

(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. Januar 2020 (30.01.2020)

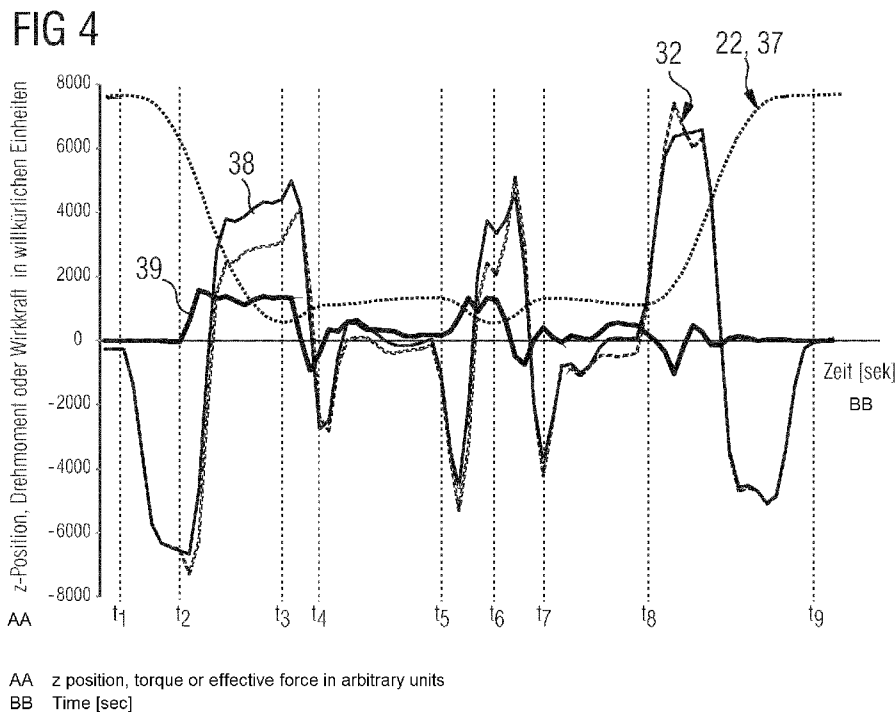


(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/021044 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
G05B 19/4065 (2006.01) B23Q 17/09 (2006.01)  
G05B 19/4062 (2006.01)
- (72) Erfinder; und  
(71) Anmelder: ZWARGER, Michael [DE/DE]; Flößergasse 22, 87629 Füssen (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/070124
- (74) Anwalt: HERRMANN, Franz; DENDORFER & HERRMANN, Patentanwälte Partnerschaft mbB, Neuhauser Str. 47, 80331 Munich (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
25. Juli 2019 (25.07.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2018 118 001.2  
25. Juli 2018 (25.07.2018) DE

(54) Title: METHOD FOR MONITORING A MACHINE TOOL, MONITORING APPARATUS, MACHINE TOOL AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINER WERKZEUGMASCHINE, ÜBERWACHUNGSVORRICHTUNG, WERKZEUGMASCHINE UND COMPUTERPROGRAMMPRODUKT



(57) Abstract: A method for monitoring a machine tool is described, in which the movement of a tool is numerically controlled with the aid of a control computer. The method comprises the following method steps: - a reference measurement curve (38) of a monitoring measurement variable, which is related to the movement of the tool, is recorded during a reference movement of the tool controlled by a reference desired value curve (37), - a machining measurement curve (32) of the monitoring measurement variable is recorded during a machining movement of the tool (3) controlled by a machining desired value curve (22), wherein a workpiece is machined by the tool with the machining movement, - the reference measurement curve (38) and the machining measurement curve (32) are temporally

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2020/021044 A1

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

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

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

related on the basis of the reference desired value curve (37) and the machining desired value curve (22), and - a differential curve (39) of the reference measurement curve (38) and the machining measurement curve (32) is formed and the differential curve (39) is monitored for the exceeding of predetermined limit values. The method can be carried out with the aid of an accordingly configured monitoring apparatus or a machine tool and can be implemented in the form of a computer program product.

**(57) Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Überwachung einer Werkzeugmaschine beschrieben, bei der die Bewegung eines Werkzeugs numerisch mit Hilfe eines Steuerungsrechners gesteuert wird. Das Verfahren umfasst die Verfahrensschritte: - eine Referenzmesskurve (38) einer Überwachungsmessgröße, die im Zusammenhang mit der Bewegung des Werkzeugs steht, wird während einer durch eine Referenzsollwertkurve (37) gesteuerten Referenzbewegung des Werkzeugs aufgenommen, - eine Bearbeitungsmesskurve (32) der Überwachungsmessgröße wird während einer von einer Bearbeitungssollwertkurve (22) gesteuerten Bearbeitungsbewegung des Werkzeugs (3) aufgenommen, wobei mit der Bearbeitungsbewegung ein Werkstück durch das Werkzeug bearbeitet wird, - die Referenzmesskurve (38) und die Bearbeitungsmesskurve (32) werden auf der Grundlage der Referenzsollwertkurve (37) und der Bearbeitungssollwertkurve (22) in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht und - eine Differenzkurve (39) von Referenzmesskurve (38) und Bearbeitungsmesskurve (32) wird gebildet und die Differenzkurve (39) wird auf das Überschreiten vorbestimmter Grenzwerte überwacht. Das Verfahren kann mit Hilfe einer entsprechend eingerichteten Überwachungsvorrichtung oder einer Werkzeugmaschine ausgeführt werden und als Computerprogrammprodukt implementiert sein.

## Beschreibung

Verfahren zur Überwachung einer Werkzeugmaschine, Überwachungs-  
vorrichtung, Werkzeugmaschine und Computerprogrammprodukt  
5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung einer  
Werkzeugmaschine, bei der die Bewegung eines Werkzeugs nume-  
risch mit Hilfe eines Steuerungsrechners gesteuert wird.

10

Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Überwach-  
ung einer Werkzeugmaschine, eine Werkzeugmaschine sowie ein  
Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens.

15

Aus der DE 10 2016 114 631 A1 ist ein Verfahren zur Herstel-  
lung von Gewinden in Bauteilen bekannt. Bei dem bekannten  
Verfahren wird ein der Ausbildung von Gewinden dienendes  
Werkzeug verwendet, das an seinem dem Bauteil zugewandten  
Ende einen Nuterzeugungsbereich aufweist, mit dessen Hilfe

20

beim Einbringen des Werkzeugs in ein Kernloch wenigstens eine  
helixförmige Nut in der Wand des Kernlochs ausgebildet wird.  
Hinter dem Nuterzeugungsbereich ist am Werkzeug eine Vielzahl  
von um die Werkzeugsachse gedrahten Gewindeerzeugungsberei-  
chen ausgebildet, die beim Ausbilden der Nut, also während

25

der Nuterzeugungsbewegung in die Nut eingeführt werden. Nach  
dem Einbringen des Werkzeugs in das Kernloch wird das Werk-  
zeug zur Nuterzeugungsbewegung gegensinnig gedreht und  
gleichzeitig langsam zurückbewegt. Während dieser Gewinde-  
schneidebewegung verlassen die Gewindeerzeugungsbereiche die

30

Nut und bilden in der Wand des Kernlochs neben der Nut ein  
Gewinde aus. Wenn die Gewindeerzeugungsbereiche die eine Nut  
oder die nächste Nut erreichen, kann die Gewindeschneidebewe-  
gung angehalten werden. In einer anschließenden Abscherbewe-  
gung wird mit dem Werkzeug die Nut erneut in das Kernloch

35

hinein abgefahren, um eventuell beim Schneiden des Gewindes  
entstandene und in die Nut hineinragende Späne abzuscheren.  
Anschließend wird das Werkzeug in einer Rücksetzbewegung

wieder zurückbewegt und das erzeugte Gewinde in einer Nachschneidebewegung nachgeschnitten. Die Nachschneidebewegung erfolgt dabei gegenläufig zur Gewindeschneidebewegung. Die Nachschneidebewegung erfolgt somit in die entgegengesetzte  
5 Drehrichtung bezüglich der Gewindeschneidebewegung bei einer gleichzeitigen langsamen Vorwärtsbewegung. Wenn die Gewindeschneidebereiche des Werkzeugs wieder die oder eine Nut erreichen, kann die Nachschneidebewegung beendet werden und das Werkzeug in einer Rückzugbewegung aus dem Kernloch zurückgezogen werden. Dabei werden die Nutschneidebereiche und  
10 die Gewindeschneidebereiche durch die Nut nach außen geführt.

Ein Vorteil des bekannten Verfahrens ist, dass beim Gewindeschneiden erheblich Zeit eingespart werden kann. Allerdings  
15 wurde noch kein Verfahren gefunden, mit dem sich die Werkzeugqualität und damit die Qualität der geschnittenen Gewinde zuverlässig überwachen lässt.

Ähnliche Probleme treten auch bei anderen numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, wie numerisch gesteuerten Fräs- und Bohr-, Dreh- und Schleifmaschinen auf.  
20

Insbesondere in der automatisierten Fertigung ist es aber wichtig, die Bearbeitungsvorgänge zuverlässig überwachen zu können.  
25

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, ein zuverlässiges Verfahren zur Überwachung einer Werkzeugmaschine zu schaffen, bei der die  
30 Bewegung eines Werkzeugs numerisch mit Hilfe eines Steuerungsrechners gesteuert wird. Der Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Überwachung einer Werkzeugmaschine, eine Werkzeugmaschine sowie ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens zu schaffen.

35 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren, eine Überwachungsvorrichtung, eine Werkzeugmaschine und ein Computerprogrammpro-

dukt mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. In davon abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben.

5 Bei dem Verfahren zur Überwachung einer Werkzeugmaschine wird eine Referenzmesskurve einer Überwachungsmessgröße, die im Zusammenhang mit der Bewegung des Werkzeugs steht, während einer durch eine Referenzsollwertkurve gesteuerten Referenzbewegung des Werkzeugs aufgenommen. Ferner wird eine Bearbeitungs-  
10 tungsmesskurve der Überwachungsmessgröße während einer Bearbeitungsbewegung des Werkzeugs aufgenommen, wobei mit der Bearbeitungsbewegung ein Werkstück durch das Werkzeug bearbeitet wird. Die Referenzmesskurve und die Bearbeitungsmesskurve werden auf der Grundlage der Referenzsollwertkurve und  
15 der Bearbeitungssollwertkurve in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht. Anschließend wird eine Differenzkurve von Referenzmesskurve und Bearbeitungsmesskurve gebildet und die Differenzkurve wird auf das Überschreiten vorbestimmter Grenzwerte überwacht. Da die Differenzkurve im Wesentlichen  
20 von den auf das Werkzeug wirkenden Kräften bestimmt ist, lässt sich anhand der Differenzkurve die Funktionsfähigkeit des Werkzeugs zuverlässig überwachen.

Bei einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Differenz-  
25 kurve in Funktionsabschnitte unterteilt, in denen unterschiedliche Funktionsbereiche des Werkzeugs zum Einsatz kommen, und für verschiedene Funktionsabschnitte werden unterschiedliche Grenzwerte festgelegt. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Funktionsbereiche des Werkzeugs  
30 zuverlässig überwachen.

Die Referenzmesskurve und die Bearbeitungsmesskurve können in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht werden, indem die zugeordnete Referenzsollwertkurve und die Bearbeitungssollwertkurve einer Anpassung unterzogen werden, bei der der  
35 relative zeitliche Abstand von Referenzsollwertkurve und Bearbeitungssollwertkurve als zu bestimmender freier Parame-

ter verwendet wird und eine die Abweichung zwischen Referenzsollwertkurve und Bearbeitungssollwertkurve beschreibende Fehlernorm minimiert wird. Da die Sollwertkurven in der Regel gleich ausgeführt werden, kann die zeitliche Relation zuverlässig anhand der Sollwertkurven bestimmt werden.

In der Regel wird als Fehlernorm die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen Referenzsollwertkurve und Bearbeitungssollwertkurve verwendet.

10

Um Zeitverzögerungen bei der Abarbeitung des Bearbeitungsprogramms aus den Sollwertkurven zu berücksichtigen, werden vor der Anpassung in der Referenzsollwertkurve und in der Bearbeitungssollwertkurve sich entsprechende Abschnitte der Referenzsollwertkurve und der Bearbeitungssollwertkurve bestimmt und wenigstens ein zwischen den Abschnitten liegender Übergangsabschnitt in der Referenzsollwertkurve sowie in der zugeordneten Referenzmesskurve und/oder wenigstens ein Übergangsabschnitt in der Bearbeitungssollwertkurve sowie in der zugeordneten Bearbeitungsmesskurve entfernt, so dass die unterschiedlichen Verzögerungen die Anpassung nicht beeinträchtigen.

15

20

Die Referenzbewegung kann außerhalb des Werkstücks ausgeführt werden. In diesem Fall wird die Differenzkurve nur durch die auf das Werkzeug wirkenden Kräfte bestimmt und die Funktionsfähigkeit des Werkzeugs lässt sich einfach und zuverlässig überwachen.

25

Daneben kann die Referenzbewegung auch mit einem neuen Werkzeug an einem Werkstück ausgeführt werden. In diesem Fall gibt die Differenzkurve die Änderungen der auf das Werkzeug wirkenden Kräfte an.

30

Die Referenzbewegung und damit die Aufnahme der Referenzsollwertkurve kann nach dem Ausführen einer Vielzahl von Bearbeitungsbewegungen wiederholt werden, so dass allmähliche Ände-

35

rungen der Werkzeugmaschine die Überwachung nicht beeinträchtigen und sichergestellt ist, dass die Differenzkurve ein Maß für die aktuellen, auf das Werkzeug wirkenden Kräfte ist.

- 5 Die Referenzbewegung und die Bearbeitungsbewegung können je nach Werkzeugmaschine eine Rotationsbewegung und/oder eine Translationsbewegung des Werkzeugs umfassen.

10 Dementsprechend kann die Überwachungsmessgröße ein Drehmoment oder eine Translationskraft sein.

Die Sollwerte der Bearbeitungssollwertkurve und der Referenzsollwertkurve können jeweils die Lage des Werkzeugs entlang einer vorgegebenen Bahn angeben, entlang der das Werkzeug  
15 während der Bearbeitungsbewegung und der Referenzbewegung bewegt wird. Denn die von dem Werkzeug ausgeführte Bewegung folgt einer genau festgelegten Bahn. Bei der Bewegung entlang der Bahn wird das Werkzeug auf eine bestimmte Art durch  
äußere Kräfte belastet. Die jeweilige Lage des Werkzeugs  
20 eignet sich daher besonders, um die Referenzmesskurve und die Bearbeitungsmesskurve in einen zeitlichen Zusammenhang zu bringen.

Von der Werkzeugmaschine kann insbesondere eine von einem  
25 Antriebsmotor erzeugte Drehbewegung in eine Translationsbewegung des Werkzeugs gewandelt werden und als Überwachungsgröße ein Drehmoment des Antriebsmotors verwendet werden. Die Differenzkurve kann dann zur Überwachung der in Translationsrichtung auf das Werkzeug wirkenden Kräfte verwendet werden.  
30 Dies ist ein besonders geeignetes Maß, um die Funktionsfähigkeit des Werkzeugs zu überwachen.

Um die physikalische Bedeutung der Werte der Differenzkurve für den Benutzer einfacher erfassbar zu machen, können die  
35 Werte der Differenzkurve von Drehmomentwerten in Kraftwerte umgerechnet werden und die Überwachung anhand der Kraftwerte durchgeführt werden.

Bei dem Verfahren kann bei Überschreiten der voreingestellten Grenzwerte ein für einen Benutzer erkennbarer Alarm ausgelöst werden und/oder die Bewegung des Werkzeugs beeinflusst werden. Beispielsweise kann die Bewegung des Werkzeugs angehalten oder umgekehrt werden. Daneben kann die Bewegung des Werkzeugs, zum Beispiel die Drehbewegung des Werkzeugs oder die Bewegung des Werkzeugs entlang einer vorgegebenen Bahn, verlangsamt werden und der durch die Bearbeitung durch das Werkzeug bewirkte Energieeintrag in das Werkstück unter einem vorbestimmten Grenzwert gehalten werden.

Das Verfahren eignet sich zur Überwachung der verschiedensten Bearbeitungsvorgänge mit unterschiedlichen Werkzeugen. Beispielsweise kann das Werkzeug zum Bohren, Gewindeschneiden, Fräsen, Drehen oder Schleifen ausgebildet sein.

Für die Ausführung des Überwachungsverfahrens kann eine Überwachungsvorrichtung vorgesehen sein, wobei die Überwachungsvorrichtung dazu eingerichtet ist,

- eine Überwachungsmessgröße zu erfassen und
- Sollwerte, die vom Steuerungsrechner erzeugt worden sind und mit denen die Bewegung des Werkzeugs gesteuert ist, zu erfassen, und
- anhand der erfassten Überwachungsmessgröße und Sollwerte das Überwachungsverfahren auszuführen.

Mit einer derartigen Überwachungsvorrichtung lassen sich bestehende Werkzeugmaschinen nachrüsten.

Ferner kann eine Werkzeugmaschine über einen Steuerungsrechner verfügen, der dazu eingerichtet ist, das Überwachungsverfahren auszuführen.

Es ist auch möglich, das Verfahren in Gestalt eines Computerprogrammprodukts zu implementieren. Das Computerprogrammprodukt enthält dann Befehle, die bei Ausführung auf einem

Rechner diesen veranlassen, das Überwachungsverfahren auszuführen.

Weitere Vorteile und Eigenschaften der Erfindung gehen aus  
5 der nachfolgenden Beschreibung hervor, in der Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung im Einzelnen erläutert werden. Es zeigen:

- 10 Figur 1 eine Darstellung einer numerisch gesteuerten Maschine zum Gewindeschneiden, bei der das Werkzeug in Richtung der Werkzeugachse mit Hilfe einer Spindel bewegt wird, die von einem Spindeltrieb in Drehung versetzt werden kann;
- 15 Figur 2 ein Diagramm, in dem der zeitliche Verlauf der Sollposition in Richtung der Werkzeugachse und des Drehmoments eines Spindeltriebs bei Bearbeitung eines Werkstücks aufgetragen ist;
- 20 Figur 3 ein Diagramm, das herkömmliche Verfahren der Überwachung veranschaulicht;
- Figur 4 ein Diagramm, in dem der zeitliche Verlauf der Sollposition, des Drehmoments des Spindeltriebs  
25 bei Bearbeitung eines Werkstücks, des Drehmoments bei einem Referenzvorgang und eine Differenzkurve dargestellt sind;
- Figur 5 eine vergrößerte Darstellung der Differenzkurve;  
30
- Figur 6 eine Darstellung der Anpassung der Sollwertkurven eines Bearbeitungsvorgangs und eines Referenzvorgangs;
- 35 Figur 7 eine Darstellung der Aufbereitung einer Sollwertkurve vor der Anpassung.

Figur 8 eine Darstellung eines Abwälzschleifvorgangs eines Zahnrads;

5 Figur 9 ein Diagramm, in dem der zeitliche Verlauf der Sollposition, des Drehmoments beim Schleifen des Zahnrads, des Drehmoments bei einem Referenzvorgang und die Differenzkurve dargestellt sind;

10 Figur 10 eine Darstellung eines Außenrundschleifvorgangs, beispielsweise einer Welle;

15 Figur 11 ein Diagramm, in dem der zeitliche Verlauf der Sollposition, des Drehmoments beim Schleifen des Werkstücks, des Drehmoments bei einem Referenzvorgang und die Differenzkurve dargestellt sind;

Figur 12 eine Darstellung eines Flachschleifvorgangs; und

20 Figur 13 ein Diagramm, in dem der zeitliche Verlauf der Sollposition, des Drehmoments beim Schleifen des Werkstücks, des Drehmoments bei einem Referenzvorgang und die Differenzkurve dargestellt sind.

25 Figur 1 zeigt eine numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine 1. Mit Hilfe der Werkzeugmaschine 1 wird ein Werkstück 2 bearbeitet. Zu diesem Zweck weist die Werkzeugmaschine 1 ein Werkzeug 3 auf, bei dem es sich beispielsweise um ein Werkzeug zum Schneiden von Gewinden im Werkstück 2 handeln kann. Das Werkzeug 3 ist von einem Werkzeugmotor 4 angetrieben, der 30 das Werkzeug 3 in Drehung versetzt. Es sei angemerkt, dass das Werkzeug 3 auch ein Bohrer oder Fräskopf sein kann.

35 Der Werkzeugmotor 4 ist bei dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel auf einem Spindelblock 5 gelagert, der beispielsweise über ein Kugelumlauflager 6 an einer Spindel 7 in Richtung einer Achse des Werkzeugs 3 verschiebbar angebracht ist. Die Spindel 7 wird über ein Getriebe 8 von einem

Spindelmotor 9 angetrieben, der die Spindel 7 in Drehung versetzt und auf diese Weise eine Translation des Spindelblocks 5 entlang der Spindel 7 bewirkt.

5 Sowohl der Werkzeugmotor 4 als auch der Spindelmotor 9 sind mit einem Steuerungsrechner 10 verbunden. Der Steuerungsrechner 10 ist ein Rechner, der typischerweise wenigstens einen Prozessor, diverse Speichereinheiten sowie Aus- und Eingabe-

10 einheiten umfasst. Auf dem Steuerungsrechner 10 wird ein Programm zu Steuerung der Werkzeugmaschine 1 ausgeführt. Der Steuerungsrechner 10 sendet insbesondere Steuersignale an den Werkzeugmotor 4 und den Spindelmotor 9 und wertet Sensorsignale zur Überwachung des Werkzeugmotors 4 und des Spindel-

15 motors 9 aus. Dazu kann der Werkzeugmotor 4 beispielsweise über eine Steuerleitung 11 und eine Sensorleitung 12 mit dem Steuerungsrechner 10 verbunden sein. Über die Steuerleitung 11 kann ein zum Ansteuern des Werkzeugmotors 4 verwendeter Antriebsstrom übermittelt werden. In die entgegengesetzte

20 Richtung kann zum Beispiel über die Sensorleitung 12 ein Messsignal eines Drehzahlgebers 13 an den Steuerungsrechner 10 übertragen werden. Der Drehzahlgeber 13 erfasst die vom Werkzeugmotor 4 pro Zeiteinheit ausgeführten Umdrehungen und gibt das Ergebnis als Drehzahl  $n$  (Umdrehungen/Zeit) aus. Mit

25 der Drehzahl  $n$  ist auch die Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 2\pi n$  bekannt. Da die vom Werkzeugmotor 4 abgegebene Leistung  $P$  aufgrund der am Werkzeugmotor 4 anliegenden Spannung  $U$  und dem vom Werkzeugmotor 4 aufgenommenen Strom  $I$  bekannt ist, kann bei bekannter Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  das Drehmoment  $M$  bestimmt werden ( $P = UI = M\omega$ )

30

In entsprechender Weise ist der Spindelmotor 9 über eine Steuerleitung 14 und eine Sensorleitung 15 mit dem Steuerungsrechner 10 verbunden. Über die Steuerleitung 14 kann der Spindelmotor 9 mit Antriebsstrom beaufschlagt werden. Anhand

35 des vom Spindelmotor 9 gezogenen Stroms und der am Spindelmotor 9 anliegenden Spannung kann ferner die momentane vom Spindelmotor 9 gezogene Leistung des Spindel-

bekannter Drehzahl das momentane Drehmoment des Spindelmotors 9 bestimmt werden.

Die Messwerte eines Umdrehungszählers 16 können über die  
5 Sensorleitung 15 an den Steuerungsrechner 10 übertragen  
werden. Mit einem derartigen Umdrehungszähler 16 lässt sich  
sowohl die Drehzahl als auch die Position des Spindelblocks 5  
bestimmen, indem die Zahl der Umdrehungen ausgehend von einer  
Startposition gezählt wird.

10

Der Steuerungsrechner 10 kann über eine oder mehrere Daten-  
leitungen 17 mit einer Anzeigeeinheit 18 verbunden sein. Über  
die Datenleitungen 17 können Daten mittels eines Protokolls  
zum Datenaustausch, zum Beispiel eines der gängigen Protokol-  
15 le für das Ethernet, den Profibus oder den sogenannten Multi  
Point Interface (=MPI) Bus, ausgetauscht werden.

20

Über die Datenleitungen 17 kann auch ein Überwachungsrechner  
19 mit dem Steuerungsrechner 10 verbunden sein, der wie der  
Steuerungsrechner 10 typischerweise ebenfalls wenigstens  
einen Prozessor, diverse Speichereinheiten sowie Aus- und  
Eingabeeinheiten umfasst. Auf dem Überwachungsrechner 19 wird  
ein Programm zur Überwachung der Werkzeugmaschine 1 ausge-  
führt. Dieses Programm kann grundsätzlich auch von dem Steue-  
25 rungsrechner 10 ausgeführt werden. Insofern ist der Überwa-  
chungsrechner 19 nicht zwingend erforderlich.

30

Die Werkzeugmaschine 1 kann dazu verwendet werden, gemäß dem  
aus der DE 10 2016 114 631 A1 bekannten Bearbeitungsverfahren  
in einem Kernloch 20 mithilfe des Werkzeugs 3 ein Gewinde  
auszubilden. Dabei wird die auf das Werkzeug 3 einwirkende  
Wirkkraft 21 dazu verwendet, die Funktionsfähigkeit des  
Werkzeugs 3 zu überwachen. Diese Wirkkraft 21 wirkt entlang  
der Längsachse des Werkzeugs 3, also entlang der in Figur 1  
eingezeichneten z-Achse. Das zur Überwachung der Wirkkraft 21  
35 von dem Überwachungsrechner 19 ausgeführte Überwachungsver-  
fahren wird nachfolgend im Einzelnen beschrieben.

Zum besseren Verständnis des Überwachungsverfahrens sollen aber zunächst die bei der Überwachung der Werkzeugmaschine 1 auftretenden Schwierigkeiten anhand Figur 2 näher erläutert werden. Figur 2 zeigt ein Diagramm, in dem eine Bearbeitungssollwertkurve 22 für die Position des Werkzeugs 3 gegen die Zeit aufgetragen ist. Unter der Position des Werkzeugs 3 ist dabei die Position des Werkzeugs 3 entlang der Spindel 7 zu verstehen. Die Position des Werkzeugs 3 kann auch durch die Zahl der Umdrehungen ausgedrückt werden, die der Spindelmotor 9 ausführen muss, um den Spindelblock 5 und damit das Werkzeug 3 von einer Nullposition zu einer bestimmten Position zu bewegen. Selbstverständlich kann die Position auch als linearer Längenabstand zwischen der Nullposition und der bestimmten Position ausgedrückt werden. Der Einfachheit halber ist nachfolgend nur von der z-Position die Rede.

Der Sollwert für die z-Position wird von dem Steuerungsrechner 10 vorgegeben und mit Hilfe einer in dem Steuerungsrechner 10 implementierten Regelvorrichtung ausgeführt. Dabei handelt es sich üblicherweise um einen dem Fachmann an sich bekannten Kaskadenregler, bei dem die Positionsabweichung durch einen äußeren Regelkreis, die Drehzahl des Spindelmotors 4 durch einen mittleren Regelkreis und das Drehmoment des Spindelmotors 4 durch einen inneren Regelkreis geregelt wird.

In Figur 2 sind ferner durch gestrichelte Linien eine Reihe von Zeitpunkten  $t_1$  bis  $t_9$  markiert. Zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  bis  $t_3$  wird eine Einführungsbewegung 23 ausgeführt, mit der das Werkzeug 3 in das Kernloch 20 eingeführt wird. Der Zeitpunkt  $t_1$  ist der Startzeitpunkt und der Zeitpunkt  $t_3$  der Zeitpunkt, zu dem das Werkzeug die maximale Tiefe erreicht. Während der Einführungsbewegung 23 trifft das Werkzeug 3 zum Zeitpunkt  $t_2$  auf das Werkstück 2. Die Einführungsbewegung 23 lässt sich daher in einen Annäherungsbewegung 24 zwischen dem Zeitpunkt  $t_1$  und dem Zeitpunkt  $t_2$  und einer Nutschneidebewe-

gung 25 zwischen dem Zeitpunkt  $t_2$  und dem Zeitpunkt  $t_3$  unterteilen. Während der Nutschneidebewegung 25 wird mit Hilfe des Nuterzeugungsbereichs des Werkzeugs 3 in der Wand des Kernlochs 20 wenigstens eine helixförmige Nut ausgebildet.

5

An die Nutschneidebewegung 25 schließt sich eine Rückzugsbewegung 26 an, in der das Werkzeug etwas zurückbewegt wird. Der Rückzugsbewegung 26 folgt zwischen den Zeitpunkten  $t_3$  und  $t_4$  eine Gewindeschneidebewegung 27, bei dem die Gewindeerzeugungsbereiche des Werkzeugs 3 die jeweilige Nut verlassen und in der Wand des Kernlochs 20 das Gewinde einschneiden. Zu diesem Zweck wird das Werkzeug entgegengesetzt zur Nutschneidebewegung 25 gedreht und entsprechend der auszubildenden Steigung des Gewindes leicht zurückgezogen. Die Gewindeschneidebewegung 27 endet, sobald die Gewindeerzeugungsbereiche die eine Nut oder die nächste Nut erreichen. Dies ist zum Zeitpunkt  $t_5$  der Fall.

In einer anschließenden Abscherbewegung 28 zwischen den Zeitpunkten  $t_5$  und  $t_6$  wird mit dem Werkzeug 3 die Nut erneut in das Kernloch 20 hinein abgefahren, um eventuell beim Schneiden des Gewindes entstandene und in die Nut hineinragende Späne abzuscheren. Anschließend wird das Werkzeug 3 in einer Rücksetzbewegung 29 zwischen den Zeitpunkten  $t_6$  und  $t_7$  wieder zurückbewegt und das erzeugte Gewinde in einer anschließenden Nachschneidebewegung 30 zwischen den Zeitpunkten  $t_7$  und  $t_8$  nachgeschnitten. Die Nachschneidebewegung 30 erfolgt dabei gegenläufig zur Gewindeschneidebewegung 27. Die Nachschneidebewegung 30 erfolgt somit in die entgegengesetzte Drehrichtung bezüglich der Gewindeschneidebewegung 27 bei einer gleichzeitigen leichten Vorwärtsbewegung. Wenn die Gewindeschneidebereiche des Werkzeugs 3 wieder die oder eine Nut erreichen, kann die Nachschneidebewegung 30 zum Zeitpunkt  $t_8$  beendet werden und das Werkzeug 3 mit einer Rückzugsbewegung 31 aus dem Kernloch 20 zurückgezogen werden. Dabei werden die Nutschneidebereiche und die Gewindeschneidebereiche des Werkzeugs 3 durch die Nut nach außen geführt.

Das in Figur 2 dargestellte Diagramm zeigt ferner eine Bearbeitungs-drehmomentkurve 32, die beim Ausführen des durch die Sollkurve 22 gesteuerten Bearbeitungsverfahrens von dem Steuerungsrechner 10 aufgenommen und von dem Überwachungsrechner 19 ausgelesen wurde.

Negative Werte der Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 zeigen eine Beschleunigung des Werkzeugs 3 zum Werkstück 2 hin in die z-Richtung oder eine Abbremsung einer Rückwärtsbewegung entgegen der z-Richtung. Positive Werte der Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 bedeuten, dass eine Bewegung in z-Richtung gebremst wird oder eine Bewegung entgegen der z-Richtung beschleunigt wird. Während der Einführungsbewegung 23 wird das Werkzeug 3 zum Beispiel ab dem Zeitpunkt  $t_1$  in z-Richtung stark beschleunigt. Das Minimum der Bearbeitungs-drehmomentkurve 32, also das Maximum des Drehmoments wird erreicht, kurz nachdem das Werkzeug 3 zum Zeitpunkt  $t_2$  auf das Werkstück 2 trifft. Während der Nutschneidebewegung 25 steigt die Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 stark zu positiven Werten hin an. Sobald das Vorzeichen der Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 am Nulldurchgang wechselt, wird die Bewegung des Werkzeugs 3 in z-Richtung gebremst und ab dem Zeitpunkt  $t_3$  entgegen der z-Richtung beschleunigt, um die Rückzugsbewegung 26 auszuführen.

Es hat sich herausgestellt, dass es in der Praxis nicht ausreicht, die Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 zu überwachen. So ist es denkbar, wie in Figur 3 dargestellt, nach der Aufnahme einer Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 eine untere Grenzkurve 33 und eine obere Grenzkurve 34 zu definieren, zwischen denen die Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 liegen muss. Allerdings ist im Bereich starker Steigungen der Bearbeitungs-drehmomentkurve 32 der Abstand zwischen der unteren Grenzkurve 33 und der oberen Grenzkurve 34 zu groß, wenn die untere Grenzkurve 33 und die obere Grenzkurve 34 so gelegt werden, dass die untere Grenzkurve 33 und die obere Grenzkur-

ve 34 ein Band gleichbleibender Dicke um die Bearbeitungs-  
drehmomentkurve 32 bilden. In diesem Fall werden Abweichungen  
im Bereich großer Steigungen nicht zuverlässig erfasst. Oder  
der Abstand zur Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 wird entlang  
5 der Ordinate gleichbleibend gewählt. Dann kommt es im Bereich  
großer Steigungen der Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 häufig  
zu unzutreffenden Fehlermeldungen, da kleine Verschiebungen  
der Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 zu einem Überschreiten der  
unteren Grenzkurve 33 und der oberen Grenzkurve 34 führen.

10

Auch die Überwachung der Extremwerte der Bearbeitungsdrehmo-  
mentkurve 32 mittels zugeordneter unterer Grenzwerte 35 und  
oberer Grenzwerte 36 hat sich als nicht zuverlässig genug für  
die Überwachung der Qualität des Werkzeugs 3 erwiesen. Denn  
15 in die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 gehen eine Reihe von  
Größen ein: Neben den Reibungskräften in den Getrieben und  
Lagern spielen auch Trägheitskräfte eine wichtige Rolle, da  
bei Werkzeugmaschinen 1 große Massen bewegt werden. Variatio-  
nen dieser Größe überlagern Änderungen der Kräfte die auf das  
20 Werkzeug 3 einwirken und anhand derer die Funktionsfähigkeit  
des Werkzeugs 3 eigentlich überwacht werden kann. Denn wenn  
sich das Werkzeug 3 abnutzt, ändern sich die Kräfte, die auf  
das Werkzeug 3 einwirken, da die Werkzeugmaschine 1 das  
Werkzeug 3 entsprechend der Bearbeitungssollwertkurve 22  
25 bewegt. Bei abgenutzten Werkzeug 3 sind daher größere Kräfte  
erforderlich als mit einem neuen Werkzeug 3. Die auf das  
Werkzeug 3 wirkenden Kräfte sind jedoch wesentlich kleiner  
als die Trägheits- und Reibungskräfte und können daher anhand  
der am Spindelmotor 9 aufgenommenen Bearbeitungsdrehmoment-  
30 kurve 32 nicht ohne weiteres bestimmt werden.

Figur 4 zeigt nun ein weiteres Diagramm, in dem neben der  
bereits in den Figuren 2 und 3 gezeigten Bearbeitungsdrehmo-  
mentkurve 32 eine anhand einer Referenzsollwertkurve 37  
35 aufgenommene Referenzdrehmomentkurve 38 dargestellt ist.  
Diese Referenzdrehmomentkurve 38 wird vorzugsweise ohne  
Bearbeitung des Werkstücks 2 als Luftdrehmomentkurve von dem

Steuerungsrechner 10 aufgenommen und von dem Überwachungsrechner 19 ausgelesen. Das Werkzeug 3 kann zum Beispiel in einen ausreichend großen Abstand zum Werkstück 2 gefahren werden und dort eine der Referenzsollwertkurve 37 entsprechende Referenzbewegung in der Luft ausführen. Die Referenzsollwertkurve 37 entspricht der Bearbeitungssollwertkurve 22, wobei in der Praxis nachfolgend näher erläuterte Abweichungen vorkommen können. Die Aufnahme der Referenzdrehmomentkurve 38 kann in periodischen Abständen wiederholt werden.

10

Die Referenzdrehmomentkurve 38 und die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 werden unter Anwendung eines nachfolgend näher beschriebenen Verfahrens voneinander abgezogen und auf diese Weise wird eine Differenzkurve 39 berechnet.

15

Da die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 bei der Bearbeitung des Werkstücks 2 aufgenommen wurde und die Referenzdrehmomentkurve 38 ohne Werkstück 2 aufgenommen wurde, hängt die Differenzkurve 39 nur von den Kräften ab, die auf das Werkzeug 3 einwirken und die Bewegung des Werkzeugs 3 im Werkstück 2 hemmen. Entsprechend weicht die Differenzkurve 39 erst nach Eintritt des Werkzeugs 3 in das Werkstück 2 zum Zeitpunkt  $t_2$  von Null ab. Da die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und die Referenzdrehmomentkurve 38 jeweils das Drehmoment des Spindelmotors 9 angeben und die Drehung der Spindel 7 durch das Kugelumlauflager 6 in eine Translationsbewegung umgesetzt wird, ist die hemmende Kraft, die die Bewegung des Werkzeugs 3 im Werkstoff hemmt, die Wirkkraft 21. Die Wirkkraft 21 lässt sich gemäß der Formel  $F = 2\pi M / s$  aus dem vom Spindelmotor 9 ausgeübten Drehmoment  $M$  berechnen, wobei  $s$  der bei einer Umdrehung des Spindelmotors 9 von dem Spindelblock 5 entlang der Spindel 7 zurückgelegte Weg ist.

In Figur 5 ist die Differenzkurve 39 noch einmal vergrößert dargestellt. Anhand der Figur 5 ist erkennbar, dass die Referenzdrehmomentkurve 38 ausgeprägte lokale Extremwerte hat, deren Größe sich durch Setzen von unteren Grenzwerten 40

und oberen Grenzwerten 41 überwachen lässt. Wenn die Differenzkurve 39 einen der unteren Grenzwerte 40 unterschreitet oder einen der oberen Grenzwerte 41 überschreitet, wird von dem Überwachungsrechner 19 ein Fehler erkannt und zumindest  
5 in ein Fehlerprotokoll geschrieben. Gegebenenfalls veranlasst der Überwachungsrechner 19 eine Fehleranzeige auf der Anzeigeeinheit 18 oder beeinflusst die Bewegung des Werkzeugs 3, indem von dem Überwachungsrechner 19 entsprechende Steuerungsbefehle an den Steuerungsrechner 10 abgesetzt werden.  
10 Diese Steuerungsbefehle können den Steuerungsbefehlen entsprechen, die mit Hilfe der Anzeigeeinheit 18 erzeugt und an den Steuerungsrechner 10 übermittelt werden, zum Beispiel ein Steuerungsbefehl zum Anhalten der Werkzeugmaschine 1.

15 Die Grenzwerte 40 und 41 können so entlang der Differenzkurve 39 verteilt werden, dass unterschiedliche Funktionsabschnitte der Differenzkurve 39 abgedeckt werden. Während der Nutschneidebewegung 25 ist die Funktionsfähigkeit eines Nutschneidebereichs des Werkzeugs 3 maßgeblich. Für die Gewin-  
20 deschneidebewegung 27 kommt es auch auf die Gewin-  
deschneidebereiche des Werkzeugs 3 an. Auf diese Weise lassen sich unterschiedliche Funktionsbereiche des Werkzeugs 3 überwachen.

Die Überwachung der Grenzwerte 40 und 41 setzt voraus, dass  
25 die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und die Referenzdrehmomentkurve 38 nicht zeitlich gegeneinander verschoben sind, da ansonsten die Differenzkurve 39 fehlerhaft ist. Die Anfangszeitpunkte  $t_1$  müssen also zur Deckung gebracht werden.

30 Um die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und die Referenzdrehmomentkurve 38 zeitlich in Relation zueinander zu bringen, kann auf die Bearbeitungssollwertkurve 22 und die Referenzsollwertkurve 37 zurückgegriffen werden. Insbesondere können die  
35 Bearbeitungssollwertkurve 22 und die Referenzsollwertkurve 37 nach dem Verfahren der kleinsten Abweichungsquadrate von dem Überwachungsrechner 19 zur Deckung gebracht werden. Die dafür notwendige zeitliche Verschiebung  $\Delta T$  ist ein Maß für den

relativen zeitlichen Abstand der Bearbeitungssollwertkurve 22 und der Referenzsollwertkurve 37. Damit kann der Überwachungsrechner 19 auch den relativen zeitlichen Abstand zwischen der zugehörigen Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und der Referenzdrehmomentkurve 38 bestimmen. Figur 6 veranschaulicht ein entsprechendes Verfahren.

Die Bearbeitungssollwertkurve 22 und die Referenzsollwertkurve 37 sind deshalb besonders geeignet, da deren Verlauf nahezu identisch ist. Der Steuerungsrechner 10 ist typischerweise ein Rechner, der in der Lage ist, Bewegungsvorgänge der Werkzeugmaschine 1 in Echtzeit zu steuern. Die auszuführenden Bewegungen werden dabei durch eine vom Steuerungsrechner 10 abzuarbeitende Liste von Bewegungsbefehlen vorgegeben, die der Steuerungsrechner 10 nacheinander abarbeitet. Ein erster Bewegungsbefehl kann beispielsweise die Ausführung der Einführungsbewegung 23 auslösen. Ein nachfolgender zweiter Bewegungsbefehl kann die Rückzugsbewegung 26 veranlassen. Die Ausführung der Bewegungsbefehle erfolgt immer auf die gleiche Art und Weise: die aufgrund der einzelnen Bewegungsbefehle erzeugten Teilabschnitte der Sollwertkurve sind daher immer gleich. So sind die Teilabschnitte der Sollwertkurve für die Einführungsbewegung 23, die Rückzugsbewegung 26, die Gewindegewindebewegung 27, die Abscherbewegung 28, die Rücksetzbewegung 29, die Nachschneidebewegung 30 und die Rückzugsbewegung 31 bei den verschiedenen Sollwertkurven immer gleich. Allerdings ist es möglich, dass der Steuerungsrechner 10 zwischen der Ausführung der Bewegungsbefehle andere Aufgaben erledigen muss, und es zwischen der Ausführung der Bewegungsbefehle zu unterschiedlich langen Verzögerungen  $\Delta t_n$  kommt.

Um die Bestimmung des zeitlichen Abstands zwischen der Bearbeitungssollwertkurve 22 und der Referenzsollwertkurve 37 zu verbessern, können, wie in Figur 7 veranschaulicht, die Verzögerungen  $\Delta t_n$  in der Bearbeitungssollwertkurve 22 und der Referenzsollwertkurve 37 vor dem in Figur 6 dargestellten Anpassungsvorgang aus der Bearbeitungssollwertkurve 22 und

der Referenzsollwertkurve 37 entfernt werden. Dies kann  
bewerkstelligt werden, indem Übergangsabschnitte 42 zwischen  
den Abschnitten der Sollwertkurve bestimmt und in der Soll-  
wertkurve und der zugehörigen Drehmomentkurve entfernt wer-  
den. Die Übergangsabschnitte 42 werden bestimmt, indem die  
5 den Bewegungsbefehlen entsprechenden Abschnitte der jeweili-  
gen Sollwertkurve bestimmt werden. Die Übergangsabschnitte 42  
ergeben sich dann als die dazwischenliegenden Sollwertkurven-  
abschnitte.

10

Es sei angemerkt, dass zufällige Regelabweichungen von den  
Sollwertkurven 22 und 37 nicht zu Werten der Differenzkurve  
39 führen sollen, die größer als die zulässigen Abweichungen  
von der Differenzkurve 39 sind. Insofern sind die unteren  
15 Grenzwerte 40 und die oberen Grenzwerte 41 in Abhängigkeit  
von der maximalen Regelabhängigkeit so zu legen, dass nach  
Möglichkeit keine zufälligen unzutreffenden Fehlermeldungen  
erzeugt werden. In der Praxis treten im Normalfall aber keine  
beachtenswerten zufälligen Regelabweichungen auf. Wenn Regel-  
20 abweichungen von den Sollwertkurven 22 und 37 auftreten,  
liegt dies am Auftreten zusätzlicher Kräfte, die sich in der  
Differenzkurve 39 widerspiegeln, was der gewünschte Effekt  
ist.

25

Hier wurde ein Überwachungsverfahren beschrieben, bei dem die  
Referenzdrehmomentkurve 38 eine Luftdrehmomentkurve ist.

Daneben ist es auch möglich, eine alternative Referenzdrehmo-  
mentkurve beispielsweise unter Verwendung eines neuen Exemp-  
lars des Werkzeugs 3 aufzunehmen. In diesem Fall ist die

30

Überwachung allerdings schwieriger, da in die Referenzdrehmo-  
mentkurve auch die auf das Werkzeug 3 wirkenden Kräfte einge-  
hen. Die Differenzkurve zwischen der Bearbeitungsdrehmoment-  
kurve 32 und der alternative Referenzdrehmomentkurve zeigt  
auch nicht wie bei der Differenzkurve 39 die Wirkkraft 21,

35

sondern die Änderung der Wirkkraft 21 an. Es sei jedoch  
angemerkt, dass die alternative Referenzdrehmomentkurve nicht  
nur anstelle der Referenzdrehmomentkurve 38 verwendet werden

kann, sondern auch ergänzend dazu. In diesem Fall werden nicht nur der Wirkkraft 21, sondern auch die Änderungen der Wirkkraft über die Zeit erfasst und überwacht.

5 Hier wurde ferner ein Überwachungsverfahren im Zusammenhang mit einem Bearbeitungsverfahren beschrieben, mit dem sich ein Gewinde in einem Kernloch 20 eines Werkstücks 3 ausbilden lässt. Das hier beschriebene Überwachungsverfahren kann jedoch grundsätzlich auch auf andere Bearbeitungsverfahren  
10 angewendet werden, bei denen ein Werkzeug translatorisch und/oder rotatorisch bewegt wird. Beispielsweise kann das Überwachungsverfahren auch dazu verwendet werden, ein Bohr-Dreh- oder Fräsverfahren zu überwachen. Bei diesen Verfahren können Wirkkräfte entlang der Translationsachsen und/oder  
15 Wirkdrehmomente um die Rotationsachsen der jeweiligen Werkzeugmaschine sowie Kombinationen der Wirkkräfte oder Wirkdrehmomente bestimmt und gegebenenfalls überwacht werden.

Bei einem Bohrverfahren kann beispielsweise die entlang der  
20 Längsachse des Bohrwerkzeugs wirkende Wirkkraft und/oder das auf das Bohrwerkzeug wirkende Wirkdrehmoment bestimmt und überwacht werden.

Bei einem Fräsverfahren kann nicht nur die entlang der Längs-  
25 achse des Fräskopfes wirkende Wirkkraft in z-Richtung bestimmt werden, sondern es können auch die Wirkkräfte bestimmt werden, die seitlich in x- oder y-Richtung auf den Fräskopf der Fräsmaschine einwirken. Je nach Bewegungsrichtung kann die auf den Fräskopf seitlich einwirkende Kraft aus unter-  
30 schiedlichen, sich ständig ändernden Richtungen auf den Fräskopf einwirken. Es kann daher von Vorteil sein, wenn aus den entlang der x- und y-Achse wirkenden Kraftkomponenten der seitlich auf den Fräskopf einwirkenden Kraft der Betrag dieser Kraft berechnet wird und der Betrag der seitlich  
35 einwirkenden Kraft auf das Überschreiten oder Unterschreiten bestimmter Grenzwerte überwacht wird. In bestimmten Fällen, beispielsweise wenn nur in eine bestimmte Richtung gefräst

wird, kann es auch sinnvoll sein, nur eine Kraftkomponente zu überwachen.

Bei einem Drehverfahren, bei dem ein von einem Spannwerkzeug  
5 gehaltenes Werkstück um eine z-Achse in Drehung versetzt wird und mit Hilfe eines Drehmeißels abgedreht wird, können die Wirkkräfte auf den Drehmeißel in Vorschubrichtung, also in z-Richtung und/oder die Wirkkräfte in x- und y-Richtung oder auch die aus diesen Kraftkomponenten zusammengesetzte Gesamtkraft  
10 bestimmt und überwacht werden.

Das hier beschriebene Überwachungsverfahren kann auch bei einem Schleifvorgang angewandt werden.

15 Figur 8 zeigt die Anordnung des Werkstücks 2 und des Werkzeugs 3 bei einem Abwälzschleifvorgang. In Figur 8 ist das Werkstück 2 ein schräg gezahntes Zahnrad 43, das an einer Zahnradwelle 44 der Werkzeugmaschine 1 befestigt ist. Die Zahnradwelle 44 kann um eine Drehachse 45 gedreht werden, die  
20 gelegentlich auch als B-Achse bezeichnet wird.

Das Werkzeug 3 ist von einer profilierten Schleifscheibe 46 gebildet, die um eine Drehachse 47 rotiert, die gelegentlich auch als C-Achse bezeichnet wird. Während des Schleifvorgangs  
25 führt die Schleifscheibe eine lineare Bewegung 48 entlang der z-Achse aus. Die lineare Bewegung 48 kann, wie bei der in Figur 1 dargestellten Werkzeugmaschine, mit Hilfe eines Spindeltriebs erfolgen. Durch den Schleifvorgang werden die Zahnflanken des Zahnrads 43 geschliffen.

30

Figur 9 zeigt ein Diagramm, in dem die Bearbeitungssollwertkurve 22, die Referenzsollwertkurve 37, die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32, die Referenzdrehmomentkurve 38 sowie die Differenzkurve 39 eingetragen sind. Für die Bearbeitungssollwertkurve 22 und die Referenzsollwertkurve 37 kann die Lage  
35 der Schleifscheibe 46, insbesondere die Lage der Drehachse 47 (C-Achse) entlang der z-Achse während des Schleifvorgangs

gewählt werden. Für die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und die Referenzdrehmomentkurve 38 kann entweder das Drehmoment, das die Drehung der Schleifscheibe 46 um die Drehachse 47 (C-Achse) bewirkt, oder das Drehmoment verwendet werden, das auf die in Figur 8 nicht dargestellte Spindel einwirkt, mit der die Drehachse 47 (C-Achse) der Schleifscheibe 46 linear entlang der z-Achse bewegt wird.

Die Bearbeitungssollwertkurve 22 und die Referenzsollwertkurve 37 sind in drei Abschnitte unterteilt. Während einer Anlaufphase 49 zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  wird die Schleifscheibe 46 mit einer großen Vorschubgeschwindigkeit über eine große Vorschubstrecke entlang der z-Achse bewegt. Während der Anlaufphase 49 findet zum Zeitpunkt  $t_1$  der erste Kontakt zwischen der Schleifscheibe 46 und dem Zahnrad 43 statt. Der Materialabtrag ist zunächst gering und steigt mit zunehmender Annäherung der Schleifscheibe 46 an das Zahnrad 43 kontinuierlich an. Dementsprechend nimmt auch das Drehmoment zu, mit der die Schleifscheibe 46 angetrieben werden muss oder das Drehmoment, mit der die lineare Bewegung der Drehachse 47 (C-Achse) bewerkstelligt wird. In einer Durchlaufphase 50 zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  wird die Vorschubgeschwindigkeit für die lineare Bewegung entlang der z-Achse verringert. Während der Durchlaufphase 50 befindet sich die Drehachse 47 (C-Achse) in etwa mittig über dem Zahnrad 43. Während der Durchlaufphase 50 ist die Kontaktfläche zwischen der Schleifscheibe 46 und dem Zahnrad 43 am größten. Dementsprechend durchlaufen die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und die Referenzdrehmomentkurve 38 jeweils ein Maximum, das sich betragsmäßig auch in einem Maximum der Differenzkurve 39 widerspiegelt. Das bedeutet, dass die am Zahnrad 43 während der Durchlaufphase 50 geleistete Schleifleistung ebenfalls ein Maximum annimmt. Zwischen dem Zeitpunkt  $t_3$  und  $t_4$  schließt sich die Ablaufphase 51 an. Während der Ablaufphase 51 wird die Vorschubgeschwindigkeit erneut erhöht, da sich der Materialabtrag durch die Schleifscheibe 46 immer mehr verringert. Nach dem Zeitpunkt  $t_4$

besteht kein Kontakt mehr zwischen der Schleifscheibe 46 und dem Zahnrad 43.

Figur 10 zeigt einen Vorgang mit Außenrundscheifen. In diesem Fall ist das Werkstück 2 beispielsweise eine Rundwelle 52, die in eine Halterung eingespannt ist, die ein Drehen der Rundwelle 52 um eine Wellenachse 53 (B-Achse) erlaubt. Zum Schleifen der Rundwelle 52 wird die Rundwelle 52 um die Wellenachse 53 gedreht und gegen die sich um die Drehachse 47 (C-Achse) drehende Schleifscheibe 46 mit einer linearen Bewegung 54 verfahren, die entlang der z-Achse erfolgt.

Figur 11 ist ein Diagramm, das die Bearbeitungssollwertkurve 22, Referenzsollwertkurve 37, Bearbeitungsdrehmomentkurve 32, Referenzdrehmomentkurve 38 und Differenzkurve 39 zeigt. Für die Bearbeitungssollwertkurve 22 und die Referenzsollwertkurve 37 kann der relative Abstand zwischen der Drehachse 47 (C-Achse) der Schleifscheibe 46 und der Wellenachse 53 (B-Achse) der Rundwelle 52 entlang der z-Achse verwendet werden. Für die Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und die Referenzdrehmomentkurve 38 kann jeweils das Drehmoment verwendet werden, das die Rotation der Schleifscheibe 46 um die Drehachse 47 (C-Achse) bewirkt oder das Drehmoment, das die Drehung der Rundwelle 52 um die Wellenachse 53 bewerkstelligt, oder das Drehmoment einer in Figur 10 nicht dargestellten Spindel, mit der die lineare Bewegung 54 ausgeführt wird.

Der Bearbeitungsvorgang ist nunmehr wieder in verschiedene Phasen unterteilt. In eine Annäherungsphase zwischen dem Zeitpunkt  $t_1$  und  $t_2$  wird die Rundwelle 52 der Schleifscheibe 46 angenähert. Zum Zeitpunkt  $t_2$  besteht Kontakt zwischen der Schleifscheibe 46 und der Rundwelle 52. Bei der nachfolgenden Phase zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  handelt es sich um ein Schruppen 56, bei dem die Rundwelle 52 über eine verhältnismäßig große Strecke und mit verhältnismäßig hoher Geschwindigkeit auf die Schleifscheibe 46 zubewegt wird. Durch

das Schrappen 56 wird viel Material von der Rundwelle 52 abgetragen.

Zwischen den Zeitpunkten  $t_3$  und  $t_4$  wird ein Schlichten 57 ausgeführt, mit einer geringen Vorschubstrecke und niedriger Vorschubgeschwindigkeit in Richtung auf die Schleifscheibe 46. Während des Schlichtens 47 wird nur noch wenig Material von der Rundwelle 52 entfernt.

Figur 12 zeigt den Vorgang des Flachsleifens, bei dem die Schleifscheibe 46 dazu verwendet wird, das Werkstück 2 flachzuschleifen. Das Werkstück 2 führt dabei eine lineare Bewegung 58 bezüglich der Schleifscheibe 46 aus.

In Figur 13 ist das zugehörige Diagramm mit der Bearbeitungssollwertkurve 22, der Referenzsollwertkurve 37, der Bearbeitungsdrehmomentkurve 32, der Referenzdrehmomentkurve 38 sowie der Differenzkurve 39 dargestellt. Für die Aufnahme der Bearbeitungsdrehmomentkurve 32 und der Referenzdrehmomentkurve 38 kann entweder das auf die Schleifscheibe 46 wirkende Drehmoment verwendet werden, oder das Drehmoment auf eine nicht dargestellte Spindel, mit der das Werkstück 2 mit der linearen Bewegung 58 verschoben wird.

Wiederum ist der Bearbeitungsvorgang in verschiedene Phasen unterteilt. In einer Anlaufphase 59 zwischen dem Zeitpunkt  $t_1$  und  $t_2$  beginnt die Schleifscheibe 46 in Kontakt mit dem Werkstück 2 zu treten und zunehmend Material vom Werkstück 2 abzutragen. Während einer Durchlaufphase 60 wird das Werkstück 2 abgefahren, bis die Schleifscheibe 46 zum Zeitpunkt  $t_3$  beginnt, das Werkstück 2 zu verlassen. Während einer Ablaufphase 61 trägt die Schleifscheibe 46 noch das restliche Material vom Werkstück 2 ab, bis zum Zeitpunkt  $t_4$  kein Kontakt mehr zwischen der Schleifscheibe 46 und dem Werkstück 2 besteht. In der Anlaufphase 59 und der Ablaufphase 61 ist die Vorschubgeschwindigkeit im Vergleich zu Vorschubgeschwindigkeit während der Durchlaufphase 60 hoch. Es sei angemerkt,

dass während der Durchlaufphase 60 eine wesentlich größere Strecke zurückgelegt wird, als während der Anlaufphase 59 und der Ablaufphase 61.

- 5 Bei dem in den Figuren 8 bis 13 dargestellten Schleifvorgängen besteht die Besonderheit, dass zur Kühlung der Schleifscheibe 46 typischerweise ein Öl verwendet wird, das in die Poren der Schleifscheibe 46 injiziert wird. Dieses Öl wird während des Schleifvorgangs am Werkstück 2 abgetragen.
- 10 Dadurch entsteht eine effektive Reibungskraft. Diese effektive Reibungskraft kann dadurch eliminiert werden, dass die Referenzdrehmomentkurven 38 jeweils am Werkstück 2, aber ohne Materialabtrag aufgenommen werden. Die effektive Reibungskraft tritt dann sowohl bei der Aufnahme der Bearbeitungs-
- 15 drehmomentkurve 32 als auch bei der Referenzdrehmomentkurve 38 auf und geht daher nicht in die Differenzkurve 39 ein.

Die Bestimmung der Differenzkurve 39 ist insofern von Vorteil, als die Differenzkurve 39 ein Maß für den Energieeintrag ist, der durch die Reibung der Schleifscheibe 46 am

20 Werkstück bewirkt wird. Wenn  $M$  das jeweilige Drehmoment und  $\omega$  die zugehörige Winkelgeschwindigkeit ist, ergibt sich der Energieeintrag pro Längeneinheit zu  $\Delta E/\Delta z = M \cdot \omega/v_z$ , wobei  $v_z$  die Vorschubgeschwindigkeit entlang der  $z$ -Achse ist. Um die

25 lokal übertragene Energie zu bestimmen ist gegebenenfalls noch die Größe der Kontaktfläche zwischen der Schleifscheibe 46 und dem Werkstück 2 zu berücksichtigen.

Auf diese Weise erscheint es möglich, Schleifbrand an den

30 Werkstücken 2 zu verhindern. Durch einen sogenannten Schleifbrand wird das Werkstück thermisch geschädigt. Durch Schleifbrand kann es zu Neuhärtungen beziehungsweise zu Enthärtungen bestimmter Bereiche im Werkstück 2 oder zu Gefügeveränderungen kommen. Ein Schleifbrand ist nicht in allen Fällen mit

35 bloßem Auge zu erkennen und kann die Lebensdauer des fertig bearbeiteten Werkstücks 2 in seiner jeweiligen Funktion erheblich beeinträchtigen.

Falls die Werte der Differenzkurve 39 beim Schleifen bestimmte Grenzwerte überschreiten, kann der Bearbeitungsvorgang gestoppt werden. Grundsätzlich ist auch denkbar, beim Überschreiten oder der Annäherung an bestimmte Grenzwerte, die Bewegung entlang der z-Richtung zu verlangsamen und/oder die Rotationsgeschwindigkeit der Drehscheibe 46 herabzusetzen, wodurch der Energieeintrag verringert und ein Schleifbrand verhindert werden kann. Zweckmäßigerweise wird dabei in eine Betriebsart umgeschaltet, zu der ebenfalls eine Referenzsollwertkurve und eine Referenzdrehmomentkurve vorliegen.

Es sei angemerkt, dass bei einer abgewandelten Ausführungsform auch mehrere Bearbeitungsdrehmomentkurven 32 und Referenzdrehmomentkurven 38 für verschiedene Antriebe parallel aufgenommen und überwacht werden können, beispielsweise können bei den in den Figuren 8 bis 13 dargestellten Schleifvorgängen jeweils das Drehmoment des Spindeltriebs für die Bewegung entlang der z-Achse und das Drehmoment zum Antrieb der Schleifscheibe 46 parallel aufgenommen und auf das Überschreiten vorbestimmter Grenzwerte überwacht werden.

Es sei ferner angemerkt, dass in der Regel der Antrieb immer über einen motorischen Antrieb mit Drehmoment erfolgt. Im Falle eines linearen Antriebs wäre anstelle des Drehmoments die linear wirkende Kraft zu berücksichtigen.

Bei den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen sind der Steuerungsrechner 10 und der Überwachungsrechner 19 getrennte physikalische Einheiten. Dies bietet den Vorteil, dass bestehende Werkzeugmaschinen 1 mit dem Überwachungsrechner 19 nachgerüstet werden können. Es ist jedoch auch möglich, den Steuerungsrechner 10 und den Überwachungsrechner 19 in einer physikalischen Recheneinheit, beispielsweise in einer als Rechner ausgebildeten Anzeigeeinheit, zu vereinen.

Das hier beschriebene Verfahren kann auch in einem Computerprogrammprodukt implementiert sein, das beispielsweise auf dem Steuerungsrechner 10 installiert und dort ausgeführt wird. Wenn dann ein Prozessor den Code des Computerprogrammprodukts abarbeitet, wird das hier beschriebene Überwachungsverfahren ausgeführt. In einem Ausführungsbeispiel kann der Code auf einem von einem Computer auslesbaren Datenträger gespeichert sein, wie beispielsweise einer Diskette, einer Compact Disc (CD) oder einer Digital Versatile Disc (DVD) oder Ähnlichem. In anderen Ausführungsbeispielen kann das Computerprogrammprodukt ferner auch Code umfassen, der auf einem Datenspeicher eines Servers oder einer Gruppe von Servern gespeichert ist. In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann der Träger auch ein elektrisches Trägersignal sein, das dazu verwendet wird, den Code von einem Server durch Herunterladen auf einen Computer zu übertragen.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass Merkmale und Eigenschaften, die im Zusammenhang mit einem bestimmten Ausführungsbeispiel beschrieben worden sind, auch mit einem anderen Ausführungsbeispiel kombiniert werden können, außer wenn dies aus Gründen der Kompatibilität ausgeschlossen ist.

Schließlich wird noch darauf hingewiesen, dass in den Ansprüchen und in der Beschreibung der Singular den Plural einschließt, außer wenn sich aus dem Zusammenhang etwas anderes ergibt. Insbesondere wenn der unbestimmte Artikel verwendet wird, ist sowohl der Singular als auch der Plural gemeint.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung einer Werkzeugmaschine (1), bei der die Bewegung eines Werkzeugs (3) numerisch mit Hilfe eines Steuerungsrechners (10) gesteuert wird, mit den Verfahrensschritten:
- eine Referenzmesskurve (38) einer Überwachungsmessgröße, die im Zusammenhang mit der Bewegung des Werkzeugs (3) steht, wird während einer durch eine Referenzsollwertkurve (37) gesteuerten Referenzbewegung des Werkzeugs (3) aufgenommen,
  - eine Bearbeitungsmesskurve (32) der Überwachungsmessgröße wird während einer von einer Bearbeitungssollwertkurve (22) gesteuerten Bearbeitungsbewegung des Werkzeugs (3) aufgenommen, wobei mit der Bearbeitungsbewegung ein Werkstück (2) durch das Werkzeug (3) bearbeitet wird,
  - die Referenzmesskurve (38) und die Bearbeitungsmesskurve (32) werden auf der Grundlage der Referenzsollwertkurve (37) und der Bearbeitungssollwertkurve (22) in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht und
  - eine Differenzkurve (39) von Referenzmesskurve (38) und Bearbeitungsmesskurve (32) wird gebildet und die Differenzkurve (39) wird auf das Überschreiten vorbestimmter Grenzwerte (40, 41) überwacht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Differenzkurve (39) in Funktionsabschnitte unterteilt wird, in denen unterschiedliche Funktionsbereiche des Werkzeugs (3) zum Einsatz kommen, und bei dem für verschiedene Funktionsabschnitte unterschiedliche Grenzwerte (40, 41) festgelegt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Referenzmesskurve (38) und die Bearbeitungsmesskurve (32) in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht werden, indem die zugeordnete Referenzsollwertkurve (37) und die Bearbeitungssollwertkurve (22) einer Anpassung unterzogen werden, bei der der relative zeitliche Abstand von Referenz-

sollwertkurve (37) und Bearbeitungssollwertkurve (22) als zu bestimmender freier Parameter verwendet wird und eine die Abweichung zwischen Referenzsollwertkurve (37) und Bearbeitungssollwertkurve (22) beschreibende Fehlernorm minimiert wird.

5

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem als Fehlernorm die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen Referenzsollwertkurve (37) und Bearbeitungssollwertkurve (22) verwendet wird.

10

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, bei dem vor der Anpassung in der Referenzsollwertkurve (37) und der Bearbeitungssollwertkurve (22) sich entsprechende Abschnitte der Referenzsollwertkurve (37) und der Bearbeitungssollwertkurve (22) bestimmt werden und wenigstens ein zwischen den Abschnitten liegender Übergangabschnitt (42) in der Referenzsollwertkurve (37) sowie in der zugeordneten Referenzmesskurve (38) und/oder wenigstens ein Übergangabschnitt (42) in der Bearbeitungssollwertkurve (22) sowie in der zugeordneten Bearbeitungsmesskurve (32) entfernt wird.

15

20

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Referenzbewegung ohne Kontakt mit dem Werkstück (2) ausgeführt wird.

25

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Referenzbewegung in Kontakt mit dem Werkstück, aber ohne Materialabtrag ausgeführt wird.

30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Referenzbewegung mit einem neuen Werkzeug (3) an einem Werkstück (2) ausgeführt wird.

35

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Referenzbewegung nach dem Ausführen einer Vielzahl von Bearbeitungsbewegungen wiederholt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
bei dem die Referenzbewegung und die Bearbeitungsbewegung  
eine Rotationsbewegung und/oder eine Translationsbewegung des  
5 Werkzeugs (3) umfassen.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
bei dem die Überwachungsmessgröße ein Drehmoment oder eine  
Translationskraft ist.
- 10
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
bei dem der Sollwert der Bearbeitungssollwertkurve (22) und  
der Referenzsollwertkurve (37) jeweils die Lage des Werkzeugs  
(3) entlang einer vorgegebenen Bahn des Werkzeugs (3) ist,  
15 entlang der das Werkzeug (3) während der Bearbeitungsbewegung  
und der Referenzbewegung bewegt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
bei dem von der Werkzeugmaschine (1) eine von einem An-  
20 triebsmotor (9) erzeugte Drehbewegung in eine Translationsbe-  
wegung des Werkzeugs (3) gewandelt wird und als Überwachungs-  
größe ein Drehmoment des Antriebsmotors (9) verwendet wird  
und die Differenzkurve (39) zur Überwachung der in Translati-  
onsrichtung auf das Werkzeug (3) wirkenden Kräfte verwendet  
25 wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
bei dem die Werte der Differenzkurve (39) von Drehmomentwer-  
ten in Kraftwerte umgerechnet werden und die Überwachung  
30 anhand der Kraftwerte durchgeführt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
bei dem bei Überschreiten der voreingestellten Grenzwerte  
(40, 41) ein für einen Benutzer erkennbarer Alarm ausgelöst  
35 wird und/oder die Bewegung des Werkzeugs (3) beeinflusst  
wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei dem das Werkzeug (3) zum Bohren, Gewindeschneiden, Fräsen, Drehen oder Schleifen ausgebildet ist.

- 5 17. Überwachungsvorrichtung zur Überwachung einer Werkzeugmaschine (1), deren auf ein Werkzeug (3) einwirkender Antrieb (9) mithilfe eines Sensors (16) und eines Steuerungsrechners (10) numerisch gesteuert ist, wobei die Überwachungsvorrichtung dazu eingerichtet ist,
- 10 - eine Überwachungsmessgröße zu erfassen und  
- Sollwerte, die vom Steuerungsrechner (10) erzeugt worden sind und mit denen die Bewegung des Werkzeugs (3) gesteuert ist, zu erfassen, und  
- anhand der erfassten Überwachungsmessgröße und Sollwerte  
15 ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16 auszuführen.

18. Werkzeugmaschine mit einem Werkzeug (3) zur Bearbeitung eines Werkstücks (2), deren auf das Werkzeug (3) einwirkender Antrieb (9) mithilfe eines Sensors (16) und eines Steuerungsrechners (10) numerisch gesteuert ist, wobei der Steuerungsrechner (10) der Werkzeugmaschine dazu eingerichtet ist,
- 20 - eine Überwachungsmessgröße zu erfassen und  
- Sollwerte, die vom Steuerungsrechner (10) erzeugt worden sind und mit denen die Bewegung des Werkzeugs (3) gesteuert  
25 ist, zu erfassen, und  
- anhand der erfassten Überwachungsmessgröße und Sollwerte ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16 auszuführen.

19. Computerprogrammprodukt zur Überwachung einer Werkzeugmaschine (1), das Befehle enthält, die bei Ausführung auf einem Rechner (19) diesen veranlassen ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16 auszuführen.
- 30

FIG 1

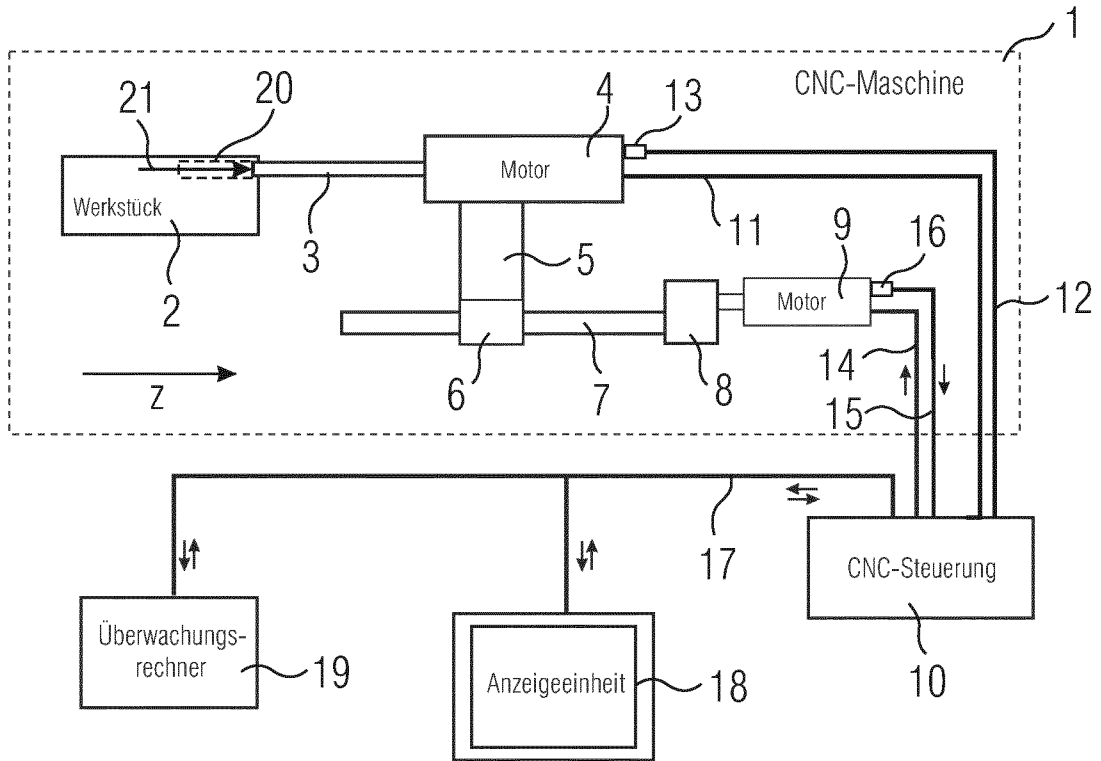


FIG 2

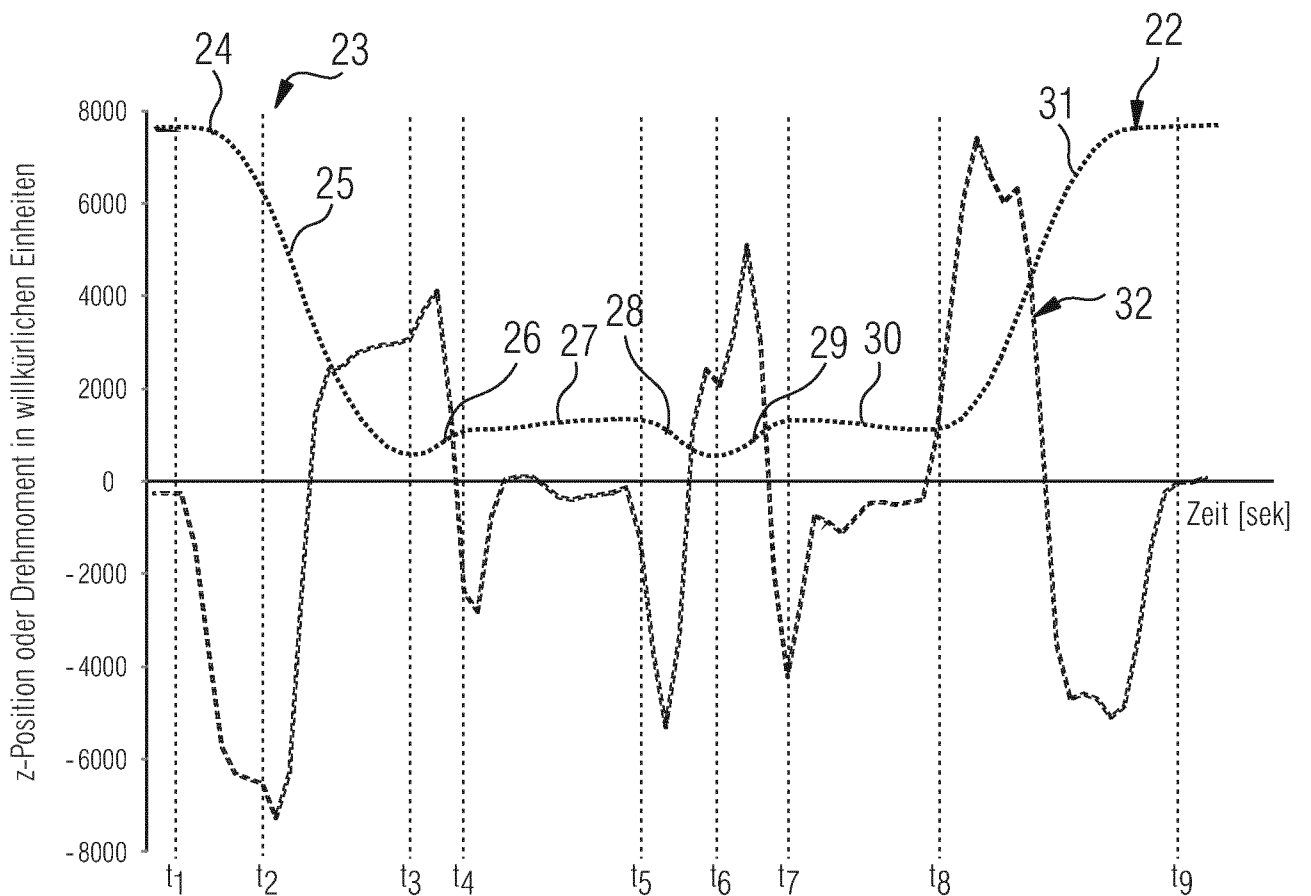


FIG 3

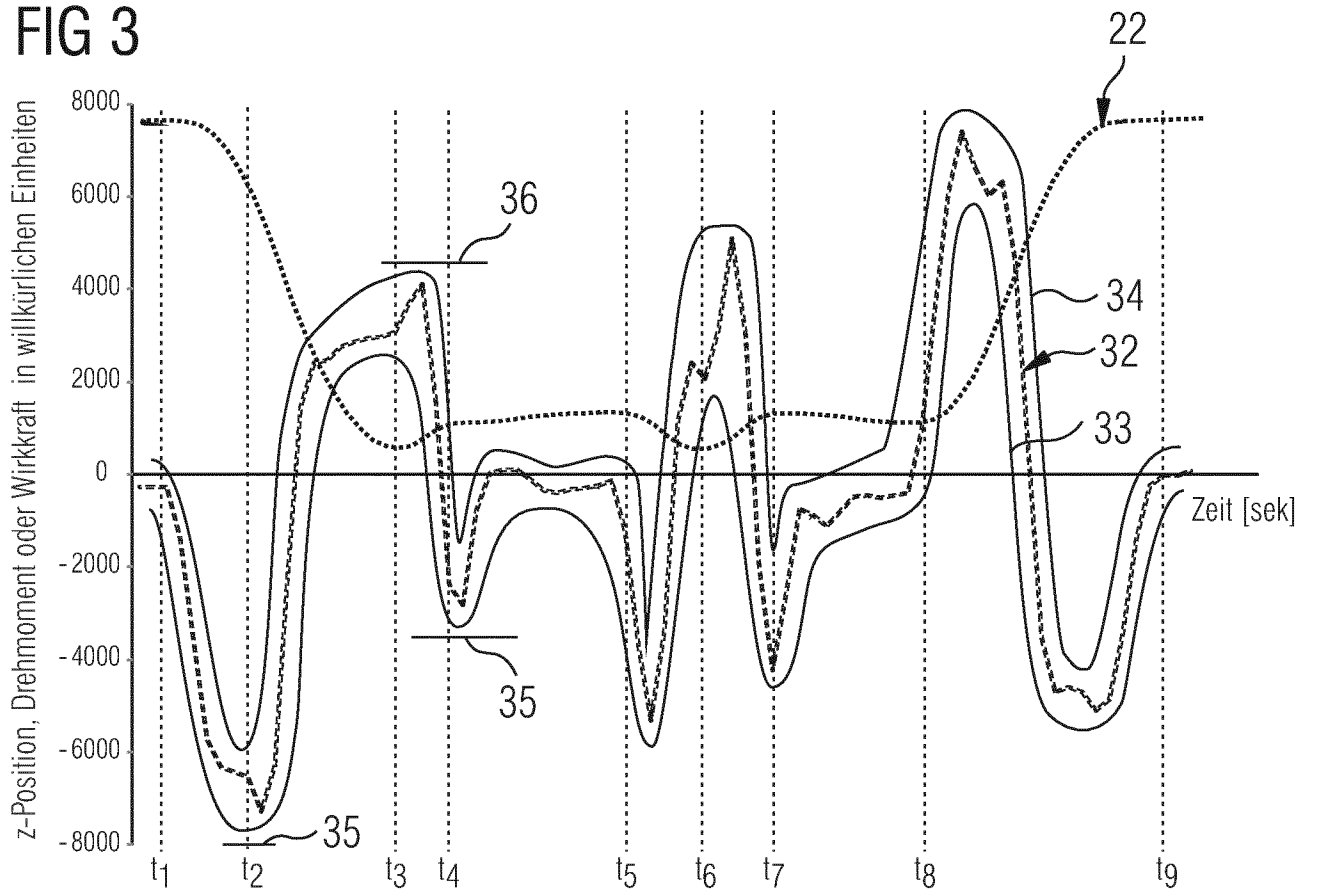


FIG 4

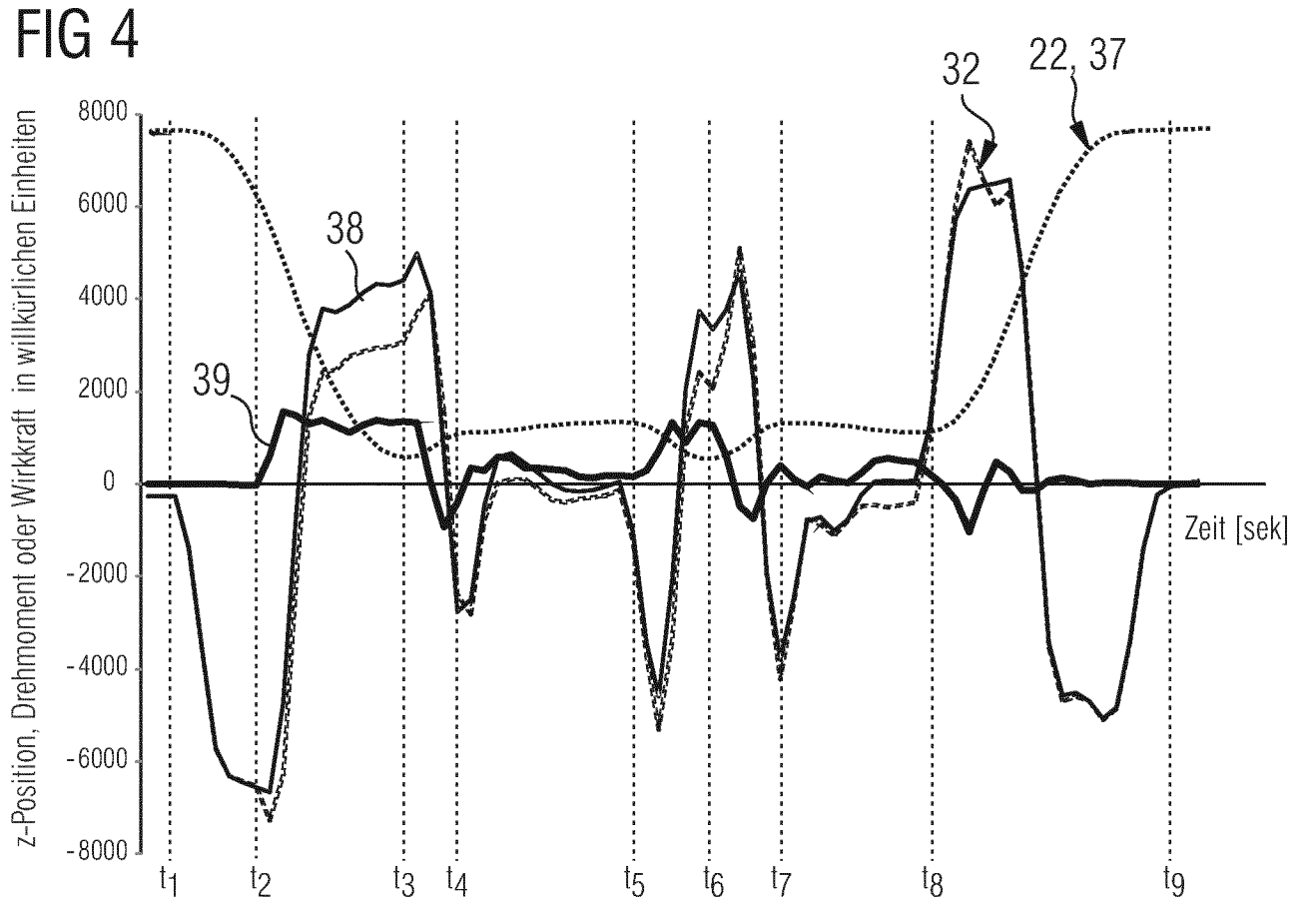


FIG 5

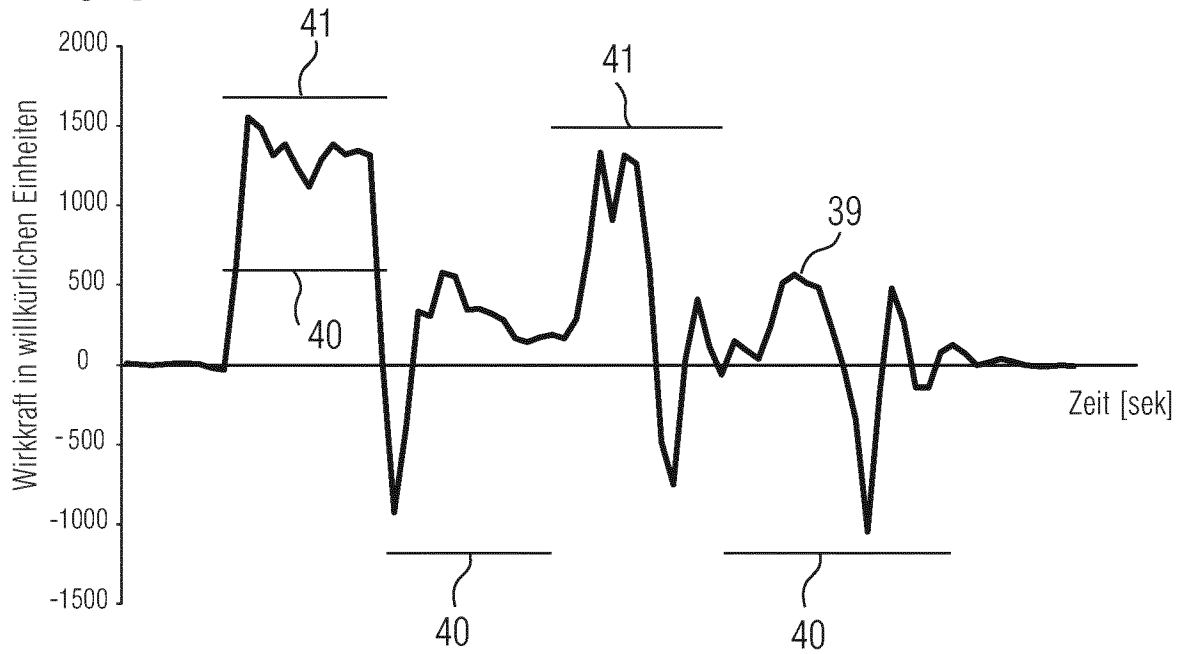


FIG 6

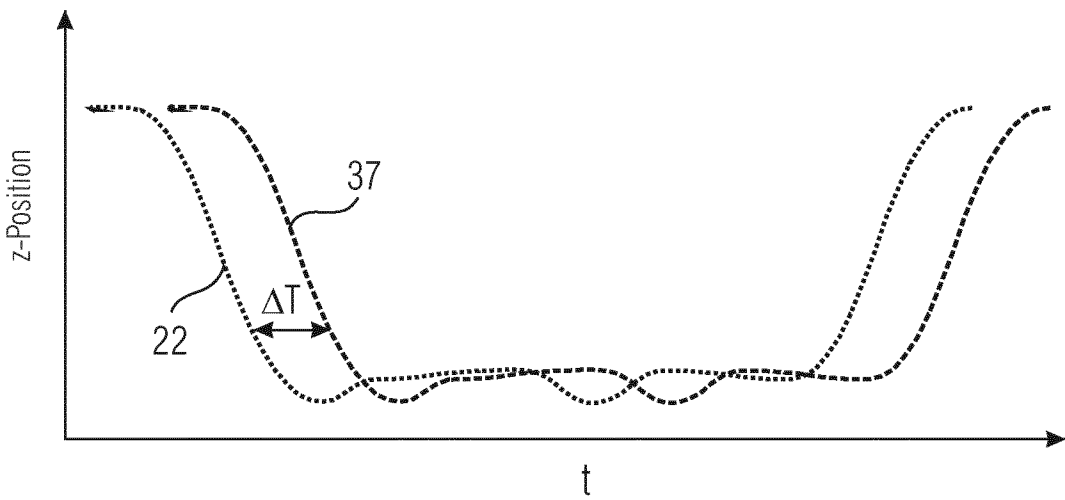


FIG 7

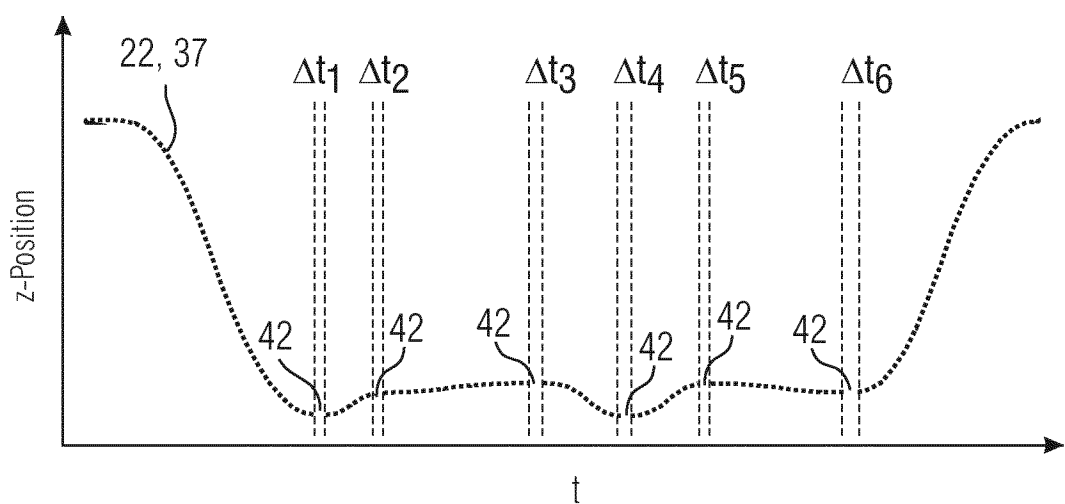


FIG 8

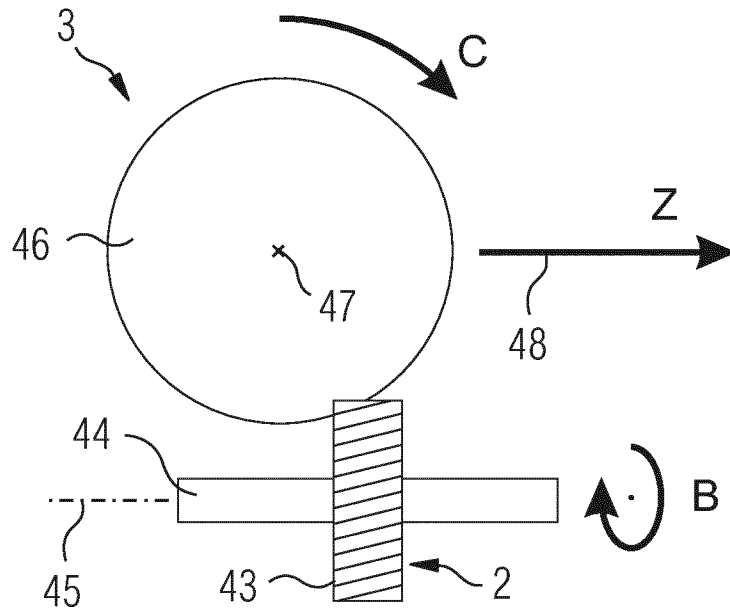


FIG 9

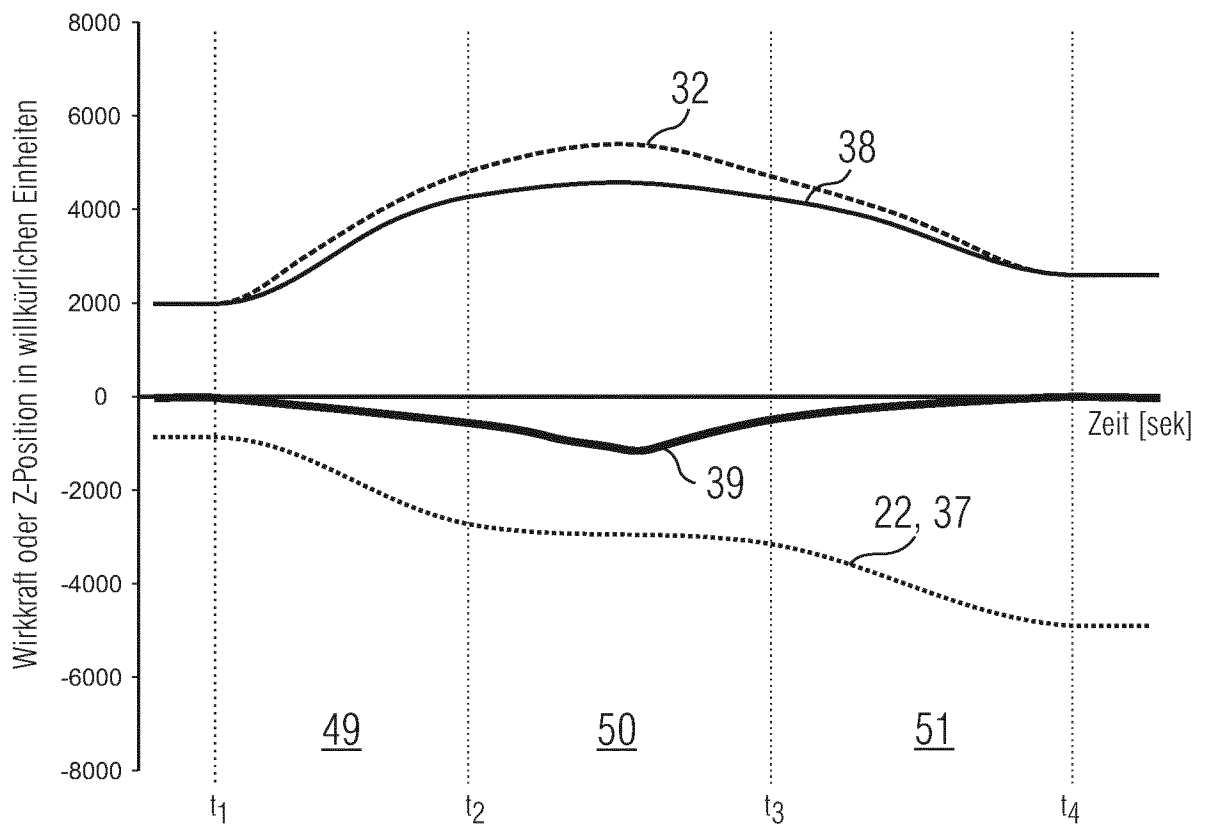


FIG 10

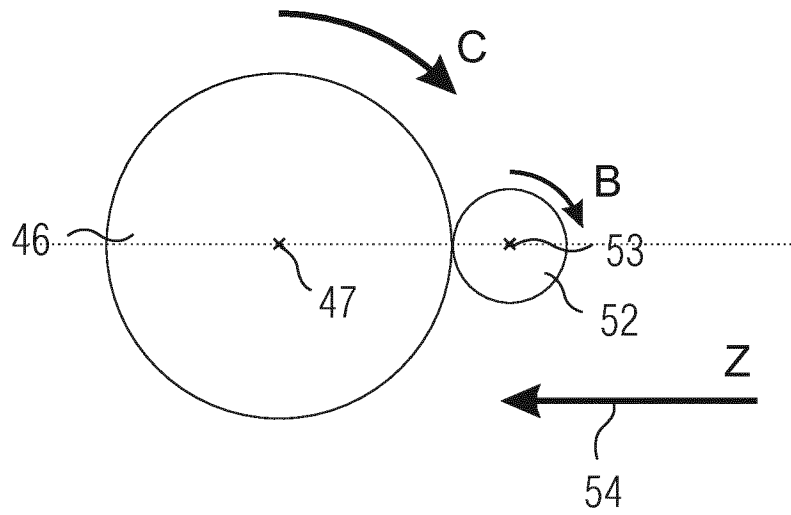


FIG 11

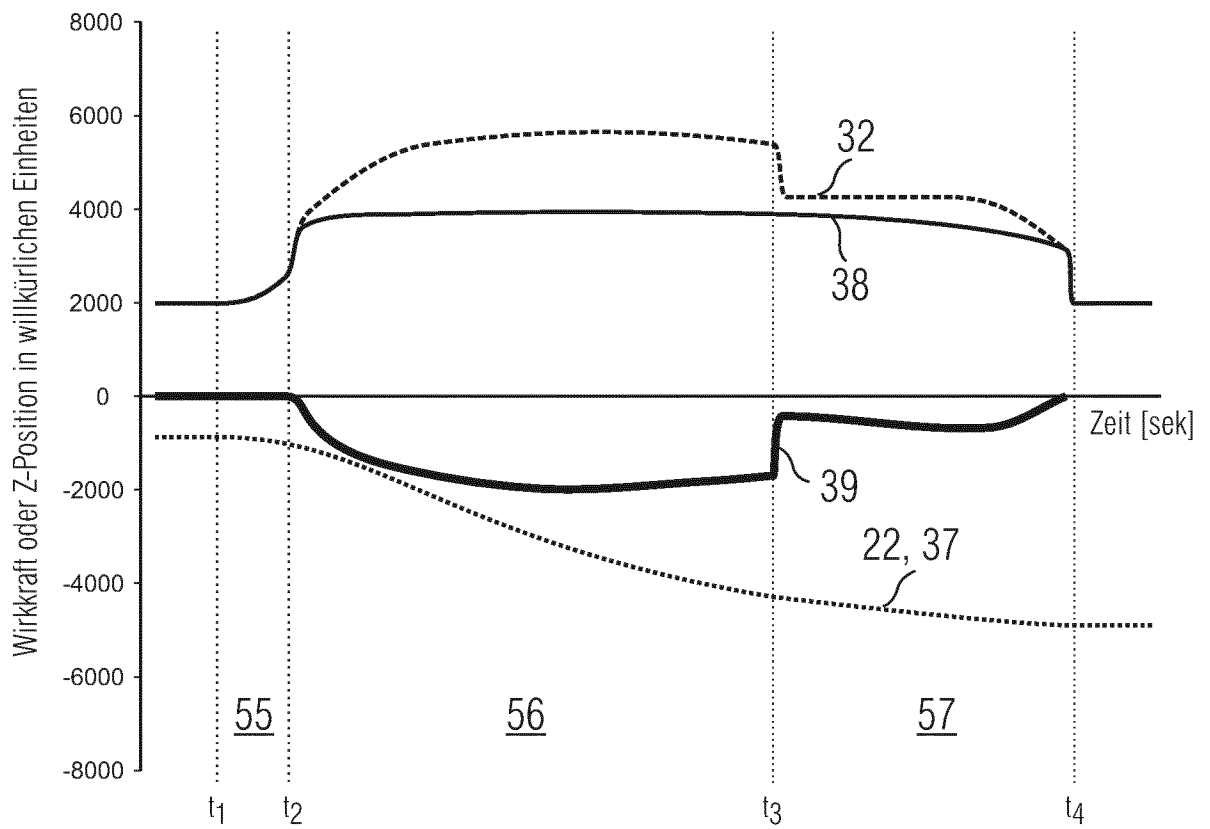


FIG 12

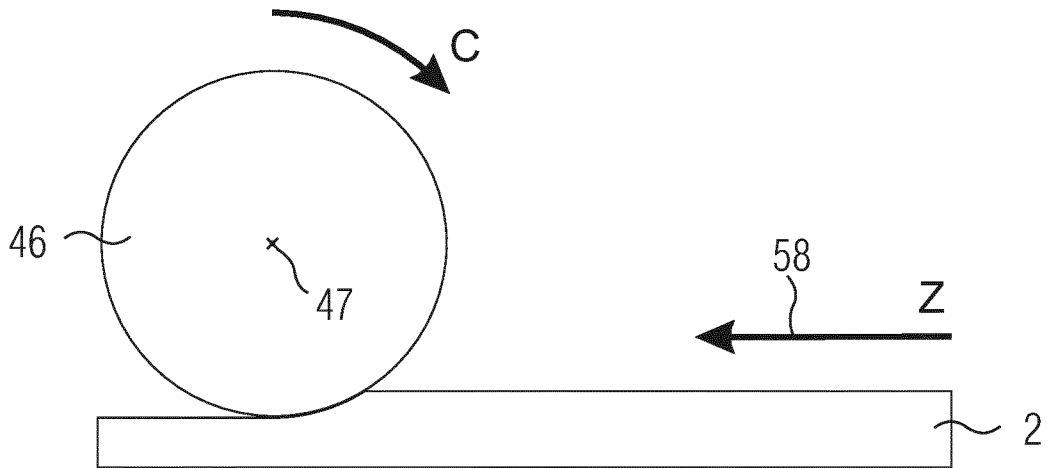
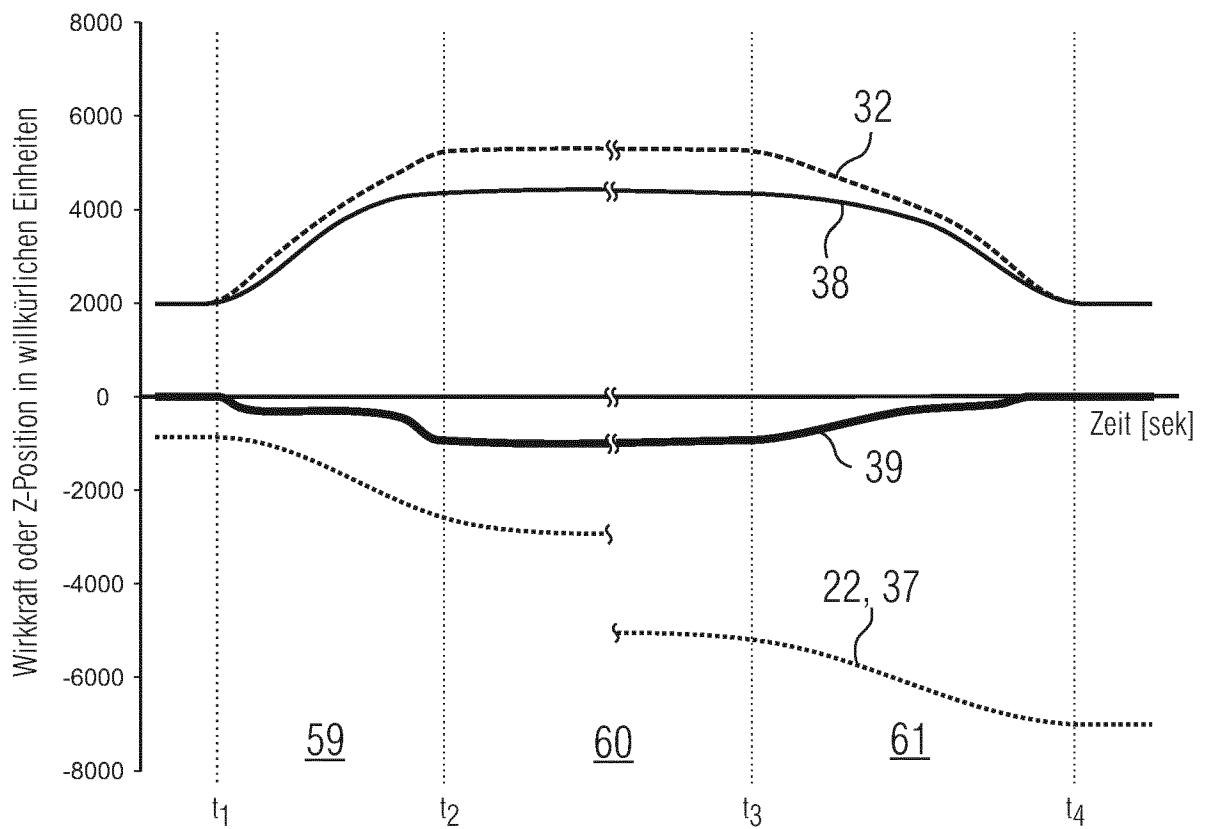


FIG 13



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/070124**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G05B 19/4065</i> (2006.01)i; <i>G05B 19/4062</i> (2006.01)i; <i>B23Q 17/09</i> (2006.01)i		
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) G05B; B23Q		
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, INSPEC, 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 10029965 A1 (KLUFT WERNER [DE]) 03 January 2002 (2002-01-03) the whole document	1-19
X	EP 0597310 A1 (HELLER GEB GMBH MASCHF [DE]) 18 May 1994 (1994-05-18) column 3, line 37 - column 4, line 43	1-19
X	US 2018126509 A1 (PEREIRA SEBASTIEN [PT]) 10 May 2018 (2018-05-10) abstract figures 11A-11E tables 1-9 paragraph [0066] - paragraph [0078]	1-19
X	US 5631851 A (TANAKA KUNIO [JP] ET AL) 20 May 1997 (1997-05-20) the whole document	1-19
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "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>23 October 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>30 October 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>Kielhöfer, Patrick</b>  Telephone No.

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

International application No. <b>PCT/EP2019/070124</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE 10029965 A1	03 January 2002	NONE	
EP 0597310 A1	18 May 1994	DE 4238338 A1 EP 0597310 A1	19 May 1994 18 May 1994
US 2018126509 A1	10 May 2018	EP 3318940 A1 FR 3058342 A1 US 2018126509 A1	09 May 2018 11 May 2018 10 May 2018
US 5631851 A	20 May 1997	JP H07132440 A US 5631851 A	23 May 1995 20 May 1997

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. G05B19/4065 G05B19/4062 B23Q17/09  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 G05B B23Q

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, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 100 29 965 A1 (KLUFT WERNER [DE]) 3. Januar 2002 (2002-01-03) das ganze Dokument -----	1-19
X	EP 0 597 310 A1 (HELLER GEB GMBH MASCHF [DE]) 18. Mai 1994 (1994-05-18) Spalte 3, Zeile 37 - Spalte 4, Zeile 43 -----	1-19
X	US 2018/126509 A1 (PEREIRA SEBASTIEN [PT]) 10. Mai 2018 (2018-05-10) Zusammenfassung Abbildungen 11A-11E Tabellen 1-9 Absatz [0066] - Absatz [0078] -----	1-19
X	US 5 631 851 A (TANAKA KUNIO [JP] ET AL) 20. Mai 1997 (1997-05-20) das ganze Dokument -----	1-19



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

23. Oktober 2019

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

30/10/2019

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

Kielhöfer, Patrick

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/070124

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10029965	A1	03-01-2002 KEINE	
EP 0597310	A1	DE 4238338 A1	19-05-1994
		EP 0597310 A1	18-05-1994
US 2018126509	A1	EP 3318940 A1	09-05-2018
		FR 3058342 A1	11-05-2018
		US 2018126509 A1	10-05-2018
US 5631851	A	JP H07132440 A	23-05-1995
		US 5631851 A	20-05-1997