserstrahls sensitiv ist, um Rückreflexe des Lasers der Laserbearbeitungsvorrichtung zu detektieren.

Gemäß Ausführungsformen kann das Bestimmen, ob ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, (Schritt S3) das Bilden eines ersten Integrals über das Plasmasignal und das Bilden eines zweiten Integrals über das Temperatursignal umfassen. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn das erste Integral einen vorgegebenen ersten Integral-Grenzwert unterschreitet und/oder wenn das zweite Integral einen vorgegebenen zweiten Integral-Grenzwert unterschreitet.

Gemäß Ausführungsformen kann das Bestimmen, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht, (Schritt S4) basierend auf einem Rauschen des zweiten Messsignals erfolgen. In diesem Fall kann bestimmt werden, dass keine Schweißverbindung bzw. keine Spaltüberbrückung besteht, wenn eine Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des zweiten Messsignals einen vorgegebenen ersten Rausch-Grenzwert überschreitet, und/oder wenn ein Integral über das Rauschen des zweiten Messsignals einen vorgegebenen zweiten Rausch-Grenzwert überschreitet. Das Rauschen kann als eine Abweichung von einem Mittelwert des zweiten Messsignals, vorzugsweise in einem vorgegebenen Zeitintervall bzw. Messsignal, und insbesondere verstärkt um einen vorgegebenen Faktor, definiert sein. Der Mittelwert kann vorgegeben sein oder basierend auf dem zweiten Messsignal bestimmt werden.

Gemäß Ausführungsformen kann zumindest einer der Schritte S1 bis S4 während des Laserschweißens der Schweißverbindung erfolgen.

Vorzugsweise umfasst eines der Werkstücke eine Batterie, ein Batteriemodul und/oder eine Batteriezelle und ein weiteres der Werkstücke umfasst einen Ableiter. In diesem Fall kann das Verfahren gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung zum Analysieren eines ge-

schweißten elektrischen Kontakts zwischen dem Ableiter und der Batterie, dem Batteriemodul bzw. der Batteriezelle eingesetzt werden. Insbesondere kann eines der Werkstücke aus Aluminium bestehen und ein anderes der Werkstücke kann Kupfer umfassen und mit Nickel beschichtet sein. Die Beschichtung kann galvanisch aufgebracht sein. Zumindest einer der Werkstücke kann eine Dicke von 0,10 mm bis 0,50 mm, bevorzugt eine Dicke von 0,15 mm bis 0,35 mm, besonders bevorzugt eine Dicke von 0,20 mm bis 0,30 mm aufweisen.

In einer Ausführungsform werden Ableiter von zwei oder mehr Batterien verschweißt bzw. miteinander kontaktiert. Die Ableiter können aus Kupfer Cu oder Aluminium Al sein. Insbesondere kann ein Ableiter einer ersten Batterie aus Aluminium oder Kupfer sein und ein Ableiter einer zweiten Batterie kann aus Aluminium oder Kupfer sein, sodass die Schweißverbindung zwischen Aluminium und Aluminium Al-Al, oder zwischen Kupfer und Kupfer Cu-Cu oder zwischen Aluminium und Kupfer Al-Cu gebildet wird.

Das Laserschweißen kann das gasdichte Schweißen von Zellgehäusen von Batteriezellen, das Schweißen von Membranen von Zelldeckeln von Batteriezellen, das Schweißen von Anschlüssen in den Zelldeckeln von Batteriezellen und das Schweißen einer Berstplatte von Zelldeckeln von Batteriezellen umfassen.

Das Verfahren gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung kann insbesondere zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken im Überlapp- oder Parallelstoß, und insbesondere bei I-Schweißnähten, verwendet werden.

Fig. 4A-4D zeigen Schweißverbindungen, die mit einem Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung analysiert wurden.

Fig. 4A-4D zeigen jeweils in der oberen Zeile („Camera“) eine Draufsicht von beim Laserschweißen im Überlappstoß entstanden I-Schweißnähten und zeigen jeweils in der mittleren Zeile eine Schnittansicht der jeweiligen Schweißnaht. In der unteren Zeile ist jeweils eine schematische Ansicht der Schnittansicht gezeigt. Bei der Draufsicht auf die jeweiligen Werkstücke 30a, 30b bzw. die jeweiligen Schweißnähte ist nicht zu unterscheiden, ob eine Schweißung ohne Spalt, eine Schweißung mit Spalt und Spaltüberbrückung, oder eine Schweißung mit Spalt aber ohne Spaltüberbrückung vorliegt. Die Draufsicht erfolgt auf die obere Oberfläche des Werkstücks 30a, wie mit Bezug auf Fig. 1 erläutert wurde.

Fig. 4A zeigt in der ersten Spalte („Gap: 0 μm “) eine ordnungsgemäße Schweißnaht, auch als „Gutschweißung“ bezeichnet, die mithilfe des Verfahrens zum Analysieren von Schweißverbindungen beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung erkannt wurde. Die verschweißten Werkstücke 30a, 30b, hier als Bleche gezeigt, weisen keinen Spalt dazwischen auf und über die Schweißnaht kann Strom fließen. Die entstandene Schweißverbindung wird als „Gutschweißung“ oder mit „0-Spalt“ gekennzeichnet.

Fig. 4B-4D zeigen typische Fehlerbilder, die mithilfe des Verfahrens zum Analysieren von Schweißverbindungen beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung erkannt wurden.

Fig. 4B zeigt in der zweiten Spalte („Gap: 100 μm “) einen Spalt S zwischen den beiden verschweißten Werkstücken 30a, 30b. Dieser Spalt S kann toleriert werden, denn der Spalt S ist überbrückt (Spaltüberbrückung „B“ in Fig. 4B). Somit besteht trotz des vorhandenen Spaltes S noch ein elektrischer Kontakt zwischen den verschweißten Werkstücken, d.h. es besteht eine Schweißverbindung. Dies wird auch als „Schweißung mit Spaltüberbrückung“ bzw. „Spalt mit (elektrischer) Anbindung bzw. (elektrischem) Kontakt“ bezeichnet.

Fig. 4C und 4B zeigen in der dritten und vierten Spalte („Gap: 150 μm “ und „Gap: 200 μm “) ein weiteres typisches Fehlerbild, auch als „false friend“ oder „falscher Freund“ bezeichnet. Dabei liegt ein Spalt S zwischen den verschweißten Werkstücken 30a, 30b vor, der nicht überbrückt ist, sodass kein elektrischer Kontakt zwischen den Werkstücken besteht. Dies wird auch als „Schweißung ohne Spaltüberbrückung“ „Spalt ohne (elektrische) Anbindung bzw. (elektrischem) Kontakt“ bezeichnet. Es besteht also keine Schweißverbindung.

In Fig. 5A bis 5D sind beispielhaft zeitliche Verläufe von Messsignalen, die von einem Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken gemäß Ausführungsformen erfasst wurden, gezeigt.

In der in Fig. 5A bis 5D gezeigten Ausführungsform wurde das erste Messsignal im ersten und im zweiten Wellenlängenbereich aufgenommen und umfasst das Plasmasignal P1 und das Temperatursignal P2. Das zweite Messsignal für das reflektierte Laserlicht wird als Rückreflexsignal P3 bezeichnet. Fig. 5A-5D zeigen beispielhafte Verläufe der Messsignale P1, P2 und P3 jeweils für einen Laserschweißprozess. Zudem ist der Verlauf eines Rauschens des Messsignals P3 als „P3 noise“ dargestellt.

Das Verfahren gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung umfasst das Erfassen des Plasmasignals P1 und des Temperatursignals P2. Es wird bestimmt, dass ein Spalt zwischen den Werkstücken vorliegt, wenn beispielsweise das Plasmasignal P1 und/oder das Temperatursignal P2 abfällt, d.h. auf einer jeweiligen unteren Hüllkurve liegt oder darunter liegt oder darunter abfällt. Dies kann beispielsweise ermittelt werden, indem ein erstes Integral über das Plasmasignal P1 und ein zweites Integral über das Temperatursignal P2 gebildet wird. Wenn das erste Integral einen vorgegebenen ersten Integral-Grenzwert unterschreitet und/oder wenn das zweite Integral einen vorgegebenen zweiten Integral-Grenzwert unterschreitet, liegt ein Spalt vor. Wenn ein Spalt vorliegt, wird basierend auf dem Rückreflexsignal P3 bestimmt, ob eine Schweißverbindung bzw. eine Spaltüberbrückung besteht. Keine Schweißverbindung bzw. Spaltüberbrückung besteht, wenn eine Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des Rückreflexsignals P3 einen vorgegebenen ersten Rausch-Grenzwert überschreitet, und/oder wenn ein Integral über das Rauschen des Rückreflexsignals P3 einen vorgegebenen zweiten Rausch-Grenzwert überschreitet. Andernfalls liegt ein Spalt mit Spaltüberbrückung, d.h. eine Schweißverbindung, vor.

Durch das Verfahren können einerseits Gutschweißungen, also Schweißungen ohne Spalt zwischen den Werkstücken, von Schweißungen mit Spalt unterschieden werden. Andererseits können durch das Verfahren Schweißungen mit einem Spalt aber mit Spaltüberbrückung von Schweißungen mit einem Spalt aber ohne Spaltüberbrückung unterschieden werden.

In Fig. 5A überschreiten die Integrale des Plasmasignals P1 und des Temperatursignals P2 die jeweiligen Grenzwerte. Die beim Laserschweißprozess entstandene Schweißung wird als „Gutschweißung“ gekennzeichnet. Zwischen den so verbundenen Werkstücken ist eine Schweißverbindung mit einem 0-Spalt vorhanden. Insbesondere ist zwischen den verbundenen Werkstücken ein elektrischer Kontakt, bzw. eine elektrische Anbindung vorhanden. Dies entspricht der in Fig. 4A dargestellten Schweißverbindung.

In Fig. 5B-5D sind das Plasmasignal P1 und das Temperatursignal P2 gegenüber jeweils vorgegebenen Referenzwerten bzw. Hüllkurven abgefallen. Mit anderen Worten unterschreiten die Integrale des Plasmasignals P1 und des Temperatursignals P2 die jeweiligen Grenzwerte. Die beim jeweiligen Laserschweißprozess entstandenen Schweißungen werden als Schweißungen mit Spalt gekennzeichnet.

Gemäß Ausführungsformen ist es ausreichend, wenn entweder das Integral des Plasmasignals P1 oder das Integral des Temperatursignals P2 den jeweiligen Grenzwert unterschreitet. Gemäß

weiteren Ausführungsformen kann bestimmt werden, dass ein Spalt nur vorliegt, wenn sowohl das Integral des Plasmasignals P1 und das Integral des Temperatursignals P2 den jeweiligen Grenzwert unterschreiten.

In Fig. 5B ist zwischen den Werkstücken ein Spalt mit 100 μm Spaltbreite vorhanden, in Fig. 5C ist zwischen den Werkstücken ein Spalt mit 150 μm Spaltbreite vorhanden und in Fig. 5D ist zwischen den Werkstücken ein Spalt mit 200 μm Spaltbreite vorhanden. Die in Fig. 5B-5D gezeigten Schweißungen entsprechen den in Fig. 4B-4D dargestellten Schweißungen. Die Spaltbreite kann basierend auf dem Integralwert des Plasmasignals P1 und/oder des Temperatursignals P2 bestimmt werden. Liegt der Integralwert in einem ersten Bereich, kann der entsprechenden Schweißung eine Spaltbreite von einem ersten Wert bzw. Wertebereich zugeordnet werden. Entsprechend kann einem Integralwert, der in einem zweiten Bereich liegt, eine Spaltbreite von einem zweiten Wert bzw. Wertebereich zugeordnet werden, etc. Dies ist in Fig. 6 für das Plasmasignal P1 beispielhaft veranschaulicht.

Für die entsprechenden Schweißungen der Fig. 5B-5D wird nun bestimmt, ob dennoch eine Schweißverbindung zwischen den Werkstücken, und entsprechend ein elektrischer Kontakt bzw. eine elektrische Anbindung, vorhanden ist. Dazu wird das Rauschen des Rückreflexsignals P3, P3 noise, analysiert.

In Fig. 5B liegt eine Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des Rückreflexsignals P3 unterhalb eines vorgegebenen ersten Rausch-Grenzwerts. Deshalb wird bestimmt, dass trotz des vorhandenen Spalts eine Schweißverbindung zwischen den Werkstücken bzw. eine Spaltüberbrückung vorhanden ist.

In Fig. 5C und 5D liegt eine Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des Rückreflexsignals P3 über dem vorgegebenen ersten Rausch-Grenzwert. Deshalb wird bestimmt, dass keine Schweißverbindung bzw. Spaltüberbrückung, und somit kein elektrischer Kontakt, zwischen den Werkstücken vorliegt.

Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass beim Laserschweißen im Überlappstoß eine Gutschweißung von Schweißungen mit Spalt dadurch unterschieden werden kann, dass die Intensität eines Plasmasignals und die Intensität eines Temperatursignals des Laserschweißprozesses abfallen. Des Weiteren beruht die vorliegende Erfindung auf der Erkenntnis, dass eine Schweißung mit Spalt und mit Spaltüberbrückung von einer Schweißung mit Spalt aber ohne Spaltüberbrückung dadurch unterschieden werden kann, dass im letzten Fall das Rauschen eines Rückreflexsignals der von den Werkstücken zurückreflektierten Strahlung signifi-

kant zunimmt. Demnach liefert eine Kombination des Plasmasignals und des Temperatursignals mit dem Rückreflexsignal eine eindeutige Aussage über das Vorhandensein bzw. das Fehlen einer Schweißverbindung, insbesondere eines elektrischen Kontakts, zwischen den Werkstücken. Hier kann „Spalt liegt vor“ als notwendige Bedingung betrachtet werden, ein übermäßiges Rauschen als hinreichende Bedingung dafür, dass der Spalt nicht überbrückt wird. Demnach kann eindeutig erkannt werden, ob ein falscher Freund vorliegt.

Ansprüche

1. Verfahren zum Analysieren einer Schweißverbindung beim Laserschweißen von Werkstücken (30a, 30b), umfassend:
 - Erfassen (S1) eines ersten Messsignals (P1, P2) für eine beim Laserschweißen erzeugte Prozessstrahlung;
 - Erfassen (S2) eines zweiten Messsignals (P3) für eine von den Werkstücken (30a, 30b) reflektierte Strahlung;
 - Bestimmen (S3) basierend auf dem ersten Messsignal (P1, P2), ob ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt; und
 - wenn bestimmt wird, dass ein Spalt (S) vorliegt, Bestimmen (S4) basierend auf dem zweiten Messsignal (P3), ob eine Schweißverbindung besteht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die reflektierte Strahlung zumindest eines der folgenden umfasst: reflektierte Laserstrahlung des Bearbeitungslaserstrahls, reflektierte Strahlung von in einen Bearbeitungsbereich eingestrahltm LED Licht und reflektierte Laserstrahlung eines in einen Bearbeitungsbereich eingestrahltm Pilotlaserstrahls.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das erste Messsignal (P1, P2) und/oder zweite Messsignal (P3) auf einer Detektion einer Strahlungsintensität basiert.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das erste Messsignal (P1, P2) in einem ersten Wellenlängenbereich oberhalb der Wellenlänge eines zum Laserschweißen verwendeten Bearbeitungslaserstrahls und/oder oberhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung erfasst wird, und/oder wobei das erste Messsignal (P1, P2) in einem zweiten Wellenlängenbereich unterhalb der Wellenlänge eines zum Laserschweißen verwendeten Bearbeitungslaserstrahls und/oder unterhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung erfasst wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die als erstes Messsignal (P1, P2) erfasste Prozessstrahlung eine Temperaturstrahlung im infraroten Spektralbereich und/oder eine Plasmastrahlung im sichtbaren Spektralbereich ist.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die als zweites Messsignal (P3) erfasste reflektierte Strahlung im infraroten Spektralbereich oder im sichtbaren grünen oder blauen Spektralbereich liegt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen (S3), ob ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, das Bestimmen einer Spaltbreite basierend auf dem ersten Messsignal (P1, P2) umfasst, und

wobei bestimmt wird, dass ein Spalt (S) vorliegt, wenn die Spaltbreite größer als ein vorgegebener Spaltbreiten-Grenzwert ist.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen (S3), ob ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, das Bestimmen umfasst, ob das erste Messsignal (P1, P2) unter einem Referenzwert oder einem Referenzverlauf liegt oder darunter abfällt,

wobei bestimmt wird, dass ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, wenn das Messsignal (P1, P2) unter dem Referenzwert oder dem Referenzverlauf liegt oder darunter abfällt.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen (S3), ob ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, das Bilden eines ersten Integrals über das erste Messsignal (P1, P2) und/oder eines ersten Mittelwerts des ersten Messsignals (P1, P2) umfasst,

wobei bestimmt wird, dass ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, wenn das erste Integral einen vorgegebenen ersten Integral-Grenzwert unterschreitet und/oder wenn der erste Mittelwert einen vorgegebenen ersten Mittelwert-Grenzwert unterschreitet.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das erste Messsignal (P1, P2) in einem ersten Wellenlängenbereich oberhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung oder oberhalb der Wellenlänge eines zum Laserschweißen verwendeten Bearbeitungslaserstrahls und in einem zweiten Wellenlängenbereich unterhalb der Wellenlänge der reflektierten Strahlung oder unterhalb der Wellenlänge des zum Laserschweißen verwendeten Bearbeitungslaserstrahls erfasst wird, und das Bestimmen (S3), ob ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, das Bilden eines ersten Integrals über das im ersten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal (P1) und das Bilden eines zweiten Integrals über das im zweiten Wellenlängenbereich erfasste erste Messsignal (P2) umfasst, und

wobei bestimmt wird, dass ein Spalt (S) zwischen den Werkstücken (30a, 30b) vorliegt, wenn das erste Integral einen vorgegebenen ersten Integral-Grenzwert unterschreitet und/oder wenn das zweite Integral einen vorgegebenen zweiten Integral-Grenzwert unterschreitet.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei basierend auf einem Rauschen des zweiten Messsignals (P3) bestimmt wird, ob eine Schweißverbindung besteht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei bestimmt wird, dass keine Schweißverbindung besteht,
- wenn eine Ausreißerhäufigkeit des Rauschens des zweiten Messsignals (P3) einen vorgegebenen ersten Rausch-Grenzwert überschreitet, und/oder
 - wenn ein Integral über das Rauschen des zweiten Messsignals (P3) einen vorgegebenen zweiten Rausch-Grenzwert überschreitet.
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mindestens eines der Werkstücke (30a, 30b) Aluminium und/oder Kupfer und/oder Nickel aufweist oder daraus besteht.
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei zumindest eines der Werkstücke eine Dicke von 0,10 mm bis 0,50 mm, bevorzugt eine Dicke von 0,15 mm bis 0,35 mm, besonders bevorzugt eine Dicke von 0,20 mm bis 0,30 mm aufweist.
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Werkstücke (30a, 30b) einen Ableiter einer ersten Batterie und einen Ableiter einer zweiten Batterie umfassen, und wobei als Schweißverbindung ein geschweißter elektrischer Kontakt zwischen den Ableitern der Batterien analysiert wird.
16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Werkstücke beim Laserschweißen im Überlappstoß oder Parallelstoß angeordnet sind.
17. Verfahren zum Laserschweißen eines ersten Werkstücks (30a) und eines zweiten Werkstücks (30b), umfassend die Schritte:
- Anordnen der Werkstücke (30a, 30b) derart, dass eine erste Oberfläche des ersten Werkstücks (30a) und eine erste Oberfläche des zweiten Werkstücks (30b) aufeinander liegen;
 - Laserschweißen der Werkstücke (30a, 30b) zum Ausbilden einer Schweißverbindung zwischen den Werkstücken (30a, 30b) durch Einstrahlen eines Bearbeitungslaserstrahls auf eine zweite Oberfläche des ersten Werkstücks (30a), wobei die zweite Oberfläche des ersten Werkstücks (30a) der ersten Oberfläche des ersten Werkstücks (30b) gegenüberliegt und/oder durch Einstrahlen eines Bearbeitungslaserstrahls auf eine zweite Oberfläche des zweiten Werkstücks (30b), wobei die zweite Oberfläche des zweiten Werkstücks (30b) der ersten Oberfläche des zweiten Werkstücks (30b) gegenüberliegt;
 - Durchführen des Verfahrens zum Analysieren der Schweißverbindung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Werkstücke im Überlapstoß oder Parallelstoß angeordnet werden.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, wobei sich die ersten Oberflächen der Werkstücke (30a, 30b) in zumindest einem Bereich berühren und/oder wobei in einem weiteren Bereich zwischen den ersten Oberflächen der Werkstücke (30a, 30b) ein Spalt vorhanden ist.

1/9

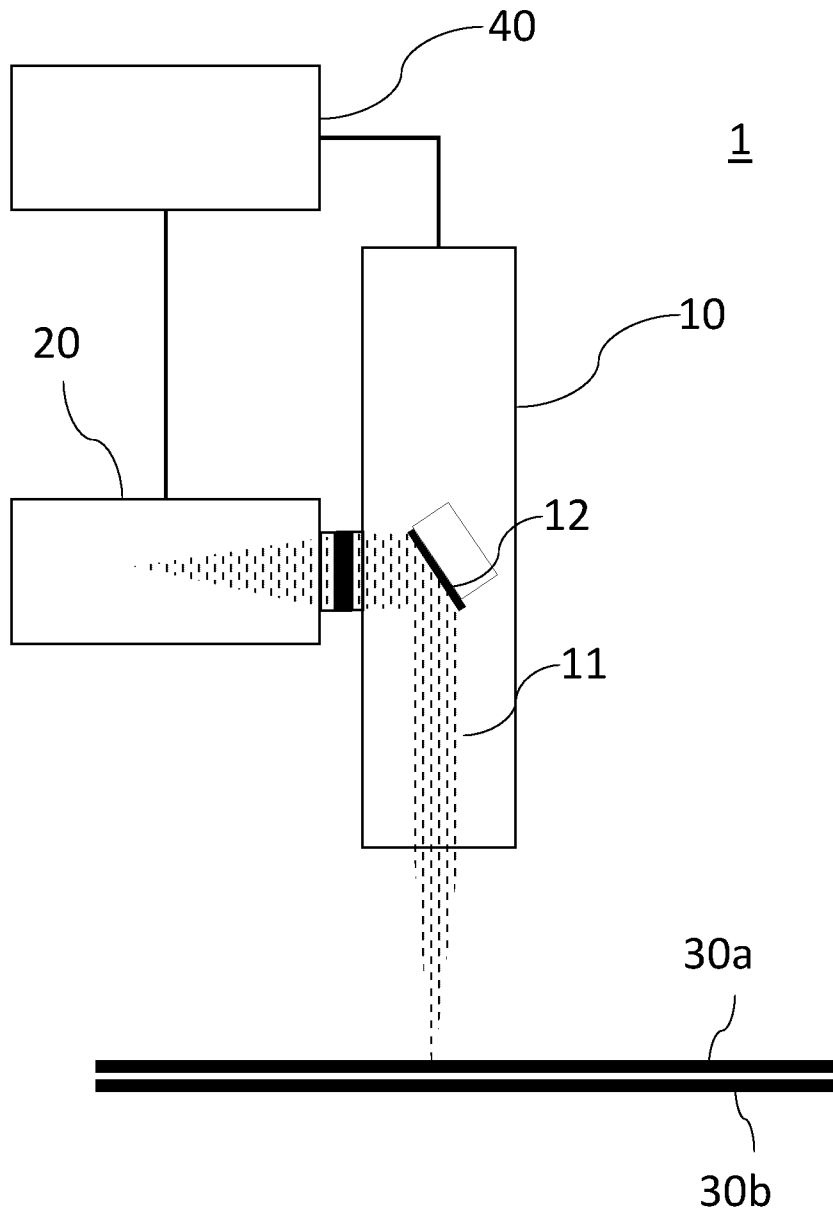


Fig. 1

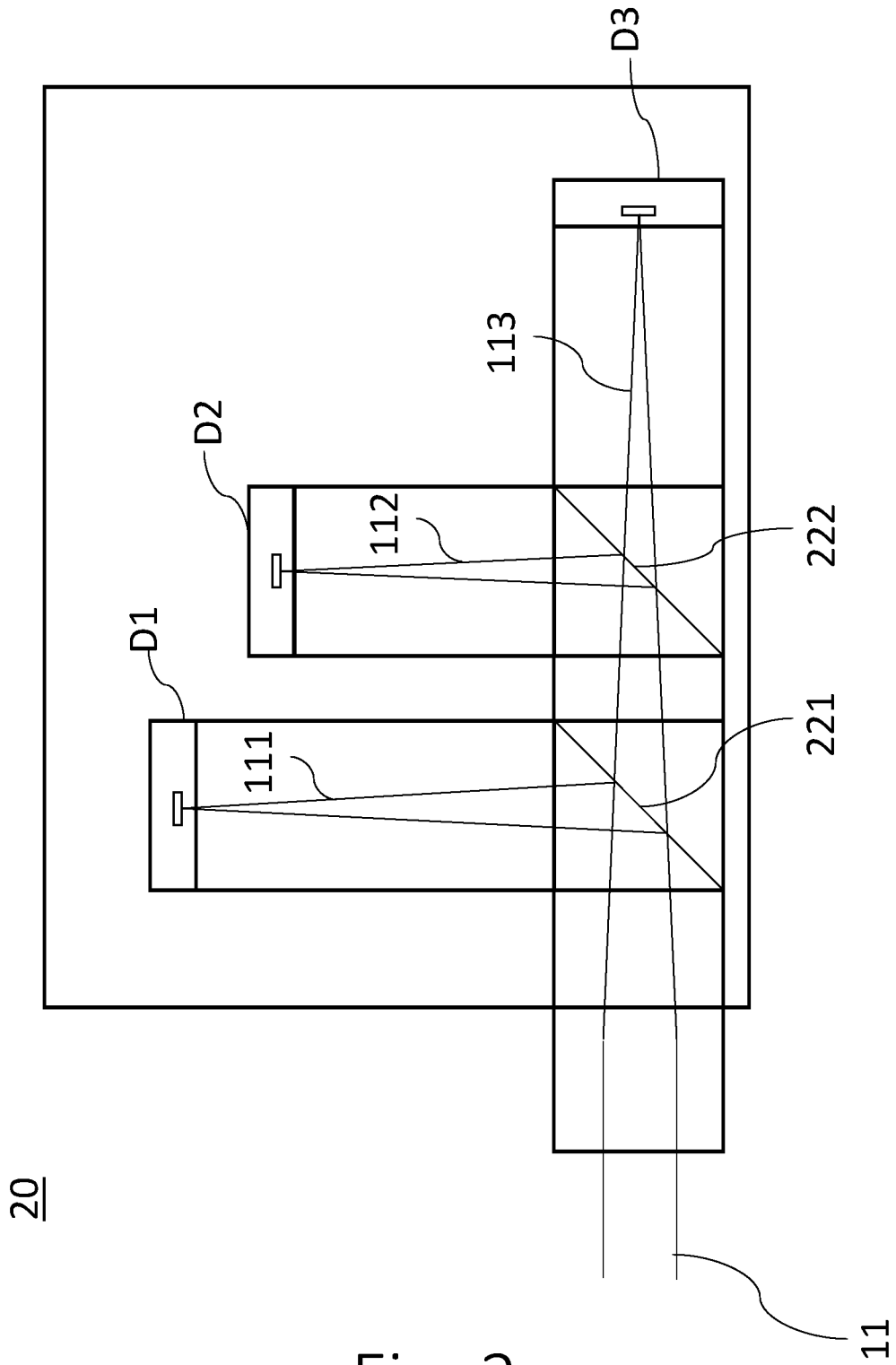


Fig. 2

3/9

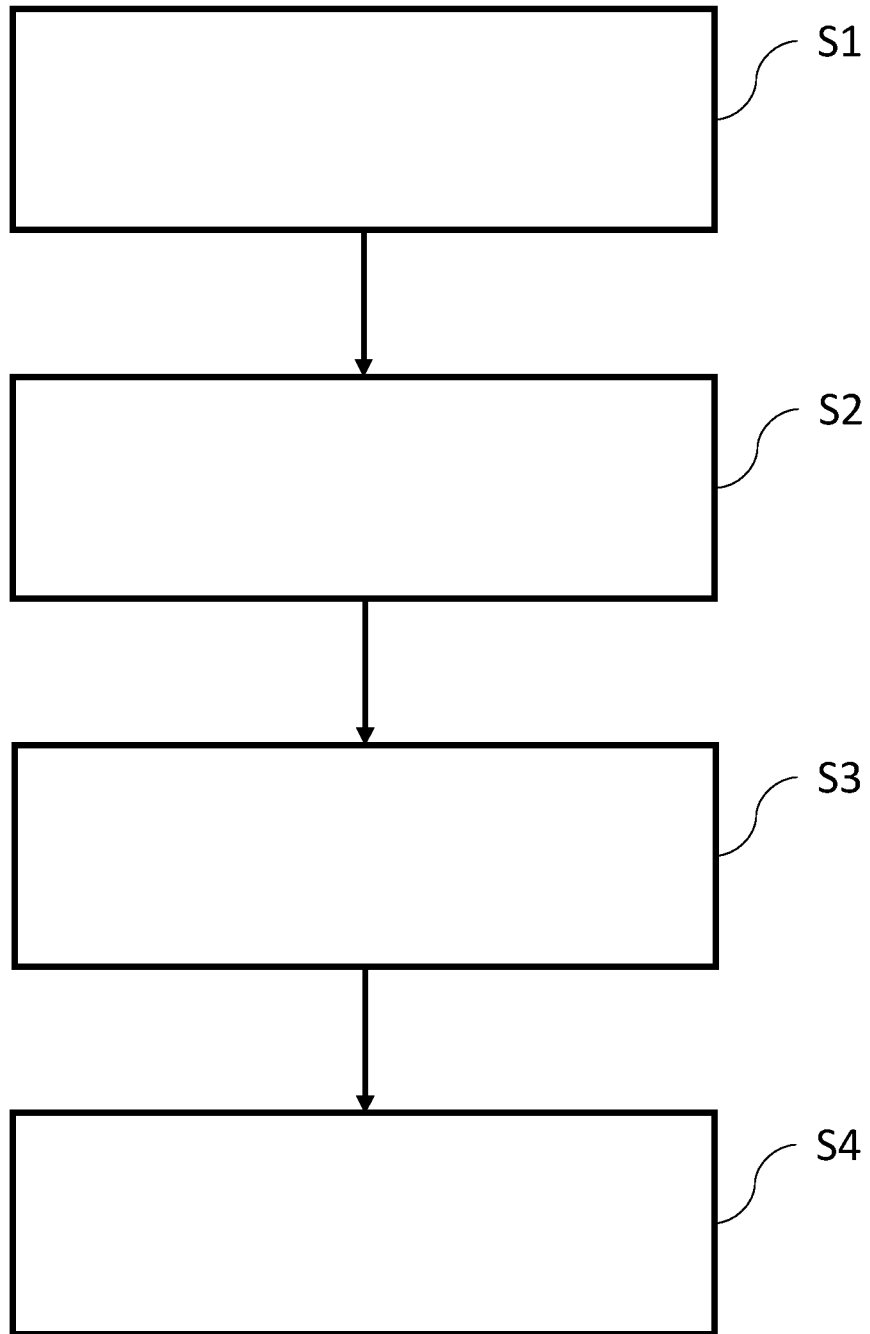


Fig. 3

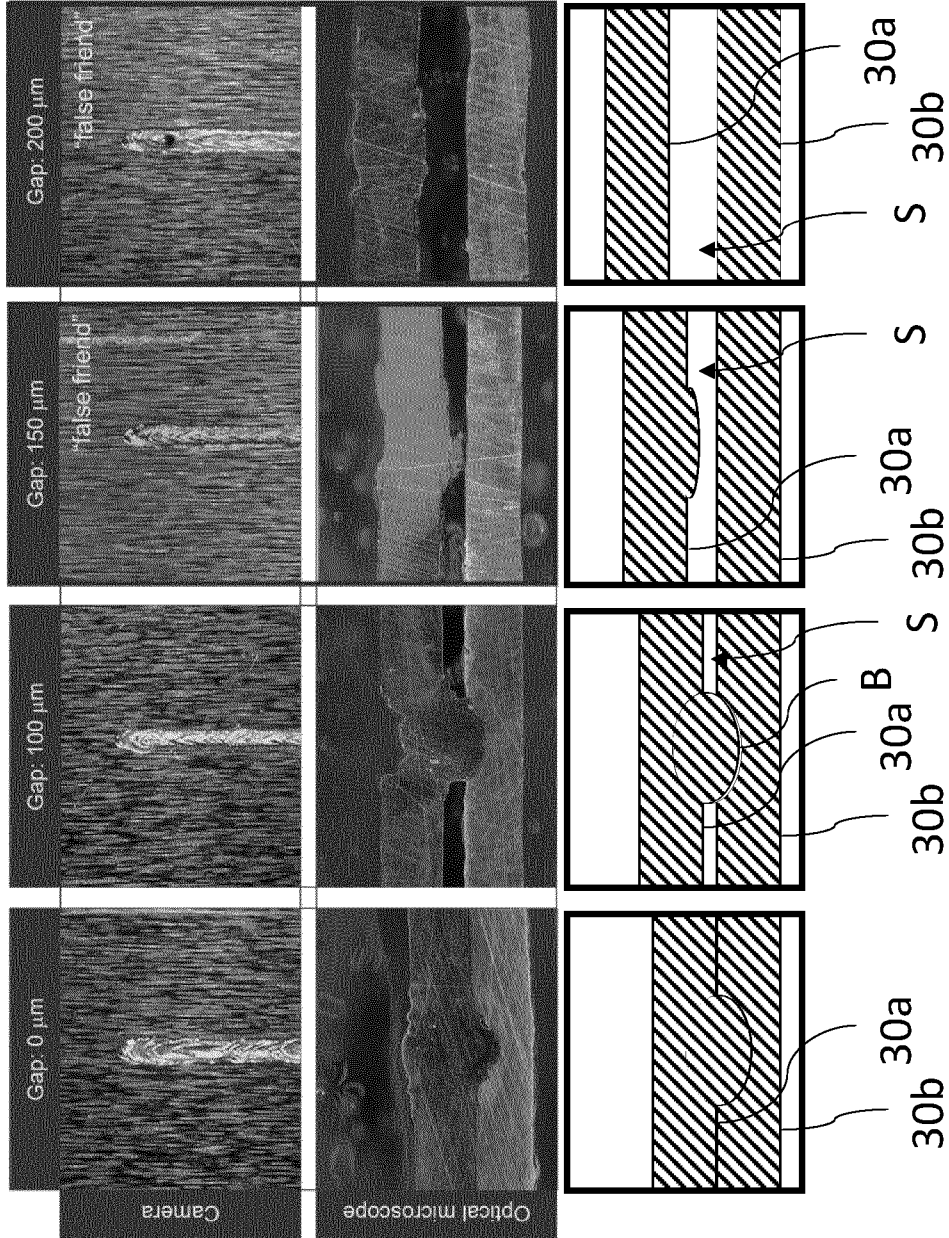


Fig. 4A Fig. 4B Fig. 4C Fig. 4D

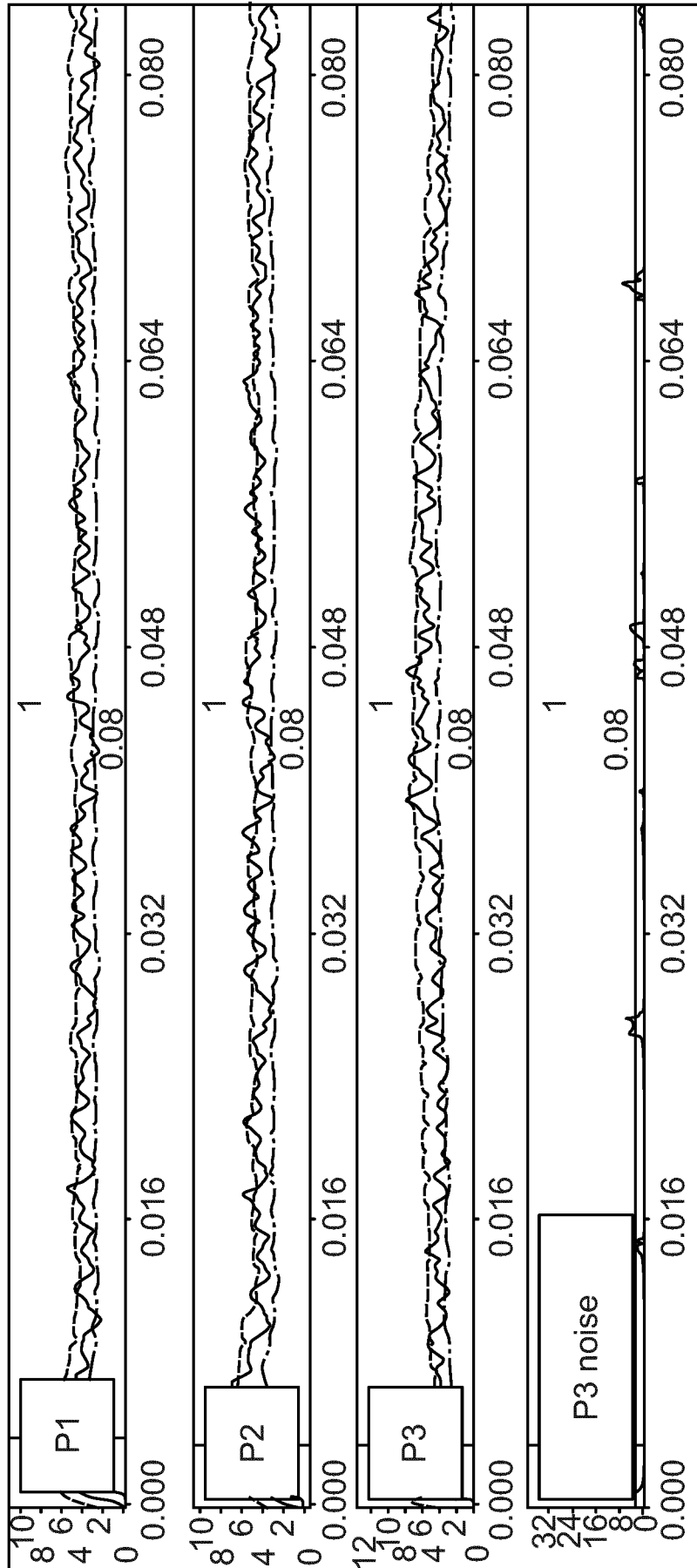


Fig. 5A

Zeit

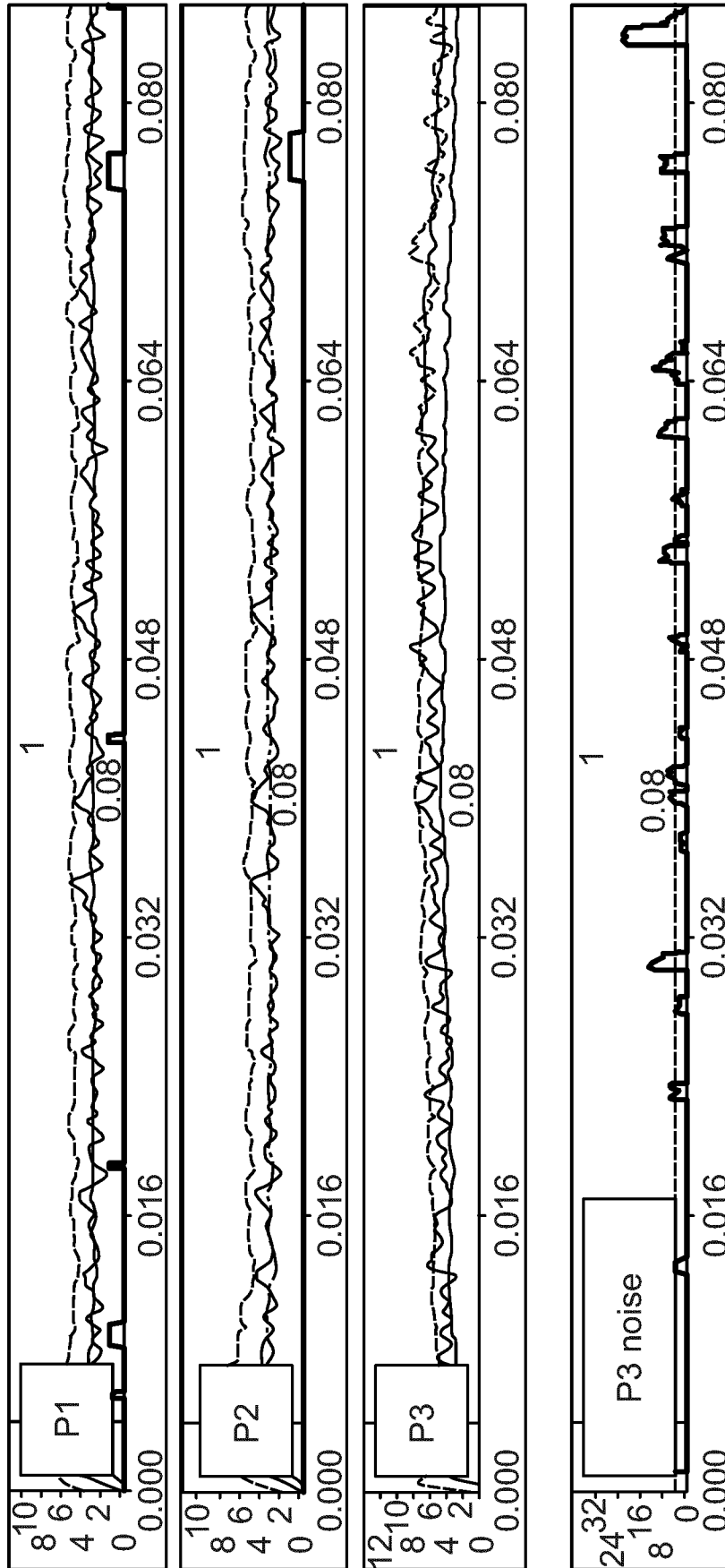


Fig. 5B

Zeit

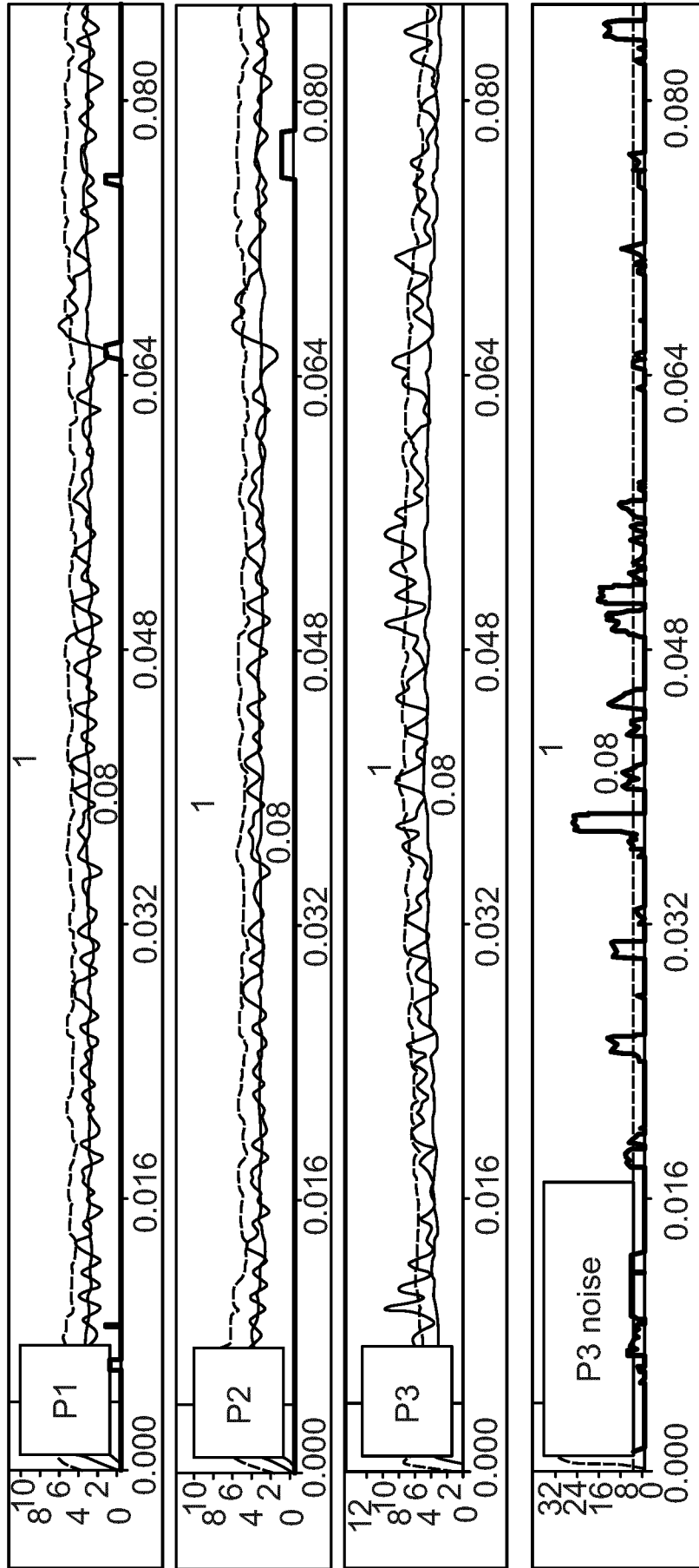
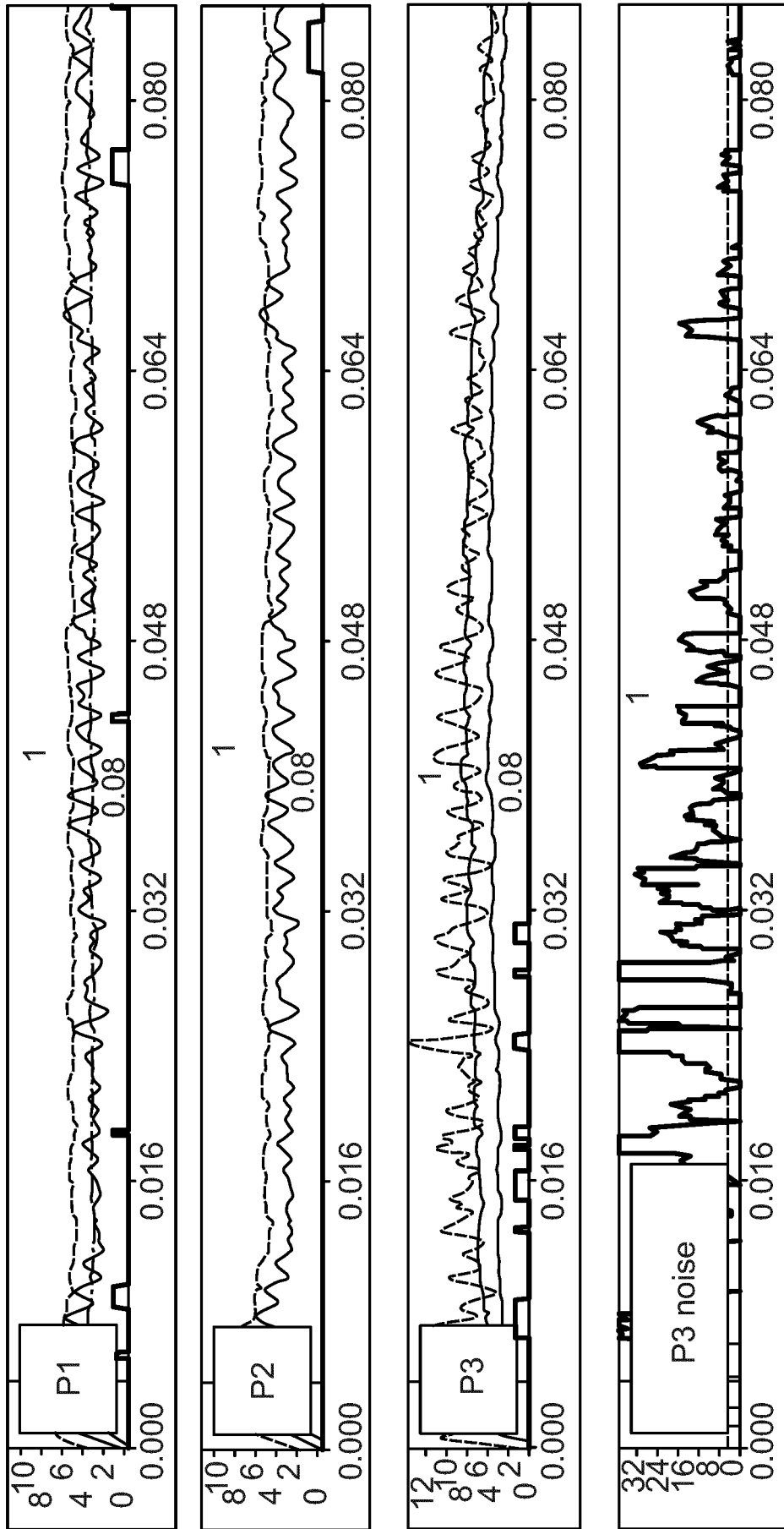


Fig. 5C

Zeit



Zeit

Fig. 5D

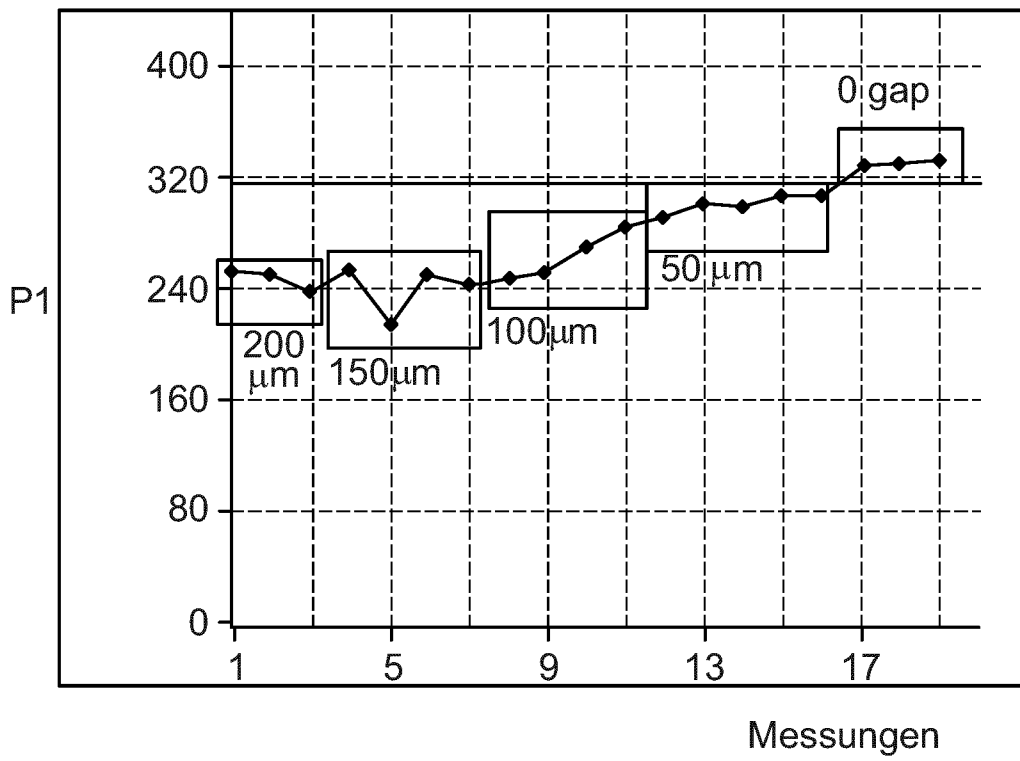


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2021/053993

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B23K 26/244</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/03</i> (2006.01)i; <i>B23K 31/02</i> (2006.01)i; <i>B23K 31/12</i> (2006.01)i; <i>B23K 101/38</i> (2006.01)n; <i>B23K 103/10</i> (2006.01)n; <i>B23K 103/12</i> (2006.01)n		
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 102007024789 B3 (TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH [DE]) 23 October 2008 (2008-10-23)	1-10,14,16-19
Y	0027, 0031, 0041-0045, 0048-0049,0059; Fig. 1-6)	11,13-15
A		12
X	WO 2016082823 A1 (SCANSONIC MI GMBH [DE]) 02 June 2016 (2016-06-02) figure 1; pages 10-12, 15, 16	1-3,13,16-19
Y	US 2019099833 A1 (KEEN STEPHEN JOHN [GB]) 04 April 2019 (2019-04-04) paragraphs [0057], [00129]	11
Y	DE 102013015710 A1 (DAIMLER AG [DE]) 24 July 2014 (2014-07-24) the whole document	13-15
Y	US 2018245616 A1 (KUMAZAWA SEIJI [JP] ET AL) 30 August 2018 (2018-08-30) the whole document	13-15
<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 11 May 2021		Date of mailing of the international search report 26 May 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Hernanz, Sonsoles Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2021/053993

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102007024789	B3	23 October 2008	CN	101730607	A	09 June 2010
				DE	102007024789	B3	23 October 2008
				US	2010086003	A1	08 April 2010
				US	2014269816	A1	18 September 2014
				WO	2008145237	A1	04 December 2008
WO	2016082823	A1	02 June 2016	CN	107000119	A	01 August 2017
				DE	102014117157	A1	25 May 2016
				JP	2017535435	A	30 November 2017
				US	2017259373	A1	14 September 2017
				WO	2016082823	A1	02 June 2016
US	2019099833	A1	04 April 2019	EP	3426428	A1	16 January 2019
				US	2019099833	A1	04 April 2019
				WO	2017153707	A1	14 September 2017
DE	102013015710	A1	24 July 2014	NONE			
US	2018245616	A1	30 August 2018	CN	107949454	A	20 April 2018
				EP	3351339	A1	25 July 2018
				JP	6660533	B2	11 March 2020
				JP	6846608	B2	24 March 2021
				JP	2020089919	A	11 June 2020
				JP	WO2017047050	A1	14 June 2018
				KR	20180043291	A	27 April 2018
				US	2018245616	A1	30 August 2018
				WO	2017047050	A1	23 March 2017

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B23K26/244 B23K26/03	B23K31/02 B23K31/12
ADD.	B23K101/38 B23K103/10	B23K103/12
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 2007 024789 B3 (TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH [DE]) 23. Oktober 2008 (2008-10-23)	1-10, 14, 16-19
Y A	0027, 0031, 0041-0045, 0048-0049, 0059; Fig. 1-6)	11, 13-15 12
X	WO 2016/082823 A1 (SCANSONIC MI GMBH [DE]) 2. Juni 2016 (2016-06-02) Fig. 1; S. 10-12, 15, 16	1-3, 13, 16-19
Y	US 2019/099833 A1 (KEEN STEPHEN JOHN [GB]) 4. April 2019 (2019-04-04) Absätze [0057], [00129]	11
Y	DE 10 2013 015710 A1 (DAIMLER AG [DE]) 24. Juli 2014 (2014-07-24) das ganze Dokument	13-15
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
11. Mai 2021		26/05/2021
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 Hernanz, Sonsoles

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2018/245616 A1 (KUMAZAWA SEIJI [JP] ET AL) 30. August 2018 (2018-08-30) das ganze Dokument -----	13-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2021/053993

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102007024789 B3	23-10-2008	CN 101730607 A	09-06-2010
		DE 102007024789 B3	23-10-2008
		US 2010086003 A1	08-04-2010
		US 2014269816 A1	18-09-2014
		WO 2008145237 A1	04-12-2008

WO 2016082823 A1	02-06-2016	CN 107000119 A	01-08-2017
		DE 102014117157 A1	25-05-2016
		JP 2017535435 A	30-11-2017
		US 2017259373 A1	14-09-2017
		WO 2016082823 A1	02-06-2016

US 2019099833 A1	04-04-2019	EP 3426428 A1	16-01-2019
		US 2019099833 A1	04-04-2019
		WO 2017153707 A1	14-09-2017

DE 102013015710 A1	24-07-2014	KEINE	

US 2018245616 A1	30-08-2018	CN 107949454 A	20-04-2018
		EP 3351339 A1	25-07-2018
		JP 6660533 B2	11-03-2020
		JP 6846608 B2	24-03-2021
		JP 2020089919 A	11-06-2020
		JP WO2017047050 A1	14-06-2018
		KR 20180043291 A	27-04-2018
		US 2018245616 A1	30-08-2018
		WO 2017047050 A1	23-03-2017
