

(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  
13. Juni 2019 (13.06.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/110054 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 26/38 (2014.01) B23K 26/044 (2014.01)  
B23K 26/03 (2006.01) B23K 26/08 (2014.01)  
B23K 26/04 (2014.01) B23K 101/06 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2018/100991

(22) Internationales Anmeldedatum:  
05. Dezember 2018 (05.12.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2017 129 107.5  
07. Dezember 2017 (07.12.2017) DE

(71) Anmelder: JENOPTIK AUTOMATISIERUNGSTECHNIK GMBH [DE/DE]; Konrad-Zuse-Straße 6, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: STEINBACH, Sebastian; An der Ringwiese 33c, 07745 Jena (DE). SCHELLER, Torsten; Saarbrücker Straße 11, 07749 Jena (DE). REMM, Markus; Johannising 21, 99441 Magdala (DE). REICHL, Torsten; Heckenweg 24, 07745 Jena (DE). LANGEBACH, Jan; Eiselstraße 12, 07548 Gera (DE).

(74) Anwalt: SCHALLER, Renate et al.; Patentanwälte OEHMKE & KOLLEGEN, Neugasse 13, 07743 Jena (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, 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 TRIMMING A BENT TUBE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BESCHNEIDEN EINES GEBOGENEN ROHRES

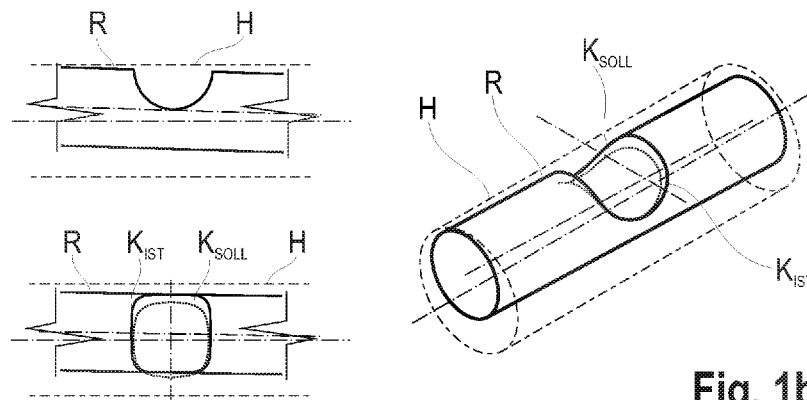


Fig. 1b

(57) Abstract: Method for trimming a bent tube (R) along an actual cutting contour ( $K_{IST}$ ), in which a virtual tolerance envelope (H) for the tube (R) is calculated and a laser beam cutting the actual cutting contour ( $K_{IST}$ ) is guided along a desired cutting contour ( $K_{SOLL}$ ) with regard to the tolerance envelope (H), wherein the actual cutting contour ( $K_{IST}$ ) arises as a projection of the desired cutting contour ( $K_{SOLL}$ ) or the laser beam is guided along the corrected desired cutting contour ( $K_{SOLL}$ ), which then corresponds to the actual cutting contour ( $K_{IST}$ ).

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Beschneiden eines gebogenen Rohres (R) entlang einer Ist-Schnittkontur ( $K_{IST}$ ), bei dem eine virtuelle Toleranzhülle (H) für das Rohr (R) berechnet wird und ein die Ist-Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) schneidender Laserstrahl entlang einer auf die Toleranzhülle (H) bezogenen Soll-Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) geführt wird, wobei die Ist-Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) als Projektion der Soll-Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) entsteht oder der Laserstrahl entlang der korrigierten Soll-Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) geführt wird, die dann der Ist-Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) entspricht.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2019/110054 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

**Veröffentlicht:**

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
- *mit geänderten Ansprüchen gemäss Artikel 19 Absatz 1*

## Verfahren zum Beschneiden eines gebogenen Rohres

Gebogene Rohre haben eine hohe Maßhaltigkeit, was ihre Länge und ihren Querschnitt anbetrifft, aber nur eine sehr geringe Maßhaltigkeit betreffend den Biegeradius, der bei einem zwei- oder dreidimensionalen Biegen der Rohre entsteht. Schwankungen im Biegeradius führen zu Schwankungen des Verlaufes der Rohrachse. Dadurch wird es schwierig, am gebogenen Rohr Schnitte vor und hinter der Rohrbiegung auszuführen, die eine reproduzierbare Lage der entstehenden Schnittkonturen zueinander aufweisen.

Aus dem Stand der Technik sind zwei unterschiedliche Verfahren bekannt, um dreidimensional gebogene Rohre oder rohrähnliche Bauteile (nachfolgend gemeinsam Rohr genannt) zu beschneiden. Automatisiert können die beiden Verfahren mit einem Laser als Schneidwerkzeug durchgeführt werden.

Bei einem ersten, aus der Praxis bekannten Verfahren werden vor dem Verfahrensschritt des Schneidens Referenzlöcher in das gebogene Rohr eingebracht, über die zur Positionierung des Rohres zum Schneidwerkzeug das Rohr in einer Werkstückaufnahme aufgenommen wird. Damit wird das Rohr in einer vorbestimmten Relativlage der Referenzlöcher zu der Werkstückaufnahme gehalten. Bei einem automatisierten Schneiden werden die Schnittkonturen, entlang der das Rohr geschnitten wird, in ihrer Raumlage bezogen auf die Lage der Referenzlöcher festgelegt, unabhängig von einer möglichen Toleranzabweichung der Rohrbiegung des Rohres gegenüber einem Sollwert. Die Lage der Referenzlöcher wird so gewählt, dass ein Rohr, welches in der Aufnahme aufsteckbar ist, auch innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches für die Rohrbiegung liegt. Damit wird über das Kriterium der Aufsteckbarkeit auch entschieden, ob das Rohr in oder außer Toleranz ist. Aufgrund der geometrischen Toleranzen der Rohre ist eine definierte automatisierte Aufnahme durch einen Greifer und ein Aufstecken über die Referenzlöcher in der Werkstückaufnahme nicht möglich.

In einem zweiten, aus der Praxis bekannten Verfahren wird das Rohr in eine Werkstückaufnahme eingelegt, in der es innerhalb eines Kontaktbereiches zur Anlage kommt. Auch hier müssen die Rohre aufgrund ihrer geometrischen Toleranzen manuell

ingelegt werden. Rohre, die sich nicht in einem vorgegebenen Maße einlegen lassen, weichen mit ihrem Biegeradius soweit von einem Sollwert ab, dass die Rohrbiegung nicht mehr innerhalb einer vorgegebenen Biegetoleranz liegt. Nachteilig ist hier zum einen, dass durch die starre Lage des Rohres in der Werkstückaufnahme das Rohr nur begrenzt für ein Schneidwerkzeug wie einen Laserstrahl zugänglich ist. Von der Werkstückaufnahme verdeckte Bereiche werden erst durch ein Umlegen des Rohres in eine andere Werkstückaufnahme für die Bearbeitung zugänglich. Dies führt zu einem erhöhten Zeit- und Vorrichtungsaufwand. Zum anderen werden außer Toleranz liegende Formabweichungen des Rohres außerhalb des Kontaktbereiches der Aufnahme nicht festgestellt, weshalb gegebenenfalls an einem Rohr eine Schnittkontur außer Toleranz geschnitten wird und das fehlerhafte Rohr unbemerkt einer weiteren Verarbeitung zugeführt wird.

Insbesondere bei der Herstellung komplexer Schweißgruppen, wie z. B. Rohrrahmen, ist es besonders nachteilig, wenn erst beim späteren Prozessschritt des Verschweißens der Rohre miteinander festgestellt wird, dass die Rohre nicht an allen Schnittstellen miteinander verbunden werden können, weil die Schnittkonturen an einzelnen der Rohre zu weit von einer vorgegebenen Solllage abweichen und sich die damit ergebenden Abweichungen der Raumlage der Rohre zueinander in einer Toleranzkette summieren.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Beschneiden eines Rohres zu schaffen, das vergleichsweise mehr automatisiert ist und demzufolge die Schnittkonturen toleranzminimiert hergestellt werden können.

Diese Aufgabe wird für ein Verfahren zum Beschneiden eines gebogenen Rohres entlang einer Ist - Schnittkontur gelöst, wobei eine virtuelle Toleranzhülle mit einer darauf bezogenen Soll - Schnittkontur für das Rohr errechnet und bezogen auf ein raumfestes Koordinatensystem abgespeichert wird. Das Rohr wird durch einen Greifarm einer Zustelleinrichtung mit bekannter Raumlage im Koordinatensystem aufgenommen. Es wird die Kontur des Rohres mit einer optischen Vermessungseinrichtung mit bekannter Raumlage im Koordinatensystem erfasst und das Rohr wird in die virtuelle Toleranzhülle eingefügt, womit die Einhaltung einer

Formtoleranz für das Rohr bestätigt wird und das Rohr eine durch die Toleranzhülle definierte Raumlage einnimmt. Zeitgleich oder danach führt der Greifarm das Rohr einer Laserschneideinrichtung, die in bekannter Raumlage im Koordinatensystem angeordnet ist, zu, wobei die Toleranzhülle der Laserschneideinrichtung zugestellt wird, sodass die Laserschneideinrichtung eine vorbestimmte Relativlage zu der Toleranzhülle einnimmt und ein von der Laserschneideinrichtung ausgesendeter Laserstrahl die Ist - Schnittkontur am Rohr schneidet.

Vorteilhaft wird der Laserstrahl entlang der Soll - Schnittkontur geführt, wobei die Ist - Schnittkontur als eine Projektion der Soll - Schnittkontur am Rohr geschnitten wird, Die Projektion der Soll - Schnittkontur entspricht dabei einer Modifikation der Soll - Schnittkontur.

Es ist auch von Vorteil, wenn die Kontur des Rohres und seine Lage in der Toleranzhülle erfasst und abgespeichert werden, die Soll - Schnittkontur auf das Rohr korrigiert wird und der Laserstrahl entlang der korrigierten Soll - Schnittkontur geführt wird, die dann der Ist - Schnittkontur entspricht.

Für eine schnellere Aufnahme des Rohres durch den Greifarm von einer Zustellfläche wird zuvor vorteilhaft die Lage des Rohres auf der Zustellfläche mit einer weiteren optischen Vermessungseinrichtung erfasst.

Die bei dem Beschneiden des Rohres entstehende reale Schnittkontur (nachfolgend Ist - Schnittkontur) entsteht durch ein Ausschneiden am Mantel eines Rohres oder ein Abschneiden am Ende eines Rohres.

Um z.B. zwei Rohre miteinander zu verschweißen, wird eine entstandene Ist - Schnittkontur in Form einer Ausschnittsfläche am Mantel des Rohres oder einer Stirnfläche am Ende des Rohres jeweils an die Mantelfläche oder eine geschnittene Stirnfläche eines anderen Rohres gefügt und verschweißt.

Die Ist - Schnittkanten toleranzminimiert herzustellen, heißt, sie so am Rohr zu schneiden, dass ein daran geschweißtes weiteres Rohr unabhängig von der Formabweichung des beschnittenen Rohres gegenüber einem idealen beschnittenen

Rohr mit möglichst geringer Lageabweichung von einer Solllage angeschweißt werden kann.

Es ist erfindungswesentlich, dass jeweils zum Schneiden der Ist - Schnittkontur die Soll - Schnittkontur, nicht bezogen auf das jeweils reale Rohr, sondern bezogen auf die für das Rohr gerechnete Toleranzhülle, festgelegt wird.

Die Soll - Schnittkontur liegt bevorzugt innerhalb der Toleranzhülle, bevorzugt mittig zwischen den Lagen zweier maximal voneinander abweichenden Ist - Schnittkonturen an in der Toleranzhülle eingefügten Rohren.

Es ist eine Möglichkeit, die Ist - Schnittkontur als Projektion der Soll - Schnittkontur auf das reale Rohr herzustellen. In Abhängigkeit von der Winkelstellung des Laserstrahls jeweils zum Lot in den Auftreffpunkten entlang der Soll - Schnittkontur wird die Soll - Schnittkontur verkleinert, vergrößert oder anders modifiziert auf den Mantel des Rohres projiziert. Idealerweise erfolgt die Projektion so, dass ein an die entstehende Ist - Schnittkontur mit seiner Mantelfläche angelegtes anderes Rohr bezogen auf die Toleranzhülle immer eine gleiche Relativlage zur Toleranzhülle des geschnittenen Rohres aufweist, völlig unabhängig davon, wie das geschnittene Rohr in der Toleranzhülle liegt. Damit geht die Lagetoleranz der in der Toleranzhülle liegenden Rohren nicht in eine Toleranzkette ein.

Es ist eine andere Möglichkeit, die Soll - Schnittkontur auf das Rohr zu korrigierten und den Laserstrahl entlang der korrigierten Soll - Schnittkontur zu führen, die dann der Ist - Schnittkontur entspricht. Dazu muss nicht nur die Kontur des Rohres erfasst werden, sondern auch dessen Lage in der Toleranzhülle.

Es wird für jedes Rohr eine individuelle Toleranzhülle festgelegt, die für die Formtoleranz des jeweiligen Rohres bestimmend ist. Die Toleranzhülle muss nicht, wie das der Übersichtlichkeit halber in den Zeichnungen dargestellt ist, über die Länge des Rohres gleiche Maßabweichungen von einem idealen Rohr aufweisen, sondern kann z.B. in der Umgebung von vorgesehenen Ist - Schnittstellen enger toleriert sein. Die Toleranzhülle wird mit ihr zugeordneten Soll -Schnittstellen, bezogen auf ein raumfestes Koordinatensystem, abgespeichert, auf das bezogen die zur Verfahrensdurchführung

vorhandenen Einrichtungen eine bekannte, feste Raumlage aufweisen. Das zur Bearbeitung durch den Greifarm aufgenommene Rohr wird der optischen Vermessungseinrichtung, z.B. einer 3-D-Kamera, zugestellt, wo die Kontur des Rohres und seine Lage im Raum erfasst wird. Anschließend wird das Rohr durch Bewegung des das Rohr haltenden Greifarms in die gerechnete Toleranzhülle eingefügt. Ist ein Einfügen nicht möglich, ist das Rohr außer Formtoleranz und wird nicht weiter verarbeitet. Die Toleranzhülle kann auch nur einen oder mehrere einzelne Abschnitte des Rohres umhüllen. Das Rohr hat dann über die Kenntnis der Lage der Toleranzhülle im Raum eine bekannte Raumlage und wird mit dieser Genauigkeit der Laserschneideinrichtung relativ zugestellt. Das heißt das Rohr nimmt keine reproduzierbare Raumlage zur Laserschneideinrichtung ein. Eine reproduzierbare Raumlage wird jedoch von der Toleranzhülle eingenommen. Auch muss das Rohr nicht in einer reproduzierbaren Relativlage zur Zustelleinrichtung aufgenommen werden. Es reicht daher aus, wenn das Rohr nur vororientiert auf der Zustellfläche liegt, sodass der Greifarm das Rohr günstig greifen kann. Dadurch, dass das Rohr nicht durch eine definierte Aufnahme in eine definierte Relativlage zur Zustelleinrichtung gebracht wird, sondern erst danach, indem es in eine durch die Toleranzhülle definierte Relativlage zu der Zustelleinrichtung eingefügt wird, kann das Rohr z.B. nach dem Schneiden der ersten Ist-Schnittkontur an den Greifarm der weiteren Zustelleinrichtung übergeben, erneut vermessen, und erneut in die Toleranzhülle eingefügt werden, womit es dann zu der weiteren Zustelleinrichtung eine definierte Raumlage einnimmt. Hierfür kann z.B. dann Bedarf entstehen, wenn es eines Umgreifens des Rohres bedarf, um alle Ist - Schnittstellen an einem Rohr zu schneiden.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und Zeichnungen näher erläutert werden.

Hierzu zeigen:

Fig. 1a ein ideales Rohr, ideal in einer Toleranzhülle liegend, bei dem eine Soll - Schnittkontur und eine Ist - Schnittkontur zusammenfallen,

Fig. 1b ein Rohr, verkippt in einer Toleranzhülle liegend,

Fig. 1c ein weiteres Rohr, verkippt in einer Toleranzhülle liegend und

Fig. 2 eine Prinzipskizze für eine Vorrichtung geeignet für die Durchführung des Verfahrens.

In einem ersten Verfahrensschritt wird für ein zu beschneidendes gebogenes Rohr R eine Toleranzhülle H berechnet. Sie umhüllt das Rohr R vollständig oder auch nur teilweise und wird so berechnet, dass das Rohr R, welches vollständig in die Toleranzhülle H eingefügt werden kann, innerhalb einer Formtoleranz liegt. Mit der Toleranzhülle H werden darauf bezogene Soll - Schnittkonturen  $K_{SOLL}$  für das Rohr R abgespeichert. Vorteilhaft liegen die Soll - Schnittkonturen  $K_{SOLL}$  so innerhalb der Toleranzhülle H, dass sie mit Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$ , entlang das Rohr R beabsichtigt ist zu beschneiden, zusammenfallen, wenn ein ideales Rohr R ideal innerhalb der Toleranzhülle H liegt. In **Fig. 1a** ist eine solche Situation, vereinfacht an einem geraden Rohr R dargestellt, gezeigt. Die Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  ist hier vorteilhaft so auf die Toleranzhülle H festgelegt, dass mögliche Abweichungen der Lage der an den unterschiedlich in der Toleranzhülle H liegenden Rohren R geschnittenen Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$  in Richtung eines auf das Rohr R gerichteten Laserstrahls vor und hinter der Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  liegen können, um nahe der entlang der Soll-Schnittkontur  $K_{SOLL}$  geführten Fokusslage des Laserstrahls zu liegen.

In den **Fig. 1b** und **Fig. 1c** ist jeweils das Rohr R verkippt in der Toleranzhülle H dargestellt. Grundsätzlich wird man das Rohr R so in die Toleranzhülle H einfügen, dass seine Rohrachse möglichst mit der Achse der Toleranzhülle H zusammenfällt, was im Falle eines idealen Rohres R ohne Formabweichungen immer möglich ist. Im Falle von Formabweichungen ist die Rohrachse und die Achse der Toleranzhülle H zumindest abschnittsweise zueinander verkippt, was hier vereinfacht mit den **Fig. 1b** und **Fig. 1c** gezeigt werden sollte.

Die Soll- Schnittkontur  $K_{SOLL}$ , bezogen auf die Toleranzhülle H, wird entweder auf die unterschiedlich in der Toleranzhülle H liegenden Rohre R projiziert, wobei die auf den Mantel des jeweiligen Rohres R entstehenden Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$  eine Größen-



und / oder Formänderung gegenüber der Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  aufweisen. Oder die Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  wird auf den Mantel des jeweiligen Rohres R korrigiert und der Laserstrahl wird entlang der korrigierten Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL/KORR}$  geführt, welche dann der Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$  entspricht.

Die Toleranzhülle H und die Soll - Schnittkonturen  $K_{SOLL}$ , es kann sich hierbei auch nur um eine einzige Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  handeln, sind bezogen auf ein raumfestes Koordinatensystem abgespeichert. Die Raumlage der zur Durchführung des Verfahren notwendigen technischen Mittel, wie eine Zustelleinrichtung 2, mit einem Greifarm 2.1, einer optisches Vermessungseinrichtung 3 und eine Laserschneideinrichtung 4 innerhalb des Koordinatensystems, ist bekannt.

Die genannten technischen Mittel sind jeweils mit einer Speicher- und Steuereinheit 6 verbunden.

Zum Beschneiden des Rohres R wird dieses von einer Zustellfläche 1 durch den Greifarm 2.1 der Zustellvorrichtung 2 aufgenommen und zu der optischen Vermessungseinrichtung 3 transportiert, wo die Kontur des Rohres R erfasst wird. Durch die Kenntnis der Raumlage der optischen Vermessungseinrichtung 3, z.B. einer 3-D-Kamera, ist auch die Raumlage der Kontur des Rohres R bekannt und die Kontur kann in die Toleranzhülle H transformiert werden, das heißt das Rohr R wird durch den Greifarm 2.1 bewegt, bis es sich in die virtuelle Toleranzhülle H einfügt hat, womit zum einen die Einhaltung einer Formtoleranz für das Rohr R bestätigt ist und zum anderen das Rohr R eine durch die Toleranzhülle H definierte Raumlage eingenommen hat.

Der Greifarm 2.1 führt das Rohr R einer Laserschneideinrichtung 4 zu. Das kann erfolgen, nachdem das Rohr R in die Toleranzhülle H transformiert wurde oder während dessen. Indem die Toleranzhülle H der Laserschneideinrichtung 4 in einer vorbestimmten Relativlage zugestellt wird, nimmt die Laserschneideinrichtung 4 eine vorbestimmte Position zu der Toleranzhülle H ein und ein von der Laserschneideinrichtung 4 ausgesendeter Laserstrahl schneidet an dem Rohr R die Ist - Schnittkontur  $K_{IST}$ .

Dabei kann die Ist - Schnittkontur  $K_{IST}$  einer Projektion der Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  verkleinert, vergrößert oder anders modifiziert auf den Mantel des Rohres R entsprechen.

Der Laserstrahl wird entlang der Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  z.B. unter einem Winkel zum Lot auf die Toleranzhülle H geführt, wobei durch Änderung des Winkels nicht nur eine Vergrößerung oder Verkleinerung sondern auch eine Formänderung der Ist - Schnittkontur  $K_{IST}$  gegenüber der Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  bewirkt werden kann.

Die Ist - Schnittkontur kann auch eine korrigierte Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL/KORR}$  sein. Um die korrigierte Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL/KORR}$  zu berechnen, wird nicht nur die Kontur des Rohres R erfasst und abgespeichert, sondern auch seine Lage in der Toleranzhülle H. Die Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  kann dann in Kenntnis der Lage des Rohres R in der Toleranzhülle H auf das Rohr R korrigiert werden und der Laserstrahl wird entlang der korrigierten Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL/KORR}$  geführt, die dann der Ist - Schnittkontur  $K_{IST}$  entspricht.

Vorteilhaft wird vor dem Aufnehmen des Rohres R von der Zustellfläche 1 durch den Greifarm 2.1 die Lage des Rohres R auf der Zustellfläche 1 mit einer weiteren optischen Vermessungseinrichtung 5 erfasst. Damit kann festgestellt werden, ob eine vorgesehene Anzahl von Rohren R und wie diese auf der Zustellfläche 1 liegen, um sie mit dem Greifarm 2.1 sicher aufnehmen zu können, auch wenn sie in nicht reproduzierbarer Lage aufliegen.

In **Fig. 2** ist eine Prinzipskizze für eine zur Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung dargestellt. Die Vorrichtung enthält eine Zustelleinrichtung 2 mit einem Greifarm 2.1, eine optische Vermessungseinrichtung 3, eine Laserschneideinrichtung 4, eine Speicher- und Steuereinheit 6 und eine weitere optische Vermessungseinrichtung 5.

Zur Bearbeitung eines Rohres R, das heißt zum Schneiden einer Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  an dem Rohr R, wird das Rohr R durch den Greifarm 2.1 der Zustelleinrichtung 2 von einer Zustellfläche 1 aufgenommen. Bevorzugt liegen mehrere Rohre R vorsortiert, vorpositioniert und vororientiert auf der Zustellfläche 1, so dass der Greifarm 2.1 beim Anfahren einer vorgegebenen Greifposition jeweils das Rohr R, zu dem Greifarm 2.1

vororientiert liegend, aufgreift. Es besteht nicht die Notwendigkeit, die Rohre R so genau auf der Zustellfläche 1 zu positionieren, dass sie jeweils beim Aufgreifen in einer reproduzierbaren Raumlage zu der Zustelleinrichtung 2 aufgegriffen werden, was der vergleichsweise großen Formtoleranz der einzelnen Rohre R entgegen kommt.

Der Greifarm 2.1 ist bevorzugt ein mehrachsiger Greifarm 2.1, der ein gegriffenes Werkstück, hier das Rohr R, innerhalb eines begrenzten Arbeitsbereiches frei bewegen kann. Innerhalb des Arbeitsbereiches befindet sich die Zustellfläche 1, die optische Vermessungseinrichtung 3, z.B. eine 3-D-Kamera und die Laserschneideinrichtung 4.

Mittels des Greifarmes 2.1 wird das Rohr R vor die 3-D-Kamera transportiert, wo die Kontur des Rohres R und vorteilhaft dessen Raumlage erfasst und abgespeichert wird. Danach bewegt der Greiferarm 2.1 das Rohr R, bis die gewonnenen Daten in die Toleranzhülle H des Rohres R projiziert sind, womit bestätigt wird, dass das Rohr R in Toleranz ist. Die Raumlage des Rohres R innerhalb eines durch die Zustelleinrichtung 2 definierten oder eines anderen raumfesten Koordinatensystems ist somit durch die Raumlage der Toleranzhülle H im Koordinatensystem bestimmt.

Danach oder zeitgleich stellt der Greifarm 2.1 das Rohr R der Laserschneideinrichtung 4 so zu, dass sich die Toleranzhülle H in einer vorbestimmten Relativlage zur Laserschneideinrichtung 4 und damit zu dem als Werkzeug dienenden Laserstrahl befindet. Der Laserstrahl schneidet dann eine Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$  an dem Rohr R, wobei der Laserstrahl entlang einer von auf die Toleranzhülle H bezogenen Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL}$  bzw. einer korrigierten Soll - Schnittkontur  $K_{SOLL/KORR}$  geführt wird. Das Verfahren ist mit dem Laserstrahl möglich, weil die Ausführung des Schnittes nicht wie bei einer mechanischen Bearbeitung den mechanischen Kontakt zwischen einem Schneidwerkzeug und einem Werkstück und damit eine definierte Lage der Bearbeitungsfläche verlangt. Beim Laserschneiden kann die Bearbeitungsfläche zumindest innerhalb des Fokusbereiches eine unterschiedliche Raumlage einnehmen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, an den nur grob tolerierten Rohren R die Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$  zu schneiden, an die andere der Rohre R angefügt und verschweißt werden können, wobei durch eine Modifikation der Ist - Schnittkonturen  $K_{IST}$ , abhängig von der Lage der Rohre R in der Toleranzhülle H und damit abhängig

von deren Formabweichungen, die grobe Toleranz der Rohre R nicht oder nur gering in die Toleranzkette zum Verbinden der Rohre R an den Ist - Schnittstellen  $K_{IST}$  eingeht. Es ermöglicht auch die automatisierte Aufnahme nur vororientierter Rohre R durch den Greifarm 2.1 und deren Zustellung zu der Laserschneideinrichtung 4.

## Bezugszeichenliste

R	Rohr
H	Toleranzhülle
K <sub>SOLL</sub>	Soll - Schnittkontur
K <sub>IST</sub>	Ist - Schnittkontur
K <sub>SOLL/KORR</sub>	korrigierte Soll - Schnittkontur
1	Zustellfläche
2	Zustelleinrichtung
2.1	Greifarm
3	optische Vermessungseinrichtung
4	Laserschneideinrichtung
5	weitere optische Vermessungseinrichtung
6	Speicher- und Steuereinheit

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschneiden eines gebogenen Rohres (R) entlang einer Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ), wobei  
eine virtuelle Toleranzhülle (H) mit einer darauf bezogenen Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) für das Rohr (R) berechnet und bezogen auf ein raumfestes Koordinatensystem abgespeichert wird,  
das Rohr (R) durch einen Greifarm (2.1) einer Zustelleinrichtung (2) mit bekannter Raumlage im Koordinatensystem aufgenommen wird,  
die Kontur des Rohres (R) mit einer optischen Vermessungseinrichtung (3) mit bekannter Raumlage im Koordinatensystem erfasst wird,  
das Rohr (R) in die virtuelle Toleranzhülle (H) eingefügt wird, womit die Einhaltung einer Formtoleranz für das Rohr (R) bestätigt wird und das Rohr (R) eine durch die Toleranzhülle (H) definierte Raumlage einnimmt,  
der Greifarm (2.1) das Rohr (R) einer Laserschneideinrichtung (4) in bekannter Raumlage im Koordinatensystem zuführt, wobei die Toleranzhülle (H) der Laserschneideinrichtung (4) zugestellt wird, sodass die Laserschneideinrichtung (4) eine vorbestimmte Relativlage zu der Toleranzhülle (H) einnimmt und ein von der Laserschneideinrichtung (4) ausgesendeter Laserstrahl die Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) am Rohr (R) schneidet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Laserstrahl entlang der Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) geführt wird und dabei die Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) als eine Projektion der Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) am Rohr (R) schneidet, wobei die Projektion einer Modifikation der Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Kontur des Rohres (R) und seine Lage in der Toleranzhülle (H) erfasst und abgespeichert wird, die Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) auf das Rohr (R) korrigiert wird und der Laserstrahl entlang der korrigierten Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) geführt wird, die der Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) entspricht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass vor Aufnahme des Rohres (R) durch den Greifarm (2.1) von einer Zustellfläche (1) die Lage des Rohres (R) auf der Zustellfläche (1) mit einer weiteren optischen Vermessungseinrichtung (5) erfasst wird.

## GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

beim Internationalen Büro eingegangen am 27. Mai 2019 (27.05.2019)

1. Verfahren zum Beschneiden eines gebogenen Rohres (R) entlang einer Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ), wobei  
eine virtuelle Toleranzhülle (H) mit einer darauf bezogenen Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) für das Rohr (R) berechnet und bezogen auf ein raumfestes Koordinatensystem abgespeichert wird,  
das Rohr (R) durch einen Greifarm (2.1) einer Zustelleinrichtung (2) mit bekannter Raumlage im Koordinatensystem aufgenommen wird,  
die Kontur des Rohres (R) mit einer optischen Vermessungseinrichtung (3) mit bekannter Raumlage im Koordinatensystem erfasst wird,  
das Rohr (R) durch Bewegung des das Rohr (R) haltenden Greifarms (2.1) in die virtuelle Toleranzhülle (H) eingefügt wird, womit die Einhaltung einer Formtoleranz für das innerhalb dieser Formtoleranz liegende Rohr (R) bestätigt wird und das Rohr (R) eine durch die Raumlage der Toleranzhülle (H) definierte Raumlage einnimmt, und das Rohr (R) wird mit der Genauigkeit der Lage in der Toleranzhülle (H) einer Laserschneideinrichtung (4) relativ zugestellt,  
sodass die Laserschneideinrichtung (4) eine vorbestimmte Relativlage zu der Toleranzhülle (H) einnimmt und ein von der Laserschneideinrichtung (4) ausgesendeter Laserstrahl die Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) am Rohr (R) schneidet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Laserstrahl entlang der Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) geführt wird und dabei die Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) als eine Projektion der Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) am Rohr (R) schneidet, wobei die Projektion einer Modifikation der Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Kontur des Rohres (R) und seine Lage in der Toleranzhülle (H) erfasst und abgespeichert wird, die Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) auf das Rohr (R) korrigiert wird und der Laserstrahl entlang der korrigierten Soll - Schnittkontur ( $K_{SOLL}$ ) geführt wird, die der Ist - Schnittkontur ( $K_{IST}$ ) entspricht.



4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass vor Aufnahme des Rohres (R) durch den Greifarm (2.1) von einer Zustellfläche (1) die Lage des Rohres (R) auf der Zustellfläche (1) mit einer weiteren optischen Vermessungseinrichtung (5) erfasst wird.

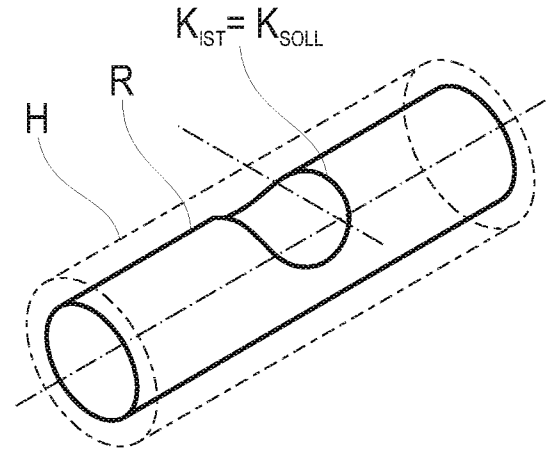
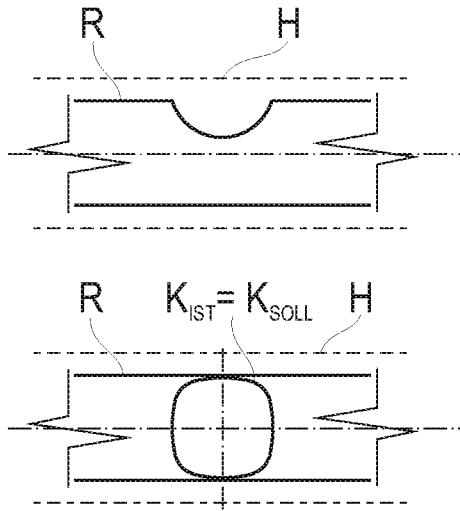


Fig. 1a

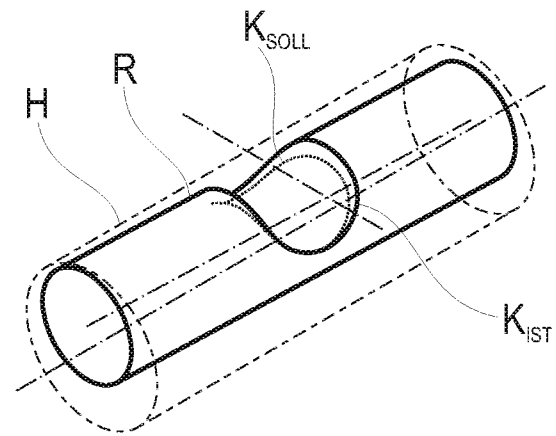
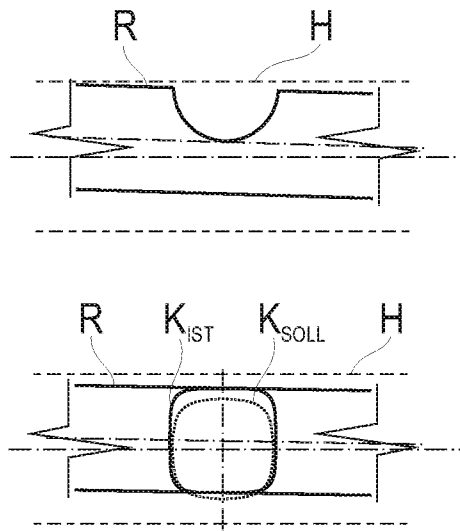


Fig. 1b

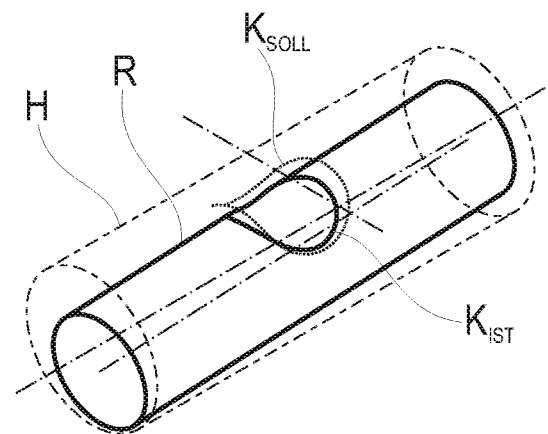
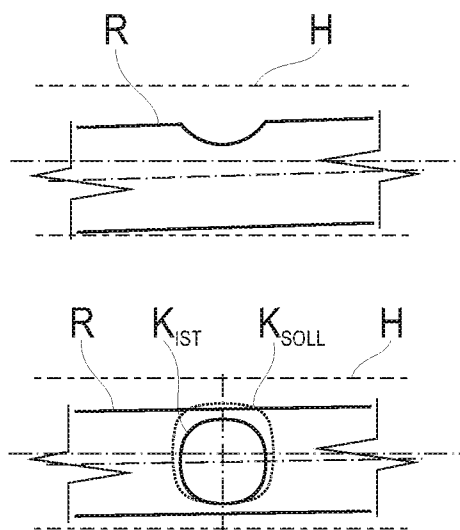


Fig. 1c

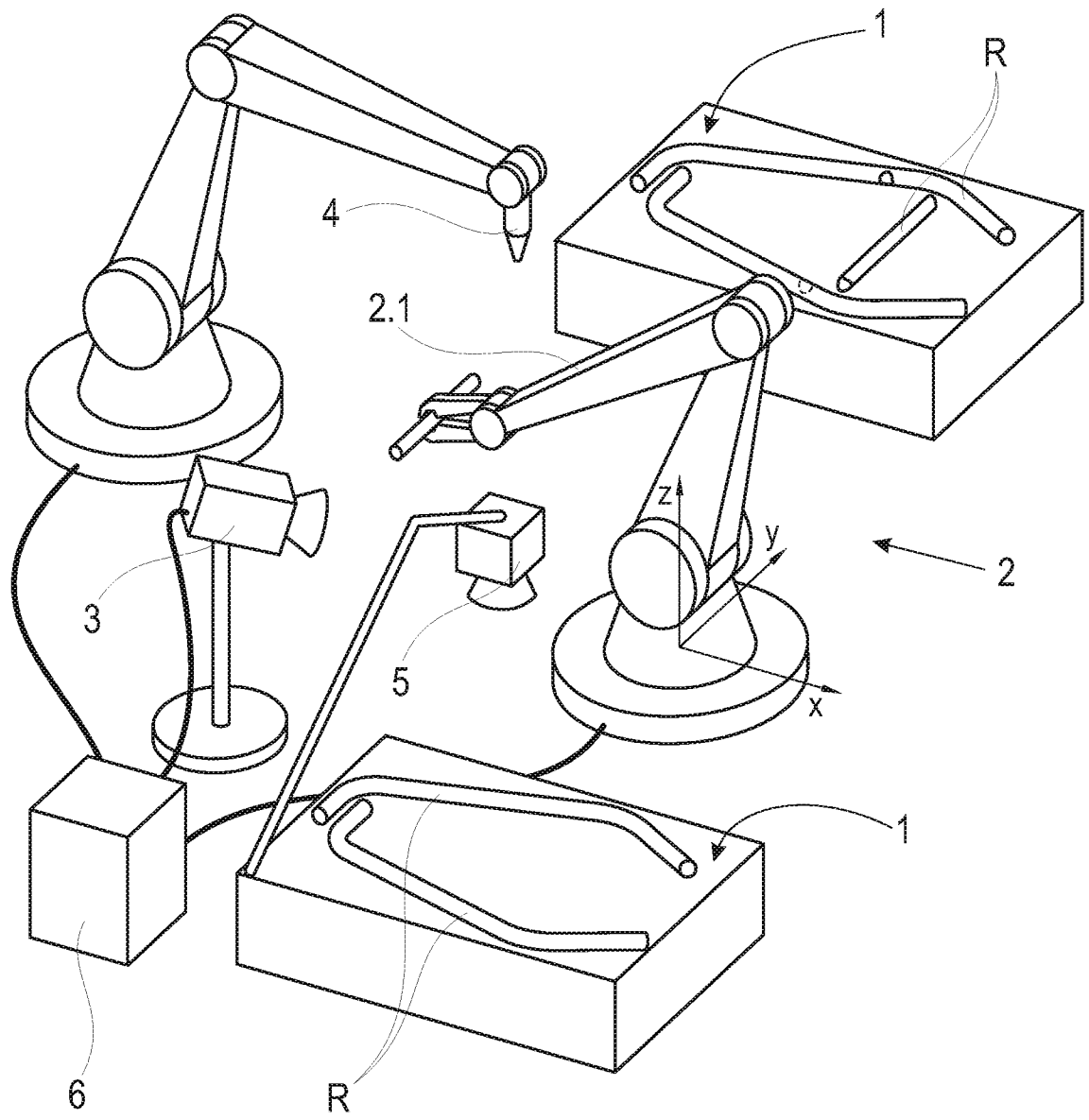


Fig. 2

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2018/100991

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>B23K 26/38</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/03</i> (2006.01)i; <i>B23K 26/04</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/044</i> (2014.01)i; <i>B23K 26/08</i> (2014.01)i; <i>B23K 101/06</i> (2006.01)n		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6664499 B1 (BRINK STEVE A [US] ET AL) 16 December 2003 (2003-12-16) column 1, lines 4-10; figures 1-4, 7-9 column 2, lines 39-65 column 3, lines 1-9 column 4, lines 3-15 column 5, lines 54-60 column 6, lines 5-16 column 8, lines 11-49 column 9, lines 29-37 column 10, lines 38-51 column 11, line 28 - column 12, line 17	1-4
A	EP 2042259 A1 (DEERE & CO [US]) 01 April 2009 (2009-04-01) paragraphs [0001], [0007], [0009] - [0015], [0019], [0021] - [0037]; figure 1	1-4
A	US 4274621 A (ILLAKOWICZ JAN ET AL) 23 June 1981 (1981-06-23) abstract; figures 1-5,9,14,15	1-4
<input checked="" 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 <b>18 March 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>01 April 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Seiderer, Jens</b>  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/DE2018/100991**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CA 2365294 A1 (NAM KYONG H [CA]) 16 May 2003 (2003-05-16) abstract; figure 1	1-4
<hr/>		

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

International application No.

**PCT/DE2018/100991**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	6664499	B1	16 December 2003	NONE	
<hr/>					
EP	2042259	A1	01 April 2009	AT 504386 T	15 April 2011
				DE 102007046142 A1	02 April 2009
				EP 2042259 A1	01 April 2009
				JP 2009082984 A	23 April 2009
				US 2009084766 A1	02 April 2009
<hr/>					
US	4274621	A	23 June 1981	BE 839549 A	01 July 1976
				CA 1045355 A	02 January 1979
				DE 2610576 A1	23 September 1976
				ES 446056 A1	16 November 1977
				FR 2303635 A1	08 October 1976
				GB 1548918 A	18 July 1979
				IE 42645 B1	24 September 1980
				NL 7602616 A	16 September 1976
				NO 760858 A	15 September 1976
				PT 64895 A	01 April 1976
				SE 432212 B	26 March 1984
				US 4274621 A	23 June 1981
<hr/>					
CA	2365294	A1	16 May 2003	NONE	
<hr/>					

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. B23K26/38 B23K26/03 B23K26/04 B23K26/044 B23K26/08  
 ADD. B23K101/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER 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.
A	US 6 664 499 B1 (BRINK STEVE A [US] ET AL) 16. Dezember 2003 (2003-12-16) Spalte 1, Zeilen 4-10; Abbildungen 1-4, 7-9 Spalte 2, Zeilen 39-65 Spalte 3, Zeilen 1-9 Spalte 4, Zeilen 3-15 Spalte 5, Zeilen 54-60 Spalte 6, Zeilen 5-16 Spalte 8, Zeilen 11-49 Spalte 9, Zeilen 29-37 Spalte 10, Zeilen 38-51 Spalte 11, Zeile 28 - Spalte 12, Zeile 17 -----	1-4
A	EP 2 042 259 A1 (DEERE & CO [US]) 1. April 2009 (2009-04-01) Absätze [0001], [0007], [0009] - [0015], [0019], [0021] - [0037]; Abbildung 1 ----- -/--	1-4

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
18. März 2019	01/04/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Seiderer, Jens
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 274 621 A (ILLAKOWICZ JAN ET AL) 23. Juni 1981 (1981-06-23) Zusammenfassung; Abbildungen 1-5,9,14,15 -----	1-4
A	CA 2 365 294 A1 (NAM KYONG H [CA]) 16. Mai 2003 (2003-05-16) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-4



**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2018/100991

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6664499	B1	16-12-2003	KEINE
-----			
EP 2042259	A1	01-04-2009	AT 504386 T 15-04-2011
			DE 102007046142 A1 02-04-2009
			EP 2042259 A1 01-04-2009
			JP 2009082984 A 23-04-2009
			US 2009084766 A1 02-04-2009
-----			
US 4274621	A	23-06-1981	BE 839549 A 01-07-1976
			CA 1045355 A 02-01-1979
			DE 2610576 A1 23-09-1976
			ES 446056 A1 16-11-1977
			FR 2303635 A1 08-10-1976
			GB 1548918 A 18-07-1979
			IE 42645 B1 24-09-1980
			NL 7602616 A 16-09-1976
			NO 760858 A 15-09-1976
			PT 64895 A 01-04-1976
			SE 432212 B 26-03-1984
			US 4274621 A 23-06-1981
-----			
CA 2365294	A1	16-05-2003	KEINE
-----			