

(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  
30. April 2015 (30.04.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2015/059046 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**B23Q 1/70** (2006.01) **B24B 41/06** (2012.01)  
**B23Q 3/18** (2006.01) **B24B 3/00** (2006.01)  
**B24B 41/04** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/072304

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. Oktober 2014 (17.10.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2013 111 599.3  
21. Oktober 2013 (21.10.2013) DE

(71) Anmelder: **FEINMECHANIK MICHAEL DECKEL  
GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Am Öferl 17-19, 82362  
Weilheim (DE).

(72) Erfinder: **STRASSER, Günther**; c/o FEINMECHANIK  
MICHAEL DECKEL GMBH & CO. KG, Am Öferl 17 -  
19, 82362 Weilheim (DE). **FEUCHTHUBER, Adolf**; c/o  
FEINMECHANIK MICHAEL DECKEL GMBH & CO.  
KG, Am Öferl 17 - 19, 82362 Weilheim (DE). **ENDRES,  
Reinhard**; c/o FEINMECHANIK MICHAEL DECKEL  
GMBH & CO. KG, Am Öferl 17 - 19, 82362 Weilheim  
(DE).

(74) Anwalt: **LOHR JÖSTINGMEIER & PARTNER**;  
Junkersstraße 3, 82178 Puchheim (DE).

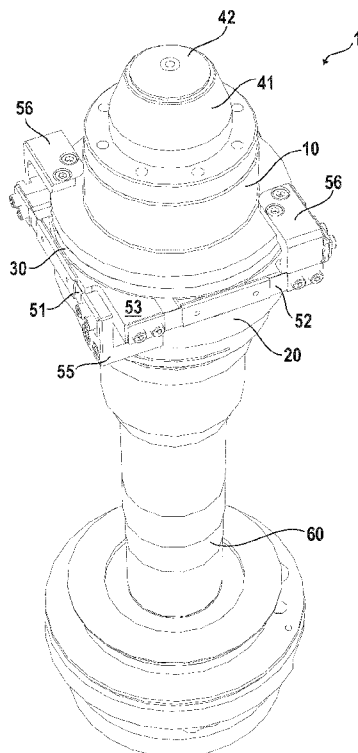
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SPINDLE OF A GRINDING MACHINE TOOL

(54) Bezeichnung : SPINDEL EINER WERKZEUGSCHLEIFMASCHINE

Fig. 1



(57) Abstract: A cylindrical workpiece to be machined by grinding can be positioned particularly accurately when the workpiece is supported on at least one, preferably two static support elements and immobilised in a collet of a spindle, allowing both wobbling to be compensated and the spindle axis to be radially shifted relative to the longitudinal axis of the workpiece.

(57) Zusammenfassung: Die Positionierung eines zylindrischen durch Schleifen zu bearbeitenden Werkstücks kann besonders präzise erfolgen, wenn das Werkstück an wenigstens einem, vorzugsweise zwei statischen Stützelementen angelegt wird und in einer Spannzange einer Spindel festgesetzt wird, die eine Taumelausgleich ebenso erlaubt wie eine Radialverschiebung der Spindelachse zur Längsachse des Werkstücks.



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.

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- (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,

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

## Spindel einer Werkzeugschleifmaschine

### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Werkzeugschleifmaschine, insbesondere eine Spindel für eine Spannzange einer Werkzeugschleifmaschine.

### 5   Stand der Technik

Werkzeugschleifmaschinen haben in der Regel eine Spannzange zum Einspannen eines zumindest im Wesentlichen zylindrischen Werkstücks, des späteren Werkzeugs. Typische Beispiele für solche durch Schleifen hergestellte Werkzeuge sind Bohrer und Fräser.

- 10   Um das Werkstück von allen Seiten zu bearbeiten, wird es während der Bearbeitung um die Zylinderachse gedreht. Idealerweise sind dabei die Rotationsachse und die Längsachse des Werkstücks im mathematischen Sinne identisch. In der Praxis gibt es jedoch Toleranzen, die vielerlei Gründe haben. Beispielsweise ist die Wiederholgenauigkeit beim Einspannen des Werkstücks endlich. Auch La-
- 15   gertoleranzen der Spindel und auf das Werkstück wirkende Bearbeitungskräfte reduzieren die Präzision der fertigen Werkzeuge. Die Präzisionsanforderungen an Bohrer oder Fräser sind jedoch im Bereich weniger Mikrometer. Daher wird das Werkstück meist an einer oder mehreren Lünetten abgestützt wird, um ein Ausweichen des Werkstücks während der Bearbeitung zu verhindern.
- 20   In der EP 1419852 A1 wird eine Werkzeugschleifmaschine mit einer Spindel für eine Spannzange beschrieben. Die Spannzange sitzt am Kopfende der Spindel, welche gegenüber einem Lagerbock durch zwei hydrostatische Lager drehbar gelagert ist. Das Werkstück wird von der Spannzange aufgenommen und zusätzlich über eine Lünette als statisches Lager zusätzlich abgestützt. Die hydrostati-
- 25   schen Lager ersetzen die sonst üblichen Kugellager. Das dem Werkstück zugewandte hydrostatische Lager erlaubt ein größeres radiales Spiel als das dem

Werkstück abgewandte hydrostatische Lager, dadurch soll eine überbestimmte Lagerung vermieden und Ungenauigkeiten im Rundlauf sollen kompensiert werden. Ein seitliches Ausweichen der Spindel soll über einen entsprechend hohen Druck in den hydrostatischen Lagern vermieden werden.

- 5 In der DE 10 2005 007 038 A1 ist ein Werkstückspindelstock für eine Werkzeugschleifmaschine beschrieben. Der Werkstückspindelstock hat wie üblich eine Spindel mit einer Spannzange um das Werkstück aufzunehmen. Um Ungenauigkeiten beim Einspannen auszugleichen wird nach jedem Einspannvorgang die sogenannte Exzentrizität des Werkstücks vermessen und korrigiert. Zum korrigie-
- 10 ren hat die Spindel eine lösbare Ausrichtschnittstelle, die eine motorische Ausrichtung der Spannzange und somit des Werkstücks rechtwinklig zur Spindelachse erlaubt.

- In der DD 2 40 157 A1 wird eine Spindel einer Werkzeugmaschine beschrieben. Die Spindel hat eine Antriebswelle und ein Arbeitsspindel. Die Antriebswelle und
- 15 die Arbeitsspindel sind über eine flexible Membranscheibe als Drehkupplung miteinander gekuppelt. In axialer Richtung auftretende Bearbeitungskräfte werden von Schrägkugellagern abgefangen. Das werkstückseitige Schrägkugellager ist als Festlager ausgeführt und das antriebswellenseitige Schrägkugellager erlaubt einen Taumelausgleich.

- 20 In der DE 10 2009 031 027 A1 wird eine geteilte Werkzeugspindel für eine kombinierte Fräs-Drehmaschine mit einem stehenden und einem sich drehenden Werkzeug beschrieben. Die Werkzeugspindel hat einen Spannkopf mit einer Spindelwelle, die über eine Kupplung mit der Welle eines Antriebsmotors verbunden wird. Zur Fräsbearbeitung wird die Werkzeugspindel in dem Spannfutter
- 25 hydrostatisch festgesetzt.

### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Werkzeugmaschine bereitzustellen, die eine gegenüber dem Stand der Technik erhöhte Präzision der Bearbeitung und eine einfachere Handhabung ermöglicht.

- 5 Diese Aufgabe wird durch eine Spindel nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine präzise Führung des Werkstücks am besten durch ein oder vorzugsweise zwei Lünetten gelänge. Die Wiederholgenauigkeit beim Einspannen der Werkstücke in die Spannzange ist aber  
10 schlechter als die Führung des Werkstücks durch Lünetten, so dass die Gefahr besteht, dass Spindel und/oder Werkstücke beim Drehen derselben um ihre Längsachsen verspannen was der Präzision abträglich ist. Die im Stand der Technik vorgeschlagene hydrostatische Spindellagerung überzeugt nicht, weil entweder die Lager weich eingestellt sind, um die Taumelbewegung auszugleichen o-  
15 der aber steif sind um die radialen Bearbeitungskräfte aufzunehmen. Dieser Zielkonflikt bei der Einstellung des Lagerdrucks kann nicht gelöst werden.

Kern der Erfindung ist eine Spindel mit einem Lager, das einen Taumelausgleich und/oder die Kompensation eines Radialversatzes zwischen einem hinteren Spindelabschnitt, d.h. der Antriebswelle und der Längsachse eines in einer  
20 Spannzange der Spindel festgelegten Werkstücks ermöglicht.

Wie üblich hat die Spindel einen vorderen Abschnitt, der als Spindelkopf bezeichnet wird und der wie üblich eine Spannzange für ein Werkstück aufnehmen kann, d.h. z.B. eine Ausnehmung für eine Spannzangenaufnahme hat. Die entsprechende Spannzangenaufnahme kann beispielsweise in eine axiale Ausneh-  
25 mung des Spindelkopfes eingesetzt werden. Alternativ kann die Spannzangenaufnahme ein integraler Teil des Spindelkopfs sein. Die Längsachse des Spindelkopfs entspricht zumindest in etwa der Längsachse der Spannzange und wird

auch als erste Längsachse bezeichnet. Zudem hat die Spindel einen hinteren Spindelabschnitt, der in der Verlängerung der ersten Längsachse angeordnet ist. Der hintere Spindelabschnitt ist die Antriebswelle des Spindelkopfes und hat eine zweite Längsachse. Der hintere Spindelabschnitt kann wie üblich von einem Lagerbock bzw. Spindelstock einer Werkzeugmaschine aufgenommen und angetrieben werden und ist entsprechend ausgebildet. Beispielsweise kann der hintere Spindelabschnitt wenigstens einen Sitz für wenigstens ein Lager zur drehbaren Lagerung des hinteren Spindelabschnitts an einem Lagerbock sein. Alternativ (oder zusätzlich) kann wenigstens eine Lagerfläche eines Drehlagers an dem hinteren Spindelabschnitt ausgebildet sein. An den hinteren Spindelabschnitt können sich weitere Spindelabschnitte anschließen. Zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt, d.h. der Antriebswelle ist wenigstens ein Lager, das eine Verkipfung der ersten Achse relativ zur zweiten Achse ermöglicht und/oder (vorzugsweise und) eine radiale Verschiebung der ersten Achse relativ zu zweiten erlaubt. Mit Verkippen bzw. Verkipfung ist hier ein Schwenken der beiden Achsen in zwei von einander linear unabhängigen Richtungen gemeint, so dass eine Taumelbewegung zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt möglich wird. Vorzugsweise überträgt das Lager Druck- und/oder Zugkräfte in axialer Richtung der ersten bzw. der zweiten Achse zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt. Zur Übertragung von Drehmomenten von der Antriebswelle auf den Spindelkopf ist das Lager entweder drehsteif oder wird von einer drehsteifen Kupplung überbrückt.

Die erste und die zweite Achse liegen in der Praxis extrem eng zusammen und sind auch nur minimal gegeneinander verkippt. Der typische Radialversatz ist in der Größenordnung weniger hundertstel Millimeter (entspricht weniger 100 bis 10  $\mu\text{m}$ ). Die Verkipfung ist typischerweise in der Größenordnung weniger hundertstel Grad. Das Lager sollte vorzugsweise einen Radialversatz um wenige Millimeter und eine Verkipfung um wenige Grad erlauben, u.a. weil dann die Gängigkeit des Lagers händisch überprüft werden kann.

Nachfolgend wird nicht unterschieden, ob die Kupplung Teil des Lagers ist oder nicht, denn es macht funktionell keinen Unterschied, ob eine entsprechende Kupplung in das Lager integriert ist oder ob die Kupplung als zusätzliches Bauelement betrachtet wird. Im Rahmen der Anmeldung wird als Lager die Summe  
5 der Bauelement verstanden, die eine eingeschränkte Bewegung des Spindelkopfes relativ zum hinteren Spindelabschnitt zulässt. Als Kupplung wird die Summe der Bauelement verstanden, die eine Übertragung von Drehmomenten zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt erlaubt. Auch durch diese Abgrenzung wird klar, dass die (Dreh-)Kupplung streng genommen immer Teil  
10 des Lagers ist, weil es die rotatorische Bewegungen zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt vorzugsweise vollständig unterbindet und damit die Bewegung einschränkt.

Eine Werkzeugmaschine mit der zuvor beschriebenen Spindel erlaubt es das Werkstück an zwei Stellen durch festlegbare Stützelemente wie z.B. Lünetten  
15 abzustützen und/oder festzulegen, z.B. durch einen oder mehrere Klemmfinger (wobei eine Drehung um die Längsachse möglich bleiben sollte). Die Position und Lage des stabförmigen Werkstücks wird folglich ausschließlich von den abstützenden und die Bearbeitungskräfte zumindest in radialer Richtung aufnehmen-  
den statischen Stützelementen bestimmt. Insbesondere die radial auf das stab-  
20 förmige Werkstück wirkenden Bearbeitungskräfte können dadurch zuverlässig abgefangen werden ohne dass eine nennenswerte Lage oder Positionsänderung des Werkstücks erfolgt. Eventuelle Ungenauigkeiten die durch das Einspannen des Werkstücks in der Spannzange entstehen, werden durch das Lager zwischen dem Spindelkopf und dem hinteren Spindelabschnitt kompensiert, wodurch die  
25 Präzision erhöht wird. Axial auf das Werkstück wirkende Bearbeitungskräfte können ebenso wie Drehmomente über das Lager vom Spindelkopf auf den hinteren Spindelabschnitt übertragen und z.B. über einen Spindelstock in die Struktur der Werkzeugmaschine eingeleitet werden. Eine einmal gefundene Einstellung der Stützelemente muss nicht verändert werden, wenn ein neues Werk-

stück einer Serie identischer Werkstücke bearbeitet werden soll. Erst für eine neue Serie, wenn also Werkstücke mit anderen Abmessungen bearbeitet werden sollen, ist für die neue Serie eine einmalige Einstellung der Stützelemente notwendig. Die Lagerung zwischen dem Spindelkopf und der Antriebswelle ermöglicht somit gegenüber starren Spindeln drei Vorteile: Es wird nicht nur die Genauigkeit der Positionierung des Werkstücks erhöht, sondern zudem die Rüstzeit verkürzt. Zudem kann die Lagerung der Antriebswelle an der Werkzeugmaschine vergleichsweise einfach erfolgen, weil eine teure Präzisionslagerung nicht mehr notwendig ist. Wenn die Präzision der Lagerung der Antriebswelle relativ zum Lagerbock reduziert wird, müssen jedoch zum ersten Einmessen bzw. Einjustieren der Position eines Werkstücks bzw. eines Kalibrierdorns die Lünetten entsprechend verstellt werden. Oft ist es daher einfacher die Präzision der Lagerung der Antriebswelle relativ zum Lagerbock nicht zu reduzieren. Das erlaubt es das Werkstück oder einen Kalibrierdorn zu Positionieren (d.h. „Einzumessen“) und anschließend die Lünetten an das Werkstück bzw. den Kalibrierdorn anzulegen.

Vorzugsweise hat die Spindel eine Zentriervorrichtung um den Spindelkopf und den hinteren Spindelabschnitt zueinander zu zentrieren. Mit dem Begriff „zentrieren“ ist gemeint, dass der Spindelkopf und der hintere Spindelabschnitt so zueinander ausgerichtet werden, dass die erste Achse und die zweite Achse vorzugsweise zumindest in etwa fluchten oder zumindest in einer definierten Lage zueinander sind. Vorzugsweise erlaubt die Zentriervorrichtung den Spindelkopf in der definierten Lage zu dem hinterem Spindelabschnitt zu sperren und die Sperrung wieder aufzuheben.

Dazu können der Spindelkopf und der Schaft beispielsweise jeweils gegenüberliegende Zentrierflächen haben, zwischen denen wenigstens ein Zentrierschieber zwischen wenigstens einer ersten Position und einer zweiten Position verstellbar ist. In der ersten Position werden die Zentrierflächen durch den Schieber gegeneinander verspannt wodurch das Lager von dem Zentrierschieber sperrend über-



brückt wird und wodurch der Spindelkopf und die der hintere Abschnitt zueinander zentriert werden. In der zweiten Position ist die Sperrung aufgehoben. Der Zentrierschieber kann beispielsweise einen verjüngten Bereich und einen verdickten Bereich haben, wobei zum Zentrieren der verdickte Bereich in einen Spalt zwischen den Zentrierflächen geschoben wird, um die Zentrierflächen gegeneinander zu verspannen. Der Zentrierschieber kann beispielsweise ein zwischen einem axialen Zentrierzapfen des Spindelkopfes und einer Zentrierbüchse des hinteren Spindelabschnitts axialverschiebbarer Ring oder ein Ringsegment sein. Natürlich kann die Zentrierbüchse auch an dem Spindelkopf und der Zentrierzapfen am hinteren Spindelabschnitt angeordnet sein.

Die Zentriervorrichtung erlaubt es bei einem Werkstückwechsel das Werkstück präzise in den Spindelkopf einzusetzen und insbesondere dazu eine automatische Ladevorrichtung, z.B. einen Robotergreifer zu verwenden wie er beispielsweise aus der DE 10 2011 052 976 bekannt ist, ohne dass eine Positionserfassung für den Spindelkopf vorgesehen werden muss. Sobald die Bearbeitung eines Werkstücks abgeschlossen ist, wird der Spindelkopf mittels der Zentriervorrichtung zum hinteren Spindelabschnitt zentriert. Die Position und Lage des Werkstücks sind nun sehr genau bekannt und es kann beispielsweise mit einem Robotergreifer aus der Spannzange entnommen werden, ohne dass Sensoren zur Positionserkennung des Werkstücks notwendig wären. Zudem kann ein neues Werkstück sehr präzise in die Spannzange eingesetzt werden. Anschließend wird die Zentriervorrichtung geöffnet und die Zentrierung entsprechend aufgehoben, d.h. das Lager ist nun wieder freigegeben und erlaubt einen Taumelausgleich und/oder einen Radialversatz. Vorzugsweise wird erst jetzt das Werkstück gegen wenigstens eines der Stützelemente vorgespannt. Dabei gleicht das Lager Unterschiede in der Lage bzw. Orientierungen der Werkstücklängsachse, welche über die Spannzange starr mit dem Spindelkopf verbunden ist und dem hinteren Spindelabschnitts aus. Dadurch wird das Werkstück bei einer Drehung des hinteren Spindelabschnitts präzise um seine und nicht um die zweite Achse gedreht.

Vorzugsweise hat das Lager ein erstes und/oder ein zweites Luftlager. Beispielsweise kann das erste Luftlager kugelflächensegmentförmige Lagerflächen aufweisen und das zweite Luftlager plane Lagerflächen, deren Flächennormalen zur ersten oder zweiten Achse parallel sind. Eine Ausführung des Lagers als Luftlager bzw. als Kombination zweier Luftlager ermöglicht ein Ausgleich von Taumelbewegungen und einem Radialversatz der ersten zur zweiten Achse, ohne dass eine Haftreibung überwunden werden müsste. Die Präzision wird folglich weiter erhöht. Zudem ermöglicht die Ausführung als Luftlager eine kompakte Bauform und eine sehr hohe Steifigkeit in axialer Richtung. Der Spalt zwischen den Lagerflächen der Luftlager beträgt wie üblich nur wenige Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) und liegt daher in der Größenordnung der angestrebten Bearbeitungsgenauigkeit des Werkstücks. Dementsprechend ist das Luftlager in axialer Richtung der Spindel extrem steif, wodurch die mögliche Präzision der Positionierung des Werkstücks und damit seiner Bearbeitung weiter erhöht wird. Luftlager sind vereinfacht formuliert Gleitlager, bei denen die beiden Gleitflächen durch eine Luftpölster voneinander getrennt sind. Die Luft wirkt somit als Schmiermittel. Anstelle von Luft als Schmiermittel des Lagers können ebenso andere Fluide verwendet werden. Der Begriff Luftlager steht daher als pars pro toto für ein hydrostatisches Lager. Beispielsweise kann das beim Schleifen verwendete Kühlmittel als Schmiermittel für das Lager genutzt werden. Dadurch kann die bei anderen (nicht gasförmigen) Fluiden notwendige separate Abführung oder Abscheidung des Schmiermittels entfallen.

Beispielsweise kann das Lager ein ringförmiges oder wenigstens ein ringsegmentförmiges Zwischenstück aufweisen. Das Zwischenstück hat vorzugsweise wenigstens eine erste kugelflächensegmentförmige Lagerfläche und auf seiner der kugelsegmentförmigen Lagerfläche abgewandten Seite wenigstens eine zweite plane Lagerfläche. In diesem Sinne kann man das Zwischenstück auch als Zwischenblock bezeichnen. Durch die planen Lagerflächen wird ein Radialversatz der ersten zu der zweiten Achse ermöglicht. Durch die kugelsegmentförmigen

Lagerflächen wird eine Verkipfung der ersten zur zweiten Achse möglich. Daher ist der Kugelmittelpunkt des Kugelsegments vorzugsweise auf der ersten oder der zweiten Achse. Besonders bevorzugt liegt der Kugelmittelpunkt, also der Punkt, um den der Spindelkopf gegen den hinteren Abschnitt schwenkbar ist auf  
5 der entsprechenden Achse vor der Spannzange. Dadurch wird der Winkel zwischen der Längsachse des Werkstücks und der Längsachse des hinteren Spindelabschnitts, der durch die Taumbewegung kompensiert werden muss kleiner. Besonders bevorzugt liegt der Kugelmittelpunkt oberhalb des Schwerpunkts des Spindelkopfs (vorzugsweise mit eingespanntem Werkstück. Bei einer vertikalen  
10 Spindelachse weist dann die Spannzangenöffnung immer nach oben.

Alternativ können die beiden Lagerflächen des Zwischenblocks Segmente von Zylindermantelflächen sein. Entsprechend sind auch die jeweils komplementären Lagerflächen des Spindelkopfs und des hinteren Spindelabschnitts Segmente von Zylindermantelflächen. Anders formuliert hat das Lager ein erstes und/oder ein  
15 zweites vorzugsweise als Luftlager (allgemeiner hydrostatisches Lager) ausgeführtes Teillager, wobei das erste Teillager zwei zueinander komplementäre erste Lagerblöcke mit ersten Zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen aufweist und das zweite Teillager zwei zueinander komplementäre zweite Lagerblöcke mit zweiten zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen auf-  
20 weist. Jedes der beiden Teillager erlaubt eine Kippbewegung der entsprechenden Lagerblöcke in der die Mittelachse der Längsachse der jeweiligen Zylindermantelflächensegmente orthogonal schneidenden Ebene und eine Translation in der dazu orthogonalen Ebene. Gleichzeitig können Drehbewegungen um die Schnittachse der beiden Ebenen und damit Drehmomente zwischen den Lagerblöcken  
25 übertragen werden. Nur der Vollständigkeit halber wird angemerkt, dass die Zylinderlängsachsen der beiden Zylindermantelflächensegmente nicht parallel zueinander sein sollten, sondern vorzugsweise zumindest bei einer Axialprojektion entlang der ersten und/oder der zweiten Achse einen vorzugsweise rechten Winkel bilden. Vorzugsweise liegen die beiden Zylinderlängsachsen in einer Ebe-

ne, dadurch ergibt sich wie bei einem Kugelgelenk die Möglichkeit den Spindelkopf um einen Punkt in zwei linear unabhängige Richtungen zu schwenken. Die Zylinderlängsachsen können über eine entsprechende Anpassung der Radien der Zylindersegmentflächen und/oder durch die Ausrichtung der Zylindersegmentflächen aufeinander gelegt werden.

Wenn man auf den Taumelsaugleich verzichten kann, dann kann man anstelle von zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen auch nicht rotationssymmetrische Lagerflächen verwenden, beispielsweise prismatische Lagerflächen. Im einfachsten Fall sind die Lagerflächen V-förmig.

- 10 Die Lagerflächen sind typischerweise Oberflächen entsprechender komplementärer Lagerblöcke zwischen denen ein von den Lagerflächen begrenzter Luftspalt (allgemeiner Fluidspalt) ist. Vorzugsweise sind die einander gegenüberliegenden, d.h. komplementären Lagerflächen bzw. die entsprechenden Lagerblöcke wenigstens eines Luftlagers vorzugsweise magnetisch gegeneinander vorgespannt.
- 15 Unter „Vorspannen“ wird das Ausüben einer die Lagerflächen zusammendrückenden Kraft verstanden, welche bei einem gegebenen Luftdurchsatz durch das Lager die Spaltdicke festlegt. Dies ermöglicht ein besonders kompaktes und steifes Luftlager. Die Vorspannkraft übersteigt vorzugsweise die in axialer Richtung wirkenden Bearbeitungskräfte, so dass diese kein nennenswertes Lagerspiel verursachen. Vorzugsweise ist die Vorspannkraft  $F_v$  mindestens das 1,2 fache der in axialer Richtung abzufangenden Bearbeitungskräfte  $F_{Bax}$  ( $F_v \geq 1.2 \cdot F_{Bax}$ , besonders bevorzugt  $F_v \geq 2 \cdot F_{Bax}$ , weiter bevorzugt  $F_v \geq 10 \cdot F_{Bax}$ ). Diese hohen Vorspannkräfte lassen sich durch in die Lagerblöcke eingelassene Permanentmagnete leicht erzielen.
- 20
- 25 Magnetisches Vorspannen kann vorzugsweise durch Permanentmagnete erfolgen, die in zueinander komplementären Lagerblöcken eingelassen sind. Im einfachsten Fall werden beidseits des Spaltes Magnete derart angeordnet, dass der

- magnetische Fluss den Spalt überbrückt, also vom Nordpol eines ersten Magneten in einem ersten Lagerblock den Spalt durchsetzend zu einem Südpol wenigstens eines zweiten Magneten im gegenüberliegenden zweiten Lagerblock verläuft. Es kann aber auch ein einziger, Magnet genügen, wenn seine beiden Pole
- 5 über wenigstens einen magnetischen Leiter miteinander verbunden werden, wobei der magnetische Fluss den Spalt durchsetzt. In allen Fällen wird, der magnetischer Fluss zwischen Nord- und Südpol wenigstens eines Magneten oder aber wenigstens zweier verschiedener Magnete den Luftspalt zwischen den Lagerflächen überbrückend geführt.
- 10 Dazu können Nord- und Südpol der Magnete in den komplementären Lagerblöcken so zueinander ausgerichtet werden, dass die Magnete sich anziehen und damit eine die Lagerflächen zusammendrückende Kraft auf die Lagerblöcke ausüben. Natürlich können auch Rückschlussbleche oder dergleichen verwendet werden um die Magnetfelder zu führen. Nur der Einfachheit halber ist im Rahmen der Anmeldung lediglich von Nord- bzw. Südpolen die Rede, denn die aus
- 15 diesen aus- bzw. in diese eintretenden Feldlinien können durch magnetische Leiter mit einer besseren magnetischen Leitfähigkeit als das sie umgebende Material, wie sie üblicherweise für magnetische Rückschlussbleche verwendet werden, an nahezu beliebige Orte ‚verlegt‘ werden. Wesentlich ist nur, dass der üblicherweise durch Magnetfeldlinien veranschaulichte magnetische Fluss von einem
- 20 magnetischen Nordpol eines sich an einem ersten Lagerblock abstützenden Magneten vorzugsweise orthogonal zur entsprechenden Lagerfläche aus der Lagerflächen in den Luftspalt eintritt und auf der gegenüberliegenden Seite in einen Südpol eines sich am gegenüberliegenden Lagerblock abstützenden Magneten eintritt. Alternativ kann der magnetische Fluss vom Nordpol eines Magneten
- 25 durch den Luftspalt und mit einem magnetischen Leiter durch den gegenüberliegenden Lagerblock geführt werden, so dass er den Luftspalt erneut durchsetzt zum Südpole eines anderen oder desselben Magneten fließt. Nord- und Südpol können daher in nahezu beliebiger Lage und Position angeordnet werden, sofern

der magnetische Fluss z.B. über einen magnetischen Leiter den Luftspalt durchsetzend geführt wird.

In einer besonders einfachen Ausführungsform haben die Lagerblöcke je wenigstens eine Ausnehmung, in denen jeweils wenigstens ein Permanentmagnet angeordnet ist. Beispielsweise kann der Permanentmagnet in einer Ausnehmung der entsprechenden Lagerfläche angeordnet sein. Nachdem der (wenigstens eine) Permanentmagnet in die Ausnehmung eingebracht wurde, kann die Ausnehmung z.B. mit einem Polymer verschlossen werden, vorzugsweise so dass der Verschluss die Lagerfläche fortsetzt. Damit ist gemeint, dass der Spalt zwischen den Lagerflächen möglichst gleichmäßig ist. Da Lagerflächen von hydrostatischen Lagern üblicherweise eingeschliffen werden, ist das entsprechend leicht möglich, wenn man zunächst die Magnete einsetzt, die Ausnehmung mit dem Polymer verschließt und nach dem Aushärten die Lagerflächen einschleift, bzw. poliert, besonders bevorzugt wird dabei der Nord- oder der Südpol oder ein mit einem solchen verbundener magnetischer Leiter freigelegt und dadurch Teil der Lagerfläche. Dadurch kann eine besonders hohe Vorspannung erreicht werden. Alternativ kann der (wenigstens eine) Magnet von der der Lagerfläche abgewandten Rückseite oder einer die Lagerfläche mit der Rückseite verbindenden Schmalseite in eine beispielsweise sacklochartige Ausnehmung eingesetzt werden, wobei der Abstand des Magnets von der Lagerfläche möglichst klein sein sollte. Der Nord- und/oder der Südpol des Magneten sollte vorzugsweise in Richtung der gegenüberliegenden Lagerfläche weisen.

Natürlich kann auch ein ganzer Lagerblock oder ein Segment eines Lagerblocks aus einem permanentmagnetischen Werkstoff gefertigt sein.

25 Eine Drehmomentübertragung zwischen dem hinteren Spindelabschnitt und dem Spindelkopf kann durch eine das Lager überbrückende Kupplung erfolgen.

Beispielsweise kann die Kupplung ein mit Bezug auf die erste und/oder zweite Achse frei verschiebbares und vorzugsweise kippbares Kupplungselement haben. Das Kupplungselement umgibt vorzugsweise das Lager, oder einen Teil davon ringförmig. Der hintere Spindelabschnitt ist über mindestens eine, vorzugsweise jedoch zwei zumindest näherungsweise parallele ( $\pm 15^\circ$ ) erste Streben mit dem Kupplungselement verbunden. Die ersten Streben sind vorzugsweise auf gegenüberliegenden Seiten der ersten und/oder der zweiten Längsachse seitlich an der Antriebswelle und dem Kupplungselement angeordnet und verlaufen vorzugsweise zumindest in etwa ( $\pm 15^\circ$ ) in einer die erste und/oder zweite Achse orthogonal schneidenden Ebene. In der Aufsicht auf die Ebene weisen die an dem Kupplungselement befestigten Enden vorzugsweise in zumindest näherungsweise ( $\pm 15^\circ$ ) diametral entgegengesetzte Richtungen. Dadurch wird bei der Übertragung eines Drehmoments von der Antriebswelle auf das Kupplungselement mittels der Streben unabhängig von der Richtung des Drehmoments immer eine der beiden Streben auf Zug belastet, wodurch die Kupplung sehr steif ist. Das Kupplungselement ist in ähnlicher Weise mit dem Spindelkopf verbunden, nämlich über wenigstens eine, vorzugsweise zwei zueinander zumindest in etwa ( $\pm 15^\circ$ ) parallele zweite Streben. Auch die beiden zweiten Streben sind vorzugsweise auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten der ersten und/oder der zweiten Achse angeordnet und zumindest in etwa ( $\pm 15^\circ$ ) parallel zueinander. Vorzugsweise liegen die Längsachsen der zweiten Streben in der gleichen Ebene wie die der ersten Streben oder in einer dazu zumindest in etwa ( $\pm 15^\circ$ ) parallelen Ebene, sind jedoch gegen die ersten Streben verdreht, d.h. die Längsachsen der Streben bilden zumindest in der Projektion auf einer der beiden Ebenen ein Parallelogramm. Die an dem Kupplungselement befestigten Enden weisen vorzugsweise in zumindest näherungsweise ( $\pm 15^\circ$ ) diametral entgegengesetzte Richtungen.

Über die Streben können Drehmomente zuverlässig von dem als Antriebswelle für den Spindelkopf dienenden hinteren Spindelabschnitt auf den Spindelkopf übertragen werden. Ein radialer Versatz des Spindelkopfs gegenüber dem hintere-

ren, üblicherweise in einem Lagerbock der Werkzeugmaschine aufgenommenen hinteren Spindelabschnitts, d.h. der ersten gegenüber der zweiten Achse wird auch bei einer Drehung der Spindel von der Kupplung nicht behindert, die Streben werden lediglich etwas elastisch verformt. Diese radialen Ausgleichsbewegungen sind aber vergleichsweise klein, typischerweise im Bereich weniger hundertstel Millimeter (etwa 10 bis 100  $\mu\text{m}$ ). Bei einer Strebenlänge von z.B. 10 cm sind die auf das Lager wirkenden Rückstellkräfte daher vernachlässigbar. Bei einer Kippbewegung werden die Streben leicht tordiert und auch entlang ihrer Längsachse gekrümmt. Die dadurch erzeugte Rückstellkraft ist jedoch wegen der bei Werkzeugspindeln nur geringen Verkipfung von typischerweise nur wenigen hundertstel Grad der ersten Achse zur zweiten Achse sehr klein und beeinträchtigt den Rundlauf eines an Lünetten geführten Werkstücks nicht messbar. Die Kupplung bietet den Vorteil einer hohen Drehsteifigkeit bei gleichzeitigem Ausgleich eines Radialversatzes sowie einer Taumelbewegung der ersten und der zweiten Achsen zueinander zu günstigen Kosten und mit einem sehr geringen Raumbedarf. Letzteres gilt insbesondere, wenn die Streben aus einem bandartigen elastischen Material sind, z.B. aus Federstahlstreifen. Solche bandartigen Streben können beispielsweise in einer Querebene rund um den Zwischenblock angeordnet sein, d.h. die Längsachsen der Streben liegen in der Ebene. Die Querebene wird vorzugsweise orthogonal von der Längsachse des Zwischenblocks durchsetzt. Die Längsachse des Zwischenblocks fällt vorzugsweise mit der ersten und/oder der zweiten Achse zusammen.

Vorzugsweise hat der Spindelkopf eine durchgehende Ausnehmung, in deren einen Seite eine Spannzange sitzt. Die Spannzange kann mit einem in der Ausnehmung verschiebbaren und gegen den Spindelkopf vorgespannten Zugelement, beispielsweise einer Stange verbunden sein. Dadurch kann die Spannzange durch Verschieben der Stange geöffnet und/ geschlossen werden. Vorzugsweise ist die Stange in einer Richtung vorgespannt, z.B. auf Zug. Zum Öffnen der Spannzange genügt es dann mit einem z.B. im hinteren Spindelabschnitt oder einem



nachgeordneten Spindelabschnitt angeordneten Kolben die Stange gegen die Vorspannung in Richtung des Spannfutters zu verschieben.

Die Werkzeugmaschine hat die oben beschriebene Spindel mit einer Spannvorrichtung zum möglichst präzisen Einspannen des Werkstücks, beispielsweise einer Spannzange für das Werkstück. In diesem Sinne wird der Begriff Spannzange  
5 als Synonym für ein beliebiges Spannmittel verwendet. Der hintere Spindelabschnitt ist in wenigstens einem Lagerbock gelagert. Zudem hat die Werkzeugmaschine vorzugsweise zumindest eine, vorzugsweise zwei Lünetten, von denen wenigstens eine als Führungsprisma ausgeführt ist. Solche Führungsprismen sind  
10 prismatische Blöcke mit einer meist V-förmigen Nut an die ein Werkstück angelegt werden kann. Ein Spannfinger kann das Werkstück gegen das Führungsprisma belasten. Zudem hat die Werkzeugmaschine wie üblich einen Schleif- und/oder Fräskopf, eine Maschinensteuerung, meist auch eine Kabine und/oder einen Be- und Entladevorrichtung.

## 15 **Beschreibung der Zeichnungen**

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben.

Figur 1 zeigt eine isometrische Ansicht einer Spindel

20 Figur 2 zeigt erste Seitenansicht einer Spindel,

Figur 3 zweite eine zweite Seitenansicht der Spindel

Figur 4 zeigt eine Aufsicht auf die Spindel.

Figur 5 zeigt eine Seitenansicht der Spindel mit montierter Abdeckung.

Figur 6 zeigt einen Längsschnitt der Spindel entlang der Ebene A-A aus Fig. 5.

Figur 7 zeigt einen Längsschnitt der Spindel entlang der Ebene B-B aus Fig. 6.

Figur 8 zeigt eine Spindel in einer teilmontierten Werkzeugschleifmaschine.

Die Spindel 1 in Figur 1 hat einen Spindelkopf 10 mit einer Spannzangenaufnahme 41 in der eine Spannzange 42 sitzt. Der Spindelkopf 1 hat einen Lagerblock 11  
5 dessen hinterer Teil von einer Abdeckung 50 geschützt werden kann (Abdeckung s. Fig. 6 und Fig. 7). In der dargestellten Ausführungsform ist die Spannzangenaufnahme 42 ein mit dem Lagerblock 11 verbundenes Bauteil; alternativ kann der Lagerblock 11 auch eine als Spannzangenaufnahme ausgebildete Ausnehmung aufweisen.

10 Nach hinten, also auf der der Spannzange 42 abgewandten Seite hat die Spindel 1 eine Antriebswelle 20, die auch als hinterer Spindelabschnitt 20 bezeichnet wird. An die Antriebswelle 20 schließt sich eine Luftzuführungs- und Betätigungseinheit 60 an. Über die Antriebswelle 20 kann die Spindel 1 mit einer Werkzeugmaschine verbunden werden, d.h. die Antriebswelle kann mit einem  
15 Antrieb verbunden und von einem Lagerbock der Werkzeugmaschine aufgenommen werden. Der Lagerbock erlaubt dabei wie üblich nur eine Rotation der Antriebswelle um ihre Längsachse, d.h. um die zweite Achse.

Wie am besten Anhand von Fig. 6 und 7 ersichtlich, hat die Spindel 1 ein Lager, das einen Radialversatz von Antriebswelle 20 und Spindelkopf 10 ebenso erlaubt  
20 wie eine Verkipfung von Antriebswelle 20 und Spindelkopf 10 zueinander. Das Lager besteht aus zwei Teillagern, die ein vorderes Teillager und ein hinteres Teillager bilden. Das hintere Teillager hat zwei einander gegenüberliegende und gegeneinander verschiebbare Lagerflächen 24, 34. Dazu kann die Antriebswelle 20 eine plane kreisringförmige hintere Lagerfläche 24 aufweisen, die vorzugs-  
25 weise orthogonal von der Längsachse der Antriebswelle 20, d.h. des hinteren Spindelabschnitts 20 geschnitten wird. In diesem Sinne ist oder hat der hintere Spindelabschnitt 20 einen Lagerblock. Der ersten Lagerfläche 24 des hinteren

Lagers gegenüber liegt eine dazu komplementäre zweite Lagerfläche 34 eines Zwischenblocks 30 gegenüber. Zwischen den beiden Lagerflächen 24, 34 ist vorzugsweise ein dünner Luftspalt, der beispielsweise über einen Luftkanal 46 mit Druckluft gespeist werden kann. Auch alternative Fluide können als Schmiermittel verwendet werden. Der hintere Spindelabschnitt 20 und der Zwischenblock 30 bilden daher ein Linearlager mit zwei Freiheitsgraden; in anderen Worten der Zwischenblock ist radial verschiebbar zum hinteren Spindelabschnitt 20. Das Zwischenstück 30 wäre ohne die weiter unten beschriebene Kupplung auch gegenüber der Antriebswelle 20 drehbar, daher hat das hintere Teillager streng  
5  
10 genommen drei Freiheitsgrade.

Das vordere Teillager wird ebenfalls von ersten und zweiten Lagerflächen 33, 13 gebildet, die vorzugsweise zueinander komplementäre Kugelflächensegmente sind. Dazu kann auf der der kreisringförmigen Lagerfläche 34 entgegengesetzten Seite des Zwischenblocks 30 eine erste kugelflächensegmentförmige Lagerfläche 33 sein. Dieser Lagerfläche 33 liegt eine Lagerfläche 13 des Spindelkopfs 10 gegenüber. Wieder kann der Spalt zwischen den Lagerflächen 33, 13 mit Druckluft oder einem anderen Fluid gespeist werden. Das vordere Teillager erlaubt folglich eine Verkipfung des Spindelkopfs 10 relativ zum dem hinteren Spindelabschnitt 20 um den gemeinsamen Mittelpunkt der Kugelflächensegmente (2  
15  
20 Freiheitsgrade). Der Spindelkopf 10 wäre ohne die weiter unten beschriebene Kupplung auch gegenüber dem Zwischenstück 30 drehbar, daher hat auch das vordere Teillager strenggenommen drei Freiheitsgrade. Im gezeigten Beispiel ist der Mittelpunkt der Kugelflächensegmente im Bereich des nicht dargestellten Werkstücks. Das hat den Vorteil, dass der Radialversatz beim Taumelausgleich  
25 sehr gering bleibt und dass der Schwerpunkt des Spindelkopfs unterhalb des Drehpunkts bei einer Verkipfung liegt, der Spindelkopf kippt deshalb nicht um sondern ist bei stehend montierter Spindel selbstzentrierend zur Vertikalen.

Das erste Teillager und auch das zweite Teillager, sind durch Permanentmagnete gegeneinander vorgespannt. Diese liegen jedoch außerhalb der beiden um 90° zueinander versetzten Schnittebenen und sind daher nicht sichtbar. Die Magnete sind ringförmig um die Längsachsen der entsprechenden Bauteile in Ausnehmungen der Lagerblöcke angeordnet.

Anders als dargestellt könnte auch das vordere Teillager ein Linearlager sein und das hintere Teillager ein Kugelgelenk. Wichtig ist für die Erfindung nur, dass das Teillager zusammen vorzugsweise sowohl eine Verkippung mit zwei Freiheitsgraden als auch einen Radialversatz (mit ebenfalls 2 Freiheitsgraden) der Längsachsen des Spindelkopfs 10 und des hinteren Spindelabschnitts 20 erlauben, sowie möglichst drehsteif sind, wozu eine Kupplung vorgesehen sein kann.

Um das Lager drehsteif zu machen wird es im gezeigten Beispiel von einer Drehkupplung überbrückt. Deren Elemente sind am besten auf den Fig. 1 bis Fig. 4 dargestellt: Der hintere Spindelabschnitt 20 ist über zwei zueinander parallele erste Streben 51 mit einem Kupplungselement 53 verbunden (Fig. 1 bis Fig. 4 und Fig. 5 mit Fig. 6). Das Kupplungselement ist aus zwei Ringhälften zusammengesetzt und umgibt den Zwischenblock 30 ringartig, liegt jedoch zumindest in seiner Ruhelage nicht an dem Zwischenblock an. Das Kupplungselement wird über erste Streben 51 und zweite Streben 52 in seiner Position gehalten.

Zur Befestigung der ersten Streben 51 hat der hintere Spindelabschnitt 20 an zwei einander mit Bezug auf die Längsachse der Antriebswelle diametral gegenüberliegenden Seiten Befestigungselemente 55, z.B. die gezeigten Winkelstücke 55 an denen je ein Ende einer ersten Strebe 51 befestigt ist. Das andere Ende der ersten Streben 52 ist kraftschlüssig mit dem Kupplungselement 53 verbunden. Wie dargestellt verlaufen die Längsachsen der ersten Streben 51 vorzugsweise zumindest in etwa parallel ( $\pm 15^\circ$ , besonders bevorzugt  $\pm 5^\circ$ , weiter bevorzugt  $\pm 1^\circ$ ) zueinander in einer die Längsachse des Zwischenstücks orthogonal

schneidenden Ebene. Vorzugsweise in der gleichen Ebene können zwei weitere (zweite) Streben 52 angeordnet sein. Die weiteren Streben 52 sind in gleicher Weise an zwei diametral gegenüberliegenden Seiten mit dem Kupplungselement 53 verbunden, jedoch gegenüber den ersten Streben 51 um 90° versetzt.

5 Das andere Ende der zweiten Streben 52 ist über zweite Befestigungselemente 56 (z.B. Winkelstücke 56) mit dem Spindelkopf 10 kraftschlüssig verbunden. Die Streben 51, 52 bilden folglich zusammen mit dem Kupplungselement 53 eine Drehkupplung (vgl. Fig. 5). Ein Radialversatz des Spindelkopfs 10 zum hinteren Spindelabschnitt 20 wird nur durch geringe Rückstellkräfte der Streben 51, 52

10 beeinflusst. Gleiches gilt bei einer Taumelbewegung des Spindelkopfs 10 zum hinteren Spindelabschnitt 20.

Wie in Fig. 6 und Fig. 7 gut zu erkennen ist, hat die Spindel eine Zentriervorrichtung mit der der Spindelkopf 10 z.B. beim Einsetzen und/oder Entnehmen eines Werkstücks in die bzw. aus der Spannzange 42 mit dem hinteren Spindelabschnitt 20 zentriert werden kann, d.h. das Lager wird gesperrt. Dazu hat der hintere Spindelabschnitt 20 wenigstens eine erste ring- oder ringsegmentförmige Zentrierfläche 44, die sich im gezeigten Beispiel konisch in Richtung des Spindelkopfes 10 verjüngt. An der ersten Zentrierfläche 44 liegt als Zentrierschieber 43 ein ringförmiger oder alternativ ringsegmentförmiger Kolben mit einem sich in

15 Richtung des Spindelkopfes 10 verjüngenden Mantelflächenabschnitt 45 an. Der Zentrierschieber 43 ist axial auf einer vorzugsweise zylindrischen Anlagefläche 141 eines axialen Zapfens 14 des Spindelkopfes 10 verschiebbar, welche die zweite Zentrierfläche bildet. Mittels elastischen Elementen 47 (nur in Fig. 7 sichtbar) ist der Zentrierschieber 43 in Richtung des Spindelkopfes 10 vorgespannt, so

20 dass der Zentrierschieber 43 mit seinem Mantelflächenabschnitt 45 gegen die erste Zentrierfläche verspannt wird wodurch der Spindelkopf 10 relativ zum hinteren Spindelabschnitt zentriert wird. Um die Zentrierung zu lösen und dadurch das Lager freizugeben, kann der Kolben spindelkopfseitig mit einem Fluid, z.B. Druckluft beaufschlagt werden, um ihn dadurch gegen die elastischen Elemente

zu verschieben, so dass der Mantelflächenabschnitt nicht mehr an der ersten Zentrierfläche anliegt.

An ihrem hinteren Ende ist die Spannzange mit einem Zugelement 48, hier einer Stange verbunden (vgl. Fig. 6 und Fig. 7). Die Stange 48 sitzt in einer durchgehenden Ausnehmung 16 des Spindelkopfs 10 und ist auf Zug durch ein sich an dem Spindelkopf 10 abstützendes Spannelement 49 (dargestellt ist ein Tellerfederpakt) in Richtung des hinteren Spindelabschnitts 10 vorgespannt. Dazu sitzt auf der Stange ein Spannring 59 an dem ein Spannelement 49 angreift. Das Spannelement ist in einer Kammer 40 des Spindelkopfes 10. Zum Öffnen der Spannzange 42 wird die Stange 48 in Richtung der Spannzange axial verschoben.

Die Stange 48 hat eine axiale Ausnehmung 46, die als Luftkanal 46 zum Zuführen von Druckluft (oder einem anderen Fluid) für das Lager und gleichzeitig zum Öffnen der Zentriervorrichtung dient. Dazu ist der Luftkanal 46 über entsprechende Bohrungen 461, bzw. Einstiche 462 mit den Spalten zwischen den Lagerflächen 13, 33 und 24, 34 ebenso verbunden wie mit dem angedichteten Ringspalt 431 in dem der Zentrierschieber sitzt. Wird der Luftkanal 46 mit Druckluft beaufschlagt, wird folglich zunächst der Zentrierschieber verschoben und das Lager freigegeben. Sobald der Druck groß genug ist, dass die magnetische Vorspannung kompensiert wird, ist das Lager frei beweglich.

Zum Öffnen der Spannzange 42 sitzt in der axialen Verlängerung des hinteren Spindelabschnitts 20 eine Kolbenstange 61 der Luftzuführungs- und Betätigungseinheit 60, die mit (wenigstens einem) Kolben 62 verbunden ist. Der Kolben 62 sitzt in einer als Zylinder für den Kolben 62 dienenden Ausnehmung 63 des Gehäuses 64 der Luftzuführungs- und Betätigungseinheit 60 und ist gegen die Kraft eines Rückstellelementes 65 mit Druck beaufschlagbar, wodurch der Kolben 62 und damit auch die Kolbenstange 61 in Richtung der Spannzange verschoben wird und damit das Zugelement, d.h. die Stange 48 entlastet. Auch die Kolben-

stange 61 und die Kolben 62 haben einen axialen Kanal 66 der mit dem Luftkanal 46 kommunizierend verbunden ist. Zur Verbindung des axialen Kanals 66 und des Luftkanals 46 hat die Stange 48 an ihrem distalen Ende einen radialen Vorsprung, der eine komplementäre Ausnehmung der Kolbenstange eingeführt und  
5 dann durch eine Drehung um  $90^\circ$  in der Ausnehmung verriegelt werden kann.

In Figur 8 ist die Spindel zusammen mit einigen Elementen einer Werkzeugschleifmaschine abgebildet. Der Spindelbock, die optionale Kabine, der Schleifkopf nebst Antrieb und Verfahreinheit sind der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Vorzugsweise ist die Spindel wie dargestellt stehend angeordnet, d.h.  
10 ihre Längsachse entspricht zumindest näherungsweise ( $\pm 15^\circ$ ) der Vertikalen. An einer Abstützeinheit 80, die mit dem nur ansatzweise dargestellten Maschinengestell kraftschlüssig verbunden ist, sind ein Prisma 70 mit einem Spannfinger 71 sowie ein Lünette 75 angeordnet. Das Führungsprisma 70 hat eine Nut 711 in der ein Werkstück mit dem Spannfinger festlegbar ist. Die Position und Lage des Führungsprismas 70 relativ zur Abstützeinheit 80 und damit auch zur Spindel kann  
15 mittels einer Einstelleinheit 73 variiert werden, bis eine Sollposition erreicht ist. In der Sollposition kann die des Führungsprismas 70 samt Spannfinger 71 festgelegt werden. In gleicher Weise ist auch die Lünette 75 über eine weitere Einstelleinheit 76 in Position und Lage in eine Sollposition bringbar und kann dort festgelegt werden.  
20

Zum Schleifen eines Werkstücks, wird zunächst ein Werkstück oder vorzugsweise ein Kalibrierdorn in die Spannzange eingesetzt. Dabei ist das Lager zwischen dem Spindelkopf 10 und dem hinteren Spindelabschnitt vorzugsweise mittels der Zentriervorrichtung gesperrt. Nun können das Führungsprisma und die Lünette  
25 an den Kalibrierdorn bzw. das Werkstück angelegt werden und in der entsprechenden Position fixiert werden. Vor dem Fixieren der Position und Lage des Führungsprismas 70 wird vorzugsweise der Spannfinger 71 in Richtung des Führungsprismas 70 belastet wodurch letzteres sauber an das Werkstück angelegt

wird. Anders formuliert liegt das Werkstück nun in den entsprechenden Nuten 711, 751, des Führungsprismas bzw. der Lünette an. Nun kann sofern nötig der Kalibrierdorn gegen ein Werkstück ausgetauscht werden. Anschließend wird die Zentriervorrichtung geöffnet, d.h. das Lager wird freigegeben und die Bearbeitung des Werkstücks kann beginnen. Die Bearbeitungskräfte, sofern sie in radialer Richtung auf das Werkstück wirken, werden ausschließlich von dem Führungsprisma 70 bzw. der Lünette 75 abgefangen. Auch bei einer Drehung des Werkstücks in den V-Nuten 711, 751 wird (zumindest in radialer Richtung) die Lage des Werkstücks nur durch das Führungsprisma 70 und die Lünette 75 bestimmt. Auch bei einer Drehung des Werkstücks werden aufgrund des Lagers zwischen Spindelkopf 10 und dem hinteren Spindelabschnitt 20 keine radialen Kräfte auf das Werkstück vom hinteren Spindelabschnitt auf das Werkstück übertragen, wodurch die Genauigkeit der Positionierung des Werkstücks bei der Bearbeitung verbessert wird.



**Bezugszeichenliste**

10	Spindelkopf (kurz: „Kopf“)
11	Lagerblock des Spindelkopfes (kurz: „Kopfblock“)
13	Lagerfläche
14	axialer Zapfen
141	Anlagefläche für Zentrierring / Zentrierfläche
16	durchgehende Ausnehmung
20	hinterer Spindelabschnitt / Antriebswelle
24	Lagerfläche
30	Zwischenstück / Zwischenblock
33	Lagerfläche
34	Lagerfläche
40	Kammer für Spannelement
41	Spannzangenaufnahme, allgemeiner: Spannmittelaufnahme
42	Spannzange, allgemeiner: Spannmittel
43	Zentrierschieber/ sich verjüngender Schieber
431	Ringspalt
44	konischer Mantelflächenabschnitt
45	konische Anlagefläche für Zentrierschieber
46	Luftkanal
461	Bohrung
462	Einstich
47	elastische Elemente
48	Zugelement, hier Stange

- 49 Spannelement, z.B. Tellerfeder
  
- 50 Abdeckung
- 51 erste Streben (von Antriebswelle 20 zum Zwischenblock 30)
- 52 zweite Streben (von Zwischenblock 30 zum Spindelkopf 10)
- 53 Kupplungselement
- 55 erste Befestigungselemente für Streben 51 (z.B. Winkelstücke)
- 56 zweite Befestigungselemente für Streben 52 (z.B. Winkelstücke)
  
- 60 Luftzuführungs- und Betätigungseinheit
- 61 Kolbenstange
- 62 Kolben
- 63 Ausnehmung / Zylinder
- 64 Gehäuse
- 66 Kanal
- 70 Prisma / Führungsprisma / Stützprisma
- 71 Spannfinger
- 75 Lünette
- 73 Einstelleinheit für Stützprisma
- 76 Einstelleinheit für Lünette
- 80 Abstützeinheit

## Patentansprüche

1. Spindel (1) für eine Werkzeugschleifmaschine mit zumindest:
  - einem Spindelkopf (10), der eine ersten Längsachse hat und zur Aufnahme eines Spannmittels (42) ausgebildet ist und
  - einem hinteren Spindelabschnitt (20), der eine zweite Längsachse hat und der zur Aufnahme in einem Lagerbock sowie als Antriebswelle (20) für den Spindelkopf (10) ausgebildet ist,

### **gekennzeichnet durch**

wenigstens ein Lager, das zwischen dem Spindelkopf (10) und dem hinteren Spindelabschnitt (20) angeordnet ist, um diese zu verbinden, wobei das Lager eine Verkipfung und/oder eine radiale Verschiebung der ersten Längsachse relativ zur zweiten Längsachse erlaubt und Druck und/oder Zugkräfte in Längsrichtung von dem Spindelkopf (10) auf die Antriebswelle (20) überträgt und dass von wenigstens einer Kupplung (51, 52) zur Übertragung von Drehmomenten zwischen dem hinteren Spindelabschnitt (20) und dem Spindelkopf (10) überbrückt wird.

2. Spindel (1) nach Anspruch 1

### **dadurch gekennzeichnet, dass**

der Spindelkopf (10) und der hintere Spindelabschnitt (20) einander jeweils gegenüberliegende Zentrierflächen (45, 141) haben, zwischen denen ein sich verjüngender Zentrierschieber (43) zwischen wenigstens einer ersten Position und einer zweiten Position verstellbar ist, wobei in einer ersten Position das Lager sperrend überbrückt wird, wodurch der Spindelkopf (10) und die der hintere Spindelabschnitt zueinander zentriert werden.

3. Spindel (1) nach Anspruch 1 oder 2  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Lager ein erstes und/oder ein zweites Teillager aufweist, wobei das erste Teillager zwei komplementäre erste Lagerblöcke mit kugelflächensegmentförmige Lagerflächen (13, 33) hat und das zweite Teillager zwei komplementäre zweite Lagerblöcke mit planen Lagerflächen (24, 34) hat, deren Flächennormalen zur ersten oder zweiten Achse parallel sind.
4. Spindel (1) nach Anspruch 1 oder 2  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Lager ein erstes und/oder ein zweites Teillager aufweist wobei das erste Teillager zwei zueinander komplementäre erste Lagerblöcke mit ersten zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen (13, 33) aufweist und das zweite Teillager zwei zueinander komplementäre zweite Lagerblöcke mit zweiten zylindermantelflächensegmentförmigen Lagerflächen (24, 34) aufweist.
5. Spindel (1) nach Anspruch 3 oder 4  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Lager ein ringförmiges oder wenigstens ein ringsegmentförmiges Zwischenstück (30) mit wenigstens einer kugelflächensegmentförmigen oder zylindermantelflächensegmentförmigen ersten Lagerfläche (33) und auf seiner der ersten Lagerfläche (33) abgewandten Seite wenigstens eine plane oder eine zylindermantelflächensegmentförmige zweite Lagerfläche (34) aufweist.
6. Spindel (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 5  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
wenigstens eines der Teillager ein hydrostatisches Lager mit einem Fluidspalt zwischen wenigstens zwei der Lagerflächen (13, 24, 33, 34) ist.

7. Spindel nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Lagerblöcke wenigstens eines der Teillager magnetisch gegeneinander vorgespannt sind.
8. Spindel nach Anspruch 7  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
zur magnetischen Vorspannung in wenigstem einem ersten von zwei komplementären Lagerblöcken wenigstens ein Permanentmagnet angeordnet ist, dessen magnetischer Fluss von einem Nordpol des Permanentmagneten den Luftspalt zwischen den Lagerflächen wenigstens einmal überbrückend zu einem magnetischen Südpol geführt wird.
9. Spindel (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Spindelkopf (10) eine durchgehende Ausnehmung (16) hat, in deren einen Seite wenigstens ein Spannmittel sitzt, die mit einem in der Ausnehmung angeordneten und gegen den Spindelkopf (10) vorgespannten Zügelement (28) verbunden ist.
10. Spindel (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Kupplung beidseits der ersten und/oder zweiten Achse befestigte elastisch verformbare Streben (51, 52) hat, die den Spindelkopf (10) und Spindelabschnitt zumindest mittelbar drehfest miteinander verbinden.

Fig. 1

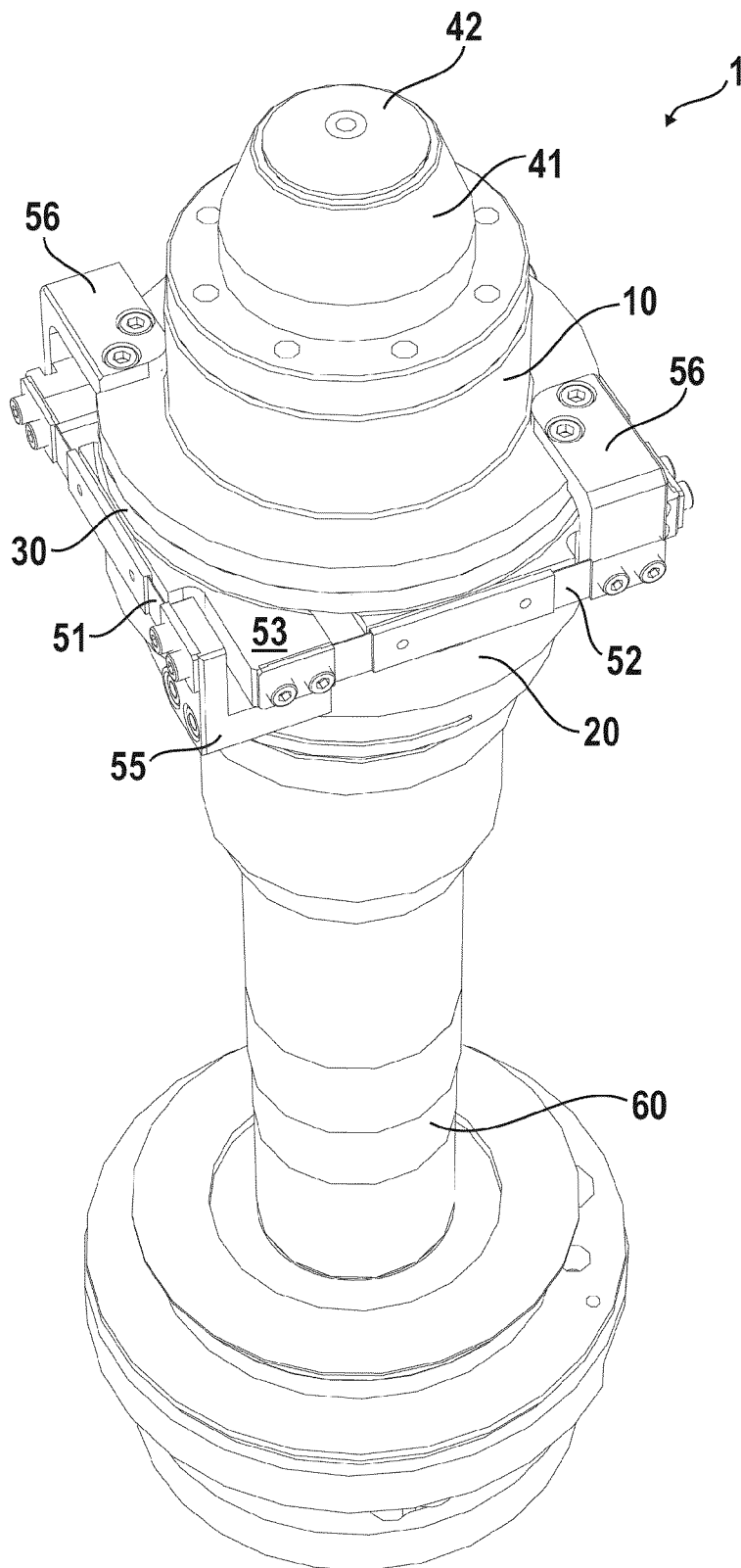


Fig. 2

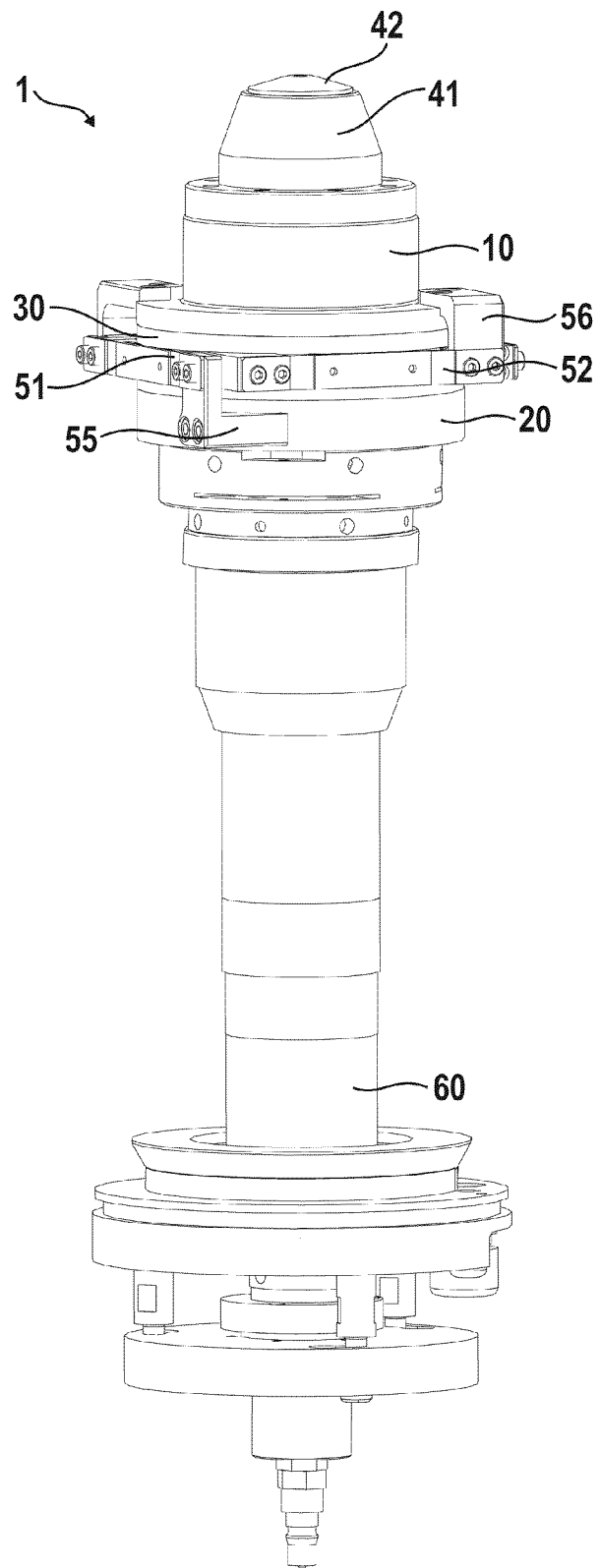


Fig. 3

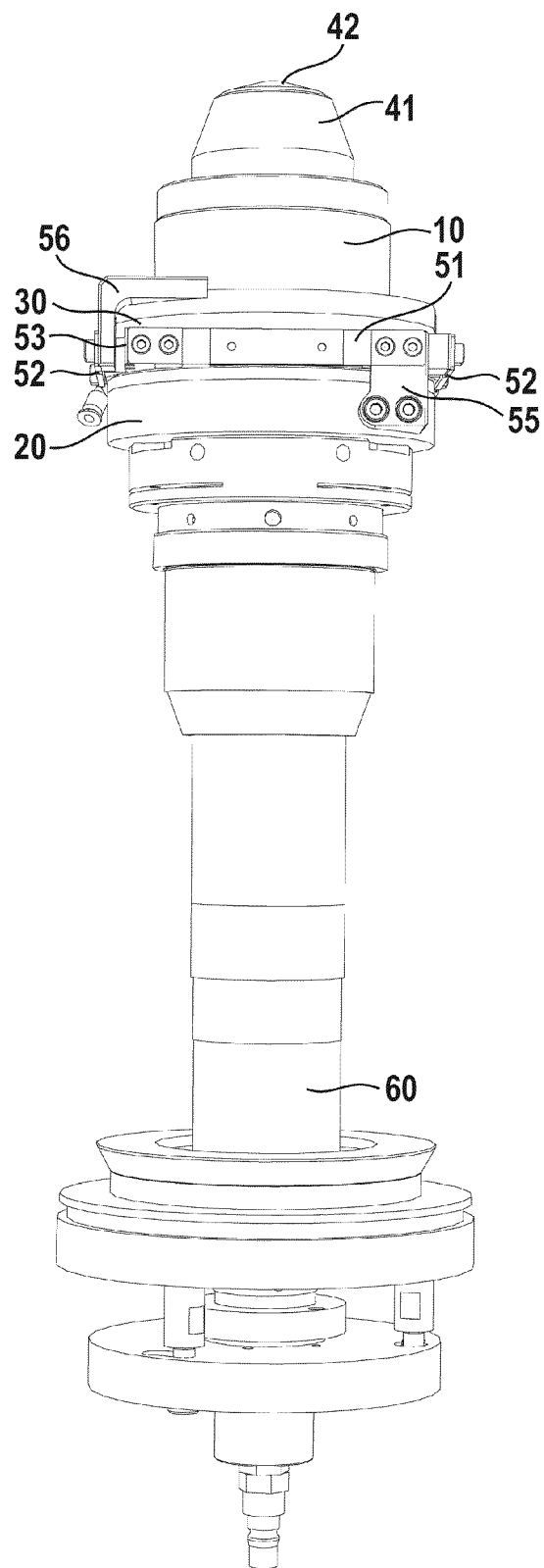




Fig. 4

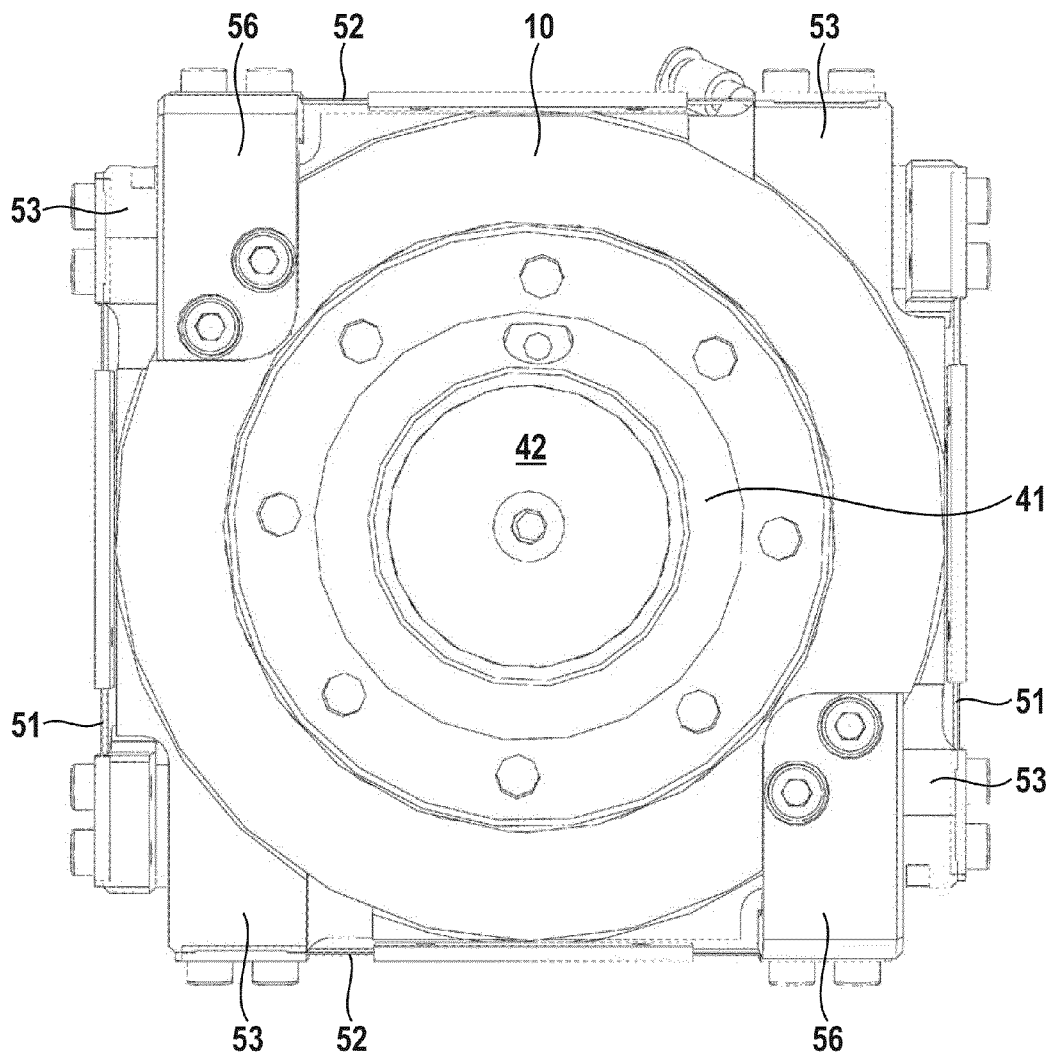


Fig. 5

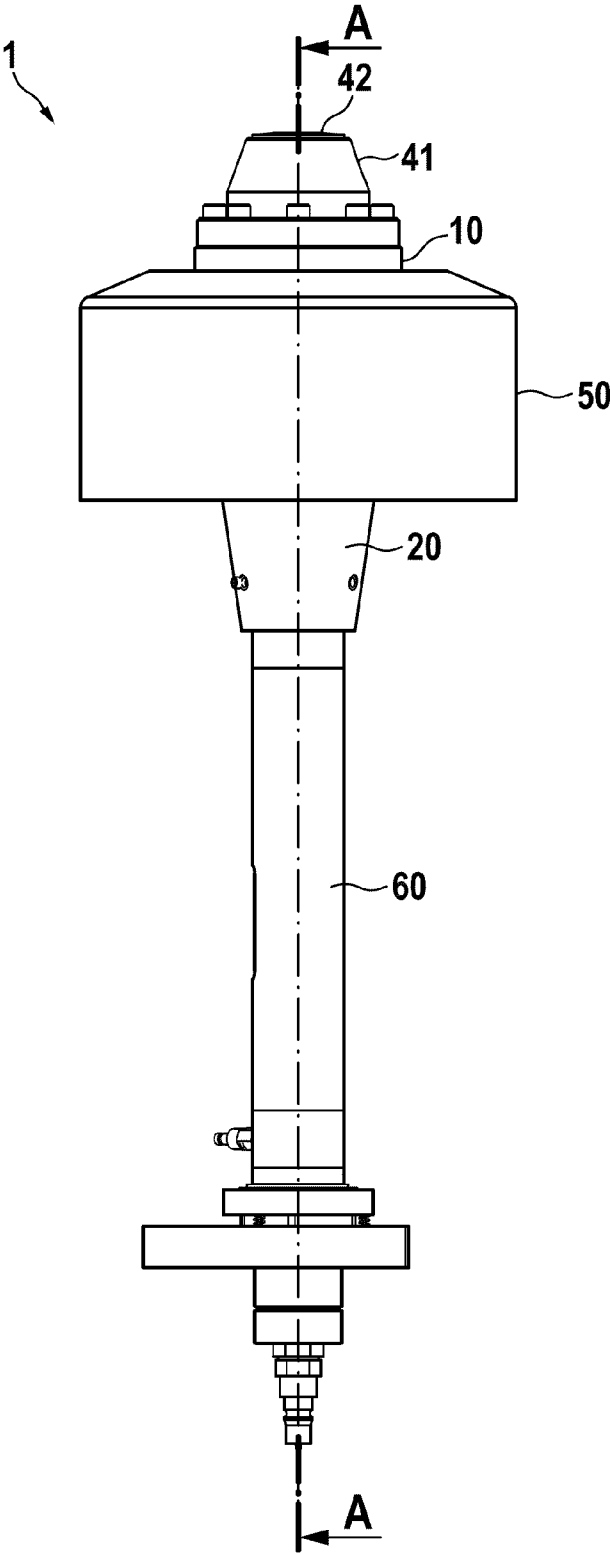


Fig. 6

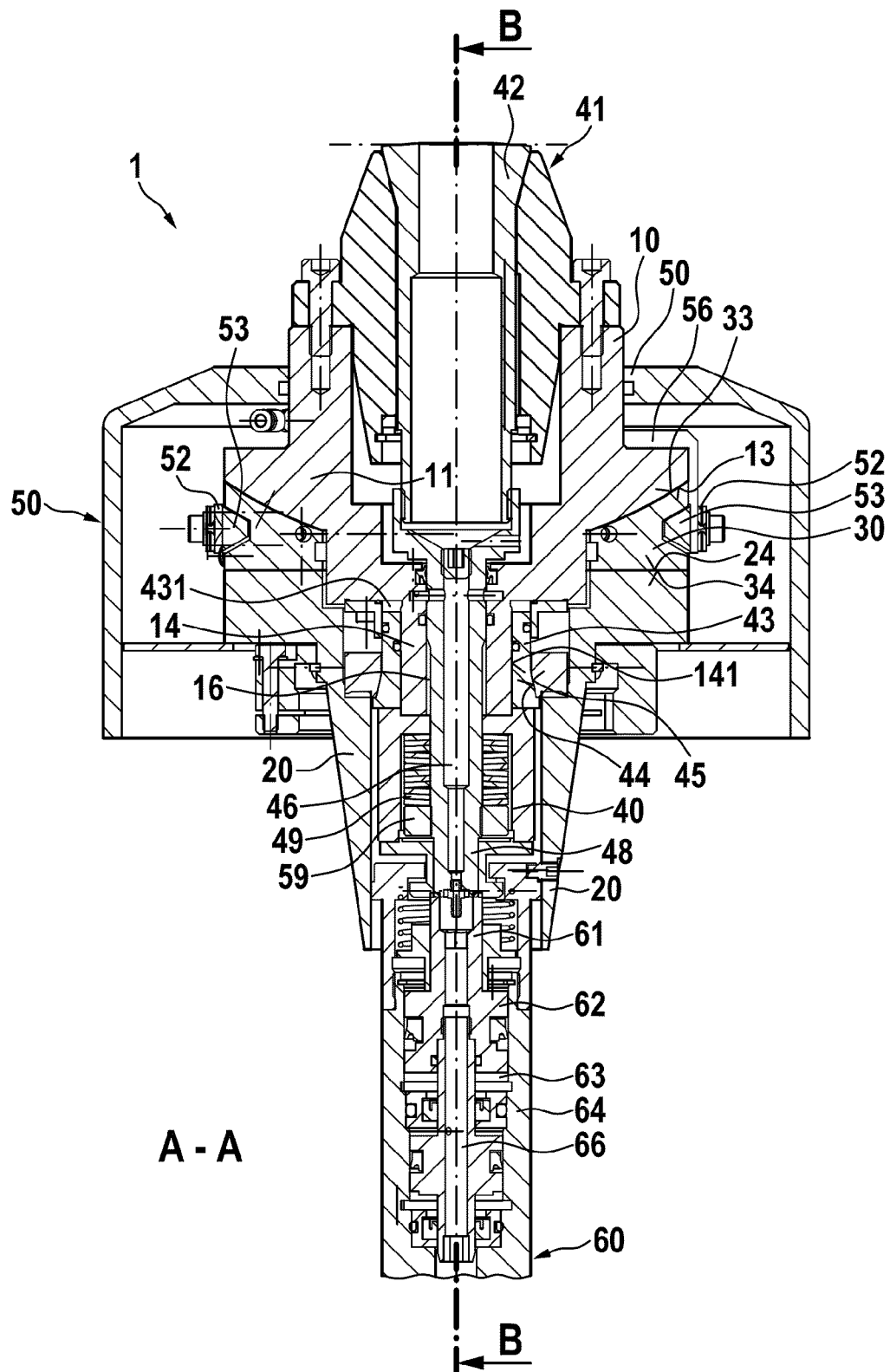


Fig. 7

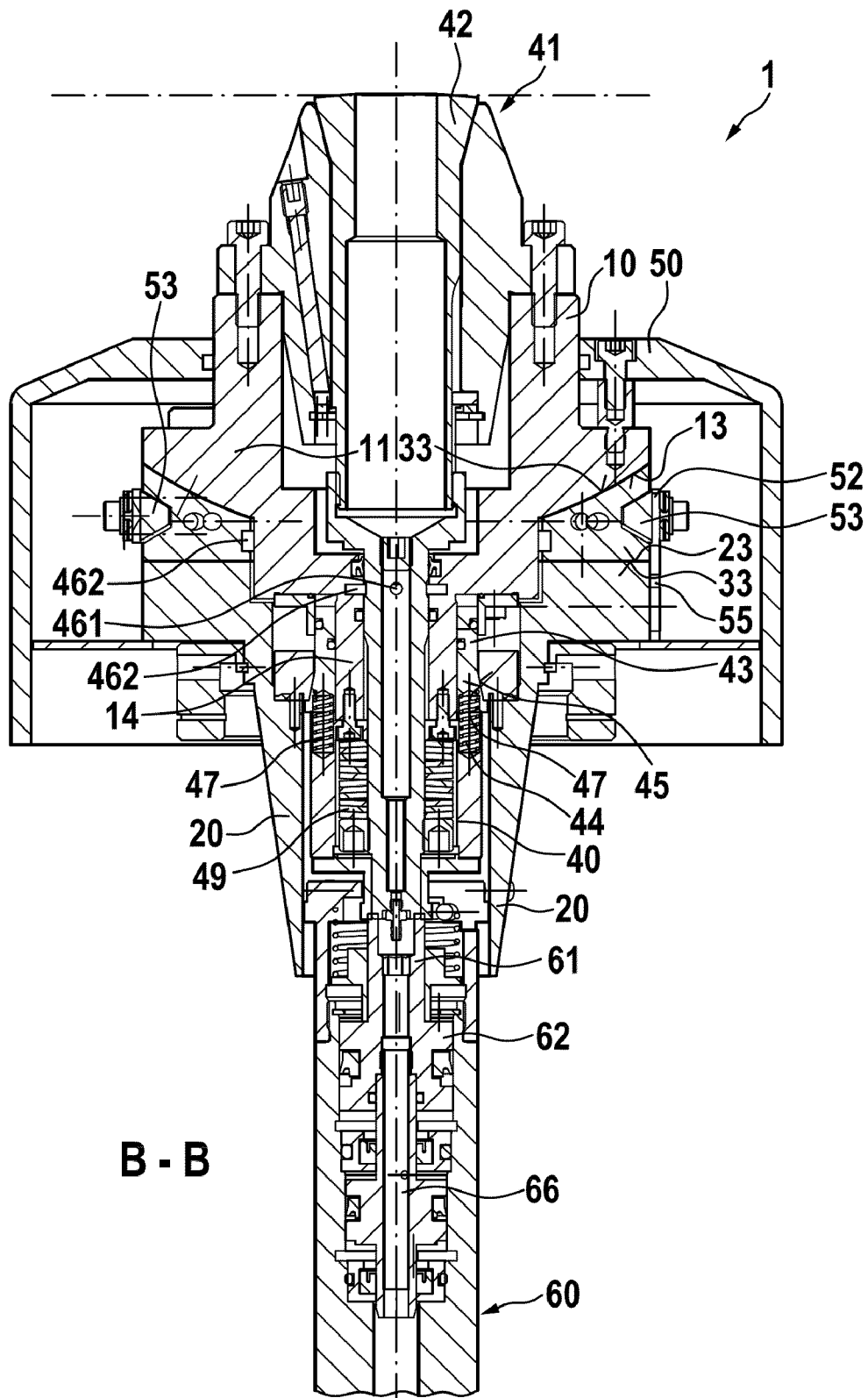
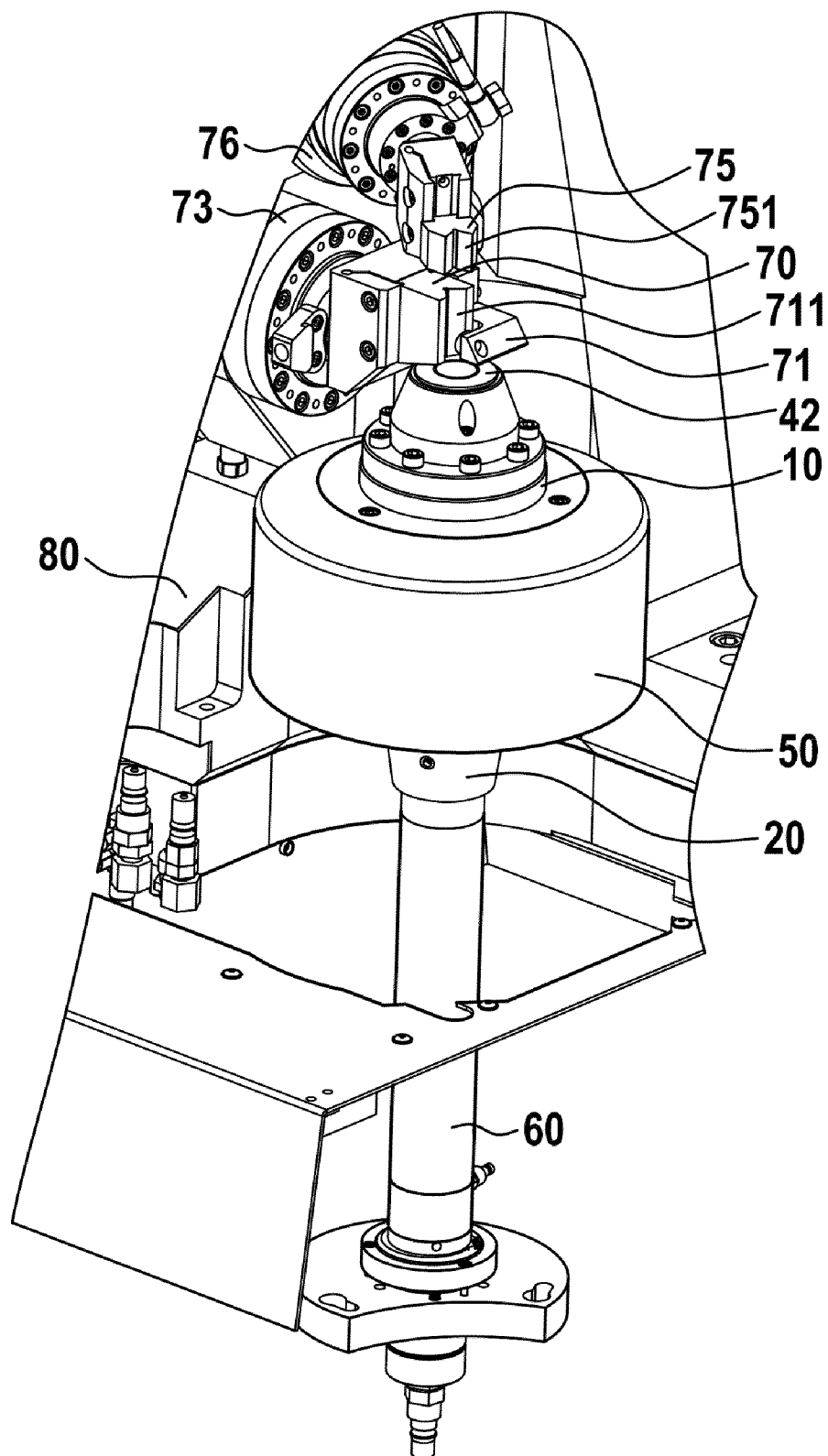


Fig. 8



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/072304

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. B23Q1/70 B23Q3/18 B24B41/04 B24B41/06 B24B3/00 ADD.		
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) B23Q B24B B23B		
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.
X	DE 89 15 435 U1 (J. E. REINECKER MASCHINENBAU GMBH & KO KG) 7 June 1990 (1990-06-07)	1,9
A	figures 1,2	2-8,10
X	US 6 375 542 B1 (KASHCHENEVSKY LEONID [US]) 23 April 2002 (2002-04-23)	1,4,6-10
A	figures 1-4B	2,3,5
X	WO 2004/052592 A1 (MARQUART INGEBORG [DE]; MARQUART UWE [DE]) 24 June 2004 (2004-06-24)	1
X	DE 101 18 664 A1 (STIEFELMAYER GMBH & CO KG C [DE]) 7 November 2002 (2002-11-07)	1,9
	figures 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  13 March 2015		Date of mailing of the international search report  20/03/2015
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Kornmeier, Martin

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/072304

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 33 22 007 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 20 December 1984 (1984-12-20) figure 1 -----	1,3,5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/072304

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 8915435	U1	07-06-1990	NONE
US 6375542	B1	23-04-2002	NONE
WO 2004052592	A1	24-06-2004	NONE
		AT 340674 T	15-10-2006
		DE 10259257 A1	24-06-2004
		EP 1575739 A1	21-09-2005
		JP 4546253 B2	15-09-2010
		JP 2006509641 A	23-03-2006
		US 2006249918 A1	09-11-2006
		WO 2004052592 A1	24-06-2004
DE 10118664	A1	07-11-2002	NONE
DE 3322007	A1	20-12-1984	NONE



<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. B23Q1/70 B23Q3/18 B24B41/04 B24B41/06 B24B3/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B23Q B24B B23B		
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		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 89 15 435 U1 (J. E. REINECKER MASCHINENBAU GMBH & KO KG) 7. Juni 1990 (1990-06-07)	1,9
A	Abbildungen 1,2	2-8,10
X	US 6 375 542 B1 (KASHCHENEVSKY LEONID [US]) 23. April 2002 (2002-04-23)	1,4,6-10
A	Abbildungen 1-4B	2,3,5
X	WO 2004/052592 A1 (MARQUART INGEBORG [DE]; MARQUART UWE [DE]) 24. Juni 2004 (2004-06-24)	1
X	DE 101 18 664 A1 (STIEFELMAYER GMBH & CO KG C [DE]) 7. November 2002 (2002-11-07)	1,9
	Abbildungen 1-4	
	-/-	
<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
13. März 2015		20/03/2015
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  Kornmeier, Martin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 33 22 007 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 20. Dezember 1984 (1984-12-20) Abbildung 1 -----	1,3,5

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/072304

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 8915435	U1	07-06-1990	KEINE
US 6375542	B1	23-04-2002	KEINE
WO 2004052592	A1	24-06-2004	AT 340674 T 15-10-2006
		DE 10259257 A1	24-06-2004
		EP 1575739 A1	21-09-2005
		JP 4546253 B2	15-09-2010
		JP 2006509641 A	23-03-2006
		US 2006249918 A1	09-11-2006
		WO 2004052592 A1	24-06-2004
DE 10118664	A1	07-11-2002	KEINE
DE 3322007	A1	20-12-1984	KEINE