



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**06.10.2021 Patentblatt 2021/40**

(51) Int Cl.:  
**G05B 19/409 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **20167182.3**

(22) Anmeldetag: **31.03.2020**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

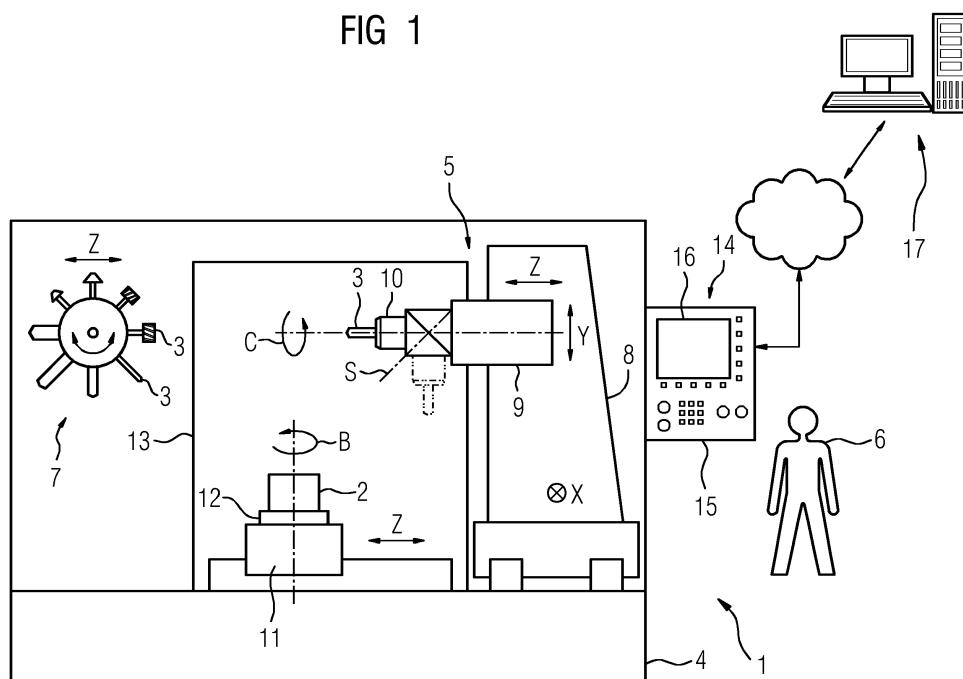
(72) Erfinder:  
• **Dewald, Mario**  
**47279 Duisburg (DE)**  
• **Ebben, Alexander**  
**45356 Essen (DE)**  
• **Wullenkord, Timo**  
**47057 Duisburg (DE)**

(54) **OPTIMIERUNG VON ZERSpanungsvorgängen auf Werkzeugmaschinen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Werkzeugmaschinen-Systems (1), umfassend eine Werkzeugmaschine (5) zur Bearbeitung wenigstens eines Werkstücks (2) mittels wenigstens eines Werkzeugs (3) und eine mit der Werkzeugmaschine (5) verbundene Steuervorrichtung (14) zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück (2) und dem Werkzeug (3) anhand eines von der Steuervorrichtung (14) abarbeitbaren Programms, wobei die Steuervorrichtung (14) eine Bedieneinrichtung (15) mit einer Anzeigevorrichtung (16) zur Interaktion eines Bedieners (6) mit der

Steuervorrichtung (14) umfasst. Mittels der Bedieneinrichtung (15) ist wenigstens ein Technologieparameter durch den Bediener (6) manuell veränderbar. Dem Bediener (6) ist in der Regel nicht bewusst, wie sich eine manuelle Veränderung eines Technologieparameters auf die Produktivität auswirkt. Die Erfindung sieht daher vor, dass ein Maß für eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße bestimmt und dem Bediener (6) direkt und/oder in Relation zu einem diesbezüglichen Relativmaß an der Anzeigevorrichtung (16) angezeigt wird.

**FIG 1**



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Werkzeugmaschinen-Systems, umfassend eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung wenigstens eines Werkstücks mittels wenigstens eines Werkzeugs und eine mit der Werkzeugmaschine verbundene Steuervorrichtung zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug anhand eines von der Steuervorrichtung abarbeitbaren Programms.

**[0002]** Bei der Bearbeitung eines Werkstücks, z.B. im Werkzeug- und Formenbau, werden in aller Regel Bahnprogramme (auf CNC-Basis) zur Steuerung der jeweiligen Maschine, insbesondere Fräsmaschine, verwendet. Bahnprogramme (häufig auch als "Teileprogramme", "CNC-Programme", "Steuerprogramme" oder nur "Programme" bezeichnet) werden heutzutage hauptsächlich durch CAD/CAM/PP-Systeme generiert. Dabei wird der herzustellende Körper bzw. Gegenstand zunächst mit einem CAD-Programm (Computer Aided Design) entworfen und anschließend durch ein CAM-Programm (Computer Aided Manufacturing) in einen maschinenunabhängigen Code, der den Bearbeitungsablauf beschreibt, übersetzt. Ein Post-Prozessor (PP) übersetzt den maschinenunabhängigen Code in einen maschinenabhängigen Code, das sog. Bahnprogramm auf CNC-Basis, das zur Ansteuerung einer konkreten Maschine genutzt werden kann. Die Bearbeitung wird dabei in unterschiedliche Schritte unterteilt, z.B. in Schruppen, Vorschlichten und Schlichten.

**[0003]** Das in der oben beschriebenen Weise in dem CAD/CAM/PP-System entstandene Bahnprogramm wird dann auf die zur Bearbeitung des Werkstücks vorgesehene CNC-Steuerung der betreffenden Maschine aufgespielt und anschließend durch einen Maschinenbediener auf der Maschine mittels der CNC-Steuerung ausgeführt.

**[0004]** Das Bahnprogramm, welches in einer CNC-Programmiersprache (z.B. G-Code) erstellt worden sein kann, wird dabei vorab erstellt und zum Zeitpunkt der Abarbeitung durch die CNC-Steuerung nicht mehr modifiziert. Im Bahnprogramm vorab festgelegt sind dabei insbesondere die Bearbeitungstechnologie, die zu verwendenden Werkzeuge, die Technologieparameter (Spindeldrehzahl, Vorschubgeschwindigkeit, Schnittgeschwindigkeit etc.), die Maschinenfunktionen, die von dem jeweiligen Werkzeug abzufahrende Bahnkurve und die jeweilige Werkzeug-Orientierung. Die im Bahnprogramm festgelegten Werte werden von der CNC-Steuerung in aller Regel nicht hinterfragt.

**[0005]** Dem Bediener an der Maschine steht es jedoch in der Regel frei, durch die Betätigung entsprechender Bedienelemente an einer Bedienoberfläche der CNC-Steuerung bestimmte, durch das CNC-Programm vorgegebene Parameter der Bearbeitung zu ändern. Derartige vom Maschinenbediener beeinflussbare Technologieparameter sind insbesondere die Schnittgeschwindigkeit, die Vorschubgeschwindigkeit, die Eingriffstiefe oder die Eingriffsbreite des Werkzeugs.

**[0006]** Dem Bediener an der Maschine ist dabei in der Regel zum Zeitpunkt seines manuellen Eingriffs in die Bearbeitung nicht klar, wie sich die konkret vorgenommenen Parameteränderungen auf die Produktivität (das Verhältnis zwischen dem durch die Bearbeitung geschaffenen Mehrwert und den dafür aufgewendeten Ressourcen) auswirken.

**[0007]** Aus der Druckschrift DE 10 2006 006 273 A1 ist ein System zur Ermittlung des Verschleißzustandes einer Werkzeugmaschine bekannt. Dieses weist eine Werkzeugmaschine mit einer Steuerung, einen Produktionssteuerungsrechner, eine Werkzeugdatenbank und einen mit der Steuerung der Werkzeugmaschine, dem Produktionssteuerungsrechner und der Werkzeugdatenbank jeweils über eine Datenverbindung verbundenen Simulationsrechner auf. Dieser ist dazu vorgesehen, unter Berücksichtigung realer Maschinen-, Fertigungs- und Werkzeugdaten der Werkzeugmaschine durch einen Simulationsvorgang den Verschleißzustand der Werkzeugmaschine beschreibende Daten zu ermitteln und über eine Datenverbindung einer Anzeigeeinheit oder einem weiteren Prozess zuzuführen.

**[0008]** Bei der Zerspanung werden nach dem Stand der Technik Optimierungen, die auf Werkzeugtechnologien beruhen, nur sequenziell durchgeführt. Das heißt, die Optimierung findet immer in Abhängigkeit von verfügbaren internen und externen Experten statt und ist daher planungs- und personaltechnisch aufwendig.

**[0009]** Noch dazu ist die tatsächliche Einführung und Implementierung neu aufgesetzter Prozesse oder Technologien extrem von der Disziplin der Mitarbeiter abhängig und von daher bei den entwickelnden Abteilungen (Fertigungstechnologie/ Industrial Engineering) mit enormem Aufwand zur Nachsorge verbunden.

**[0010]** Die Herausforderung dieses Sachverhaltes gründet auf der Tatsache, dass den im operativen Bereich tätigen Personen keinerlei Kenngrößen für die Wirksamkeit ihres eigenen Verhaltens gespiegelt werden.

**[0011]** Ein Zerspanungsprozess ist von einer Vielzahl von Sachverhalten abhängig. Insbesondere sind die Kosten eines konkreten Prozesses stark abhängig von der Reibpaarung (Schneidstoff/Werkstoff) und dem dadurch zu Tage tretenden Verschleißverhalten der Werkzeuge. Hierzu sind derzeit keine Produktivitätskenngrößen bekannt, die eine vergleichende Bewertung zulassen würden. Nur das sogenannte Zeitspanvolumen wird immer wieder zur Beurteilung der Produktivität herangezogen.

**[0012]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, dem Maschinenbediener eine Rückmeldung zu geben, wie sich die von ihm an der Maschine vorgenommenen manuellen Änderungen von Bearbeitungsparametern auf die Produktivität auswirken.

**[0013]** Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zum Betrieb eines Werkzeugmaschinen-Systems, umfassend eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung wenigstens eines Werkstücks mittels wenigstens eines Werkzeugs und eine mit der Werkzeugmaschine verbundene Steuervorrichtung zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück

und dem Werkzeug anhand eines von der Steuervorrichtung abarbeitbaren Programms, wobei die Steuervorrichtung eine Bedieneinrichtung mit einer Anzeigevorrichtung zur Interaktion eines Bedieners mit der Steuervorrichtung umfasst, dadurch gelöst, dass mittels der Bedieneinrichtung wenigstens ein Technologieparameter durch den Bediener manuell verändert wird und infolge dessen ein Maß für eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße bestimmt und direkt und/oder in Relation zu einem diesbezüglichen Relativmaß an der Anzeigevorrichtung angezeigt wird.

**[0014]** Ferner wird diese Aufgabe durch ein entsprechendes Werkzeugmaschinensystem bzw. eine entsprechende Steuervorrichtung zur Ausführung eines derartigen Verfahrens gelöst.

**[0015]** Das Werkzeugmaschinensystem zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst wenigstens eine Werkzeugmaschine zur Bearbeitung wenigstens eines Werkstücks mittels wenigstens eines Werkzeugs. Bei der Bearbeitung handelt es sich vorzugsweise um eine spanabhebende bzw. spanende Bearbeitung, wie z.B. eine Fräs-Bearbeitung. Die Erfindung ist jedoch nicht auf letztere beschränkt, so dass auch oberflächenbehandelnde Bearbeitungen (Schleifen, Polieren etc.) oder auch additive Fertigungsverfahren (z.B. 3D-Druck) davon umfasst sind. Ebenso ist der Begriff "Werkzeugmaschine" im Zusammenhang mit der Erfindung breit zu interpretieren, so dass darunter auch additive Fertigungsmaschinen oder in der Fertigung verwendete Roboter zu verstehen sind. Die Bearbeitung selbst kann ein einzelnes Werkstück betreffen. Sie kann aber auch eine Vielzahl an Werkstücken, insbesondere ein Los an Werkstücken, also eine Serie an Werkstücken, die in gleicher Weise bearbeitet werden, betreffen.

**[0016]** Mit der Werkzeugmaschine verbunden ist eine Steuervorrichtung, insbesondere eine CNC-Steuerung, die ein Programm, auch als Teileprogramm, Bahnprogramm, Steuerprogramm etc. bezeichnet, abarbeitet. Durch das Programm sind insbesondere die durch das Werkzeug relativ zu dem Werkstück ausgeführten Bewegungsbahnen bestimmt.

**[0017]** Die Steuervorrichtung umfasst ihrerseits eine Bedieneinrichtung mit einer Anzeigevorrichtung zur Interaktion eines Bedieners mit der Steuervorrichtung und insbesondere zur manuellen Einstellung bzw. Veränderung von Parametern der Bearbeitung. Insbesondere lassen sich durch manuelle Interaktion Technologieparameter wie Spindeldrehzahl, Vorschubgeschwindigkeit, Schnittgeschwindigkeit, Eingriffstiefe oder Eingriffsbreite gegenüber den diesbezüglichen Vorgaben verändern. Insbesondere kann in sehr einfacher Weise durch Drehen an dem bei CNC-Steuerungen üblichen Override-Regler direkt die Vorschubgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen 0 und 120% vom vorgegebenen Wert variiert werden.

**[0018]** Die Technologieparameter werden üblicherweise durch das Steuerprogramm festgelegt. Sie sind abhängig von der Auszuführenden Bearbeitung und der dafür vorgesehenen, konkreten Werkzeugmaschine. Sie können jedoch zumindest zum Teil auch durch die jeweilige Werkzeugmaschine vorgegeben und in der Steuerung hinterlegt sein. Insbesondere für die Spindeldrehzahl ist dies häufig der Fall.

**[0019]** Die Erfindung sieht vor, dass infolge wenigstens einer manuellen Veränderung eines Technologieparameters durch den Bediener ein Maß für eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße, insbesondere ein Maß für eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung einer für die Bearbeitung erforderlichen Bearbeitungszeit und/oder ein Maß für eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung von durch die Bearbeitung verursachten Bearbeitungskosten bestimmt und jeweils direkt und/oder in Relation zu einem diesbezüglichen Relativmaß an der Anzeigevorrichtung angezeigt wird. Die Erfindung sieht insbesondere vor, dass zur Bestimmung der Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße, insbesondere der Bearbeitungszeit, nicht nur die reine Zerspanzeit bzw. Hauptnutzungszeit erfasst wird, bei der sich insbesondere das Werkzeug in Kontakt mit dem Werkstück befindet, sondern auch die sog. Nebenzeiten, die z.B. für einen Werkzeugwechsel anfallen. Die Bearbeitungszeit ist somit die Summe aus Hauptnutzungszeit und Nebenzeiten.

**[0020]** Vorteilhaft wird die Änderung der Bearbeitungszeit in Stunden, Minuten und Sekunden angegeben. Es sind jedoch auch andere Darstellungsformen denkbar, z.B. in Form von Balken einer zu der Änderung korrespondierenden Länge bzw. Höhe. Auch eine Angabe in % in Bezug zu einem Relativmaß ist möglich.

**[0021]** Analog zu der Bearbeitungszeit kann dem Bediener als Maß für eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße auch ein Maß bzgl. einer Änderung der Bearbeitungskosten angezeigt werden. Auch diese können absolut, z.B. in Form eines Betrages in einer bestimmten Währung, oder relativ zu einem Relativmaß angezeigt werden. Auch eine Angabe, wie sich die Parameteränderung auf die Stückkosten auswirkt, ist eine mögliche Variante der Erfindung.

**[0022]** Das Relativmaß kann aus einem Optimum der Auszuführenden Bearbeitung hervorgehen, es kann sich aber auch auf die bei der vorausgehenden Bearbeitung erreichten Werte, auf Durchschnittswerte etc. beziehen. Bei dem Optimum wiederum kann es sich um theoretisches Optimum handeln, dass beispielsweise in einer Simulation ermittelt wurde, oder um ein bei einer vergleichbaren, realen Bearbeitung ermitteltes Optimum.

**[0023]** Die Ermittlung der Änderung der Bearbeitungszeit erfolgt vorzugsweise auf Basis der Standzeit des Werkzeugs, der Reibpaarung und der für einen Werkzeugwechsel jeweils benötigten Zeit. Die Standzeit des Werkzeugs, also die Zeitdauer, in der sich das Werkzeug zur Bearbeitung des Werkstücks in Kontakt (Eingriff) mit dem Werkstück befindet, ist ihrerseits in der Regel abhängig von der Vorschubgeschwindigkeit, der Spindeldrehzahl und der Reibpaarung. Die Reibpaarung gibt an, welcher Schneidstoff - also das Material der Schneiden des Werkzeugs - auf welchen Werkstoff

- also das Material an der jeweils zu bearbeitenden Stelle des Werkstücks - trifft.

**[0024]** Die Ermittlung der Änderung der Bearbeitungskosten erfolgt vorzugsweise auf Basis der Kosten für die Maschinenzeit ("Maschinenstundensatz") sowie der Werkzeugkosten.

**[0025]** Die Erfindung bietet den Vorteil, dass der Bediener an der Maschine, der durch manuelle Interaktion mittels der Bedieneinrichtung wenigstens einen Technologieparameter verändert, sofort eine Rückmeldung hinsichtlich der Auswirkungen seines Handelns in Bezug auf eine produktionswirtschaftliche Kenngröße, insbesondere die Bearbeitungszeit und/oder die Bearbeitungskosten, erhält. Der Bediener bekommt dadurch sofort eine Rückmeldung bezüglich der Auswirkungen seines Handelns. Insbesondere kann der Bediener so sofort erkennen, ob sich durch sein Handeln die von ihm beabsichtigte Wirkung erzielen lässt.

**[0026]** Setzt der Bediener beispielsweise die Vorschubgeschwindigkeit durch Betätigung des Override-Reglers von 100% auf 120%, so verbirgt sich häufig dahinter die Erwartungshaltung, dass die Bearbeitung schneller ausgeführt wird und sich dadurch die Bearbeitungszeit entsprechend verkürzt. Durch die erhöhte Vorschubgeschwindigkeit wird sich jedoch auch der Werkzeugverschleiß erhöhen bzw. die Standzeit des Werkzeugs, also die Zeit, für die das Werkzeug die vorgesehene Bearbeitung innerhalb der vorgegebenen Verschleißgrenzen ausführen kann, verringern. Eventuell werden dadurch für die auszuführende Bearbeitung mehr Werkzeuge benötigt als ursprünglich einkalkuliert. Dadurch bedingte zusätzliche Werkzeugwechsel können dazu führen, dass die Verringerung der Bearbeitungszeit wesentlich geringer ausfällt als ursprünglich gedacht, ja dass sich im ungünstigsten Fall die Bearbeitungszeit (einschließlich der Nebenzeiten) sogar erhöht. Auch wirkt sich der zusätzliche Werkzeugbedarf negativ auf die durch die Bearbeitung verursachten Bearbeitungskosten aus. Durch die Erfindung erkennt der Bediener an der Maschine sofort, dass sich mit dem von ihm durchgeführten manuellen Eingriff eventuell ein gewünschter Effekt nicht erzielen lässt. Er hat dadurch die Möglichkeit, den manuellen Eingriff zu überdenken und gegebenenfalls nicht auszuführen.

**[0027]** Die Vorteile der Erfindung zeigen sich insbesondere dann, wenn sehr arbeitsintensive Werkstücke, z.B. Impeller, gefräst oder Werkstücke mit hohen Losgrößen gefertigt werden. Bei derartigen Bearbeitungen kommt es häufig zu einem hohen Werkzeugverschleiß und dadurch bedingte häufige Werkzeugwechsel. Da in die Bearbeitungszeit auch Nebenzeiten, z.B. für Werkzeugwechsel, mit einbezogen sind, unterliegen derartige Bearbeitungen einer hohen Bearbeitungszeit. Die Änderung eines Technologieparameters an der Maschine kann somit signifikante Auswirkungen auf die Anzahl benötigter Werkzeuge haben, wodurch sich die Bearbeitungszeit - und infolgedessen die Bearbeitungskosten - in erheblichem Maße ändern können.

**[0028]** So ist es bei derart bearbeitungsintensiven Bearbeitungen für den Bediener an der Maschine besonders wichtig, sofort eine Rückmeldung darüber zu erhalten, wie sich manuelle Eingriffe in die Bearbeitung hinsichtlich produktionswirtschaftlicher Kenngrößen wie der Bearbeitungszeit oder der Bearbeitungskosten auswirken.

**[0029]** Vorteilhaft wird im Zusammenhang mit der Erfindung das Maß der Änderung der jeweiligen produktionswirtschaftlichen Kenngröße durch die Steuervorrichtung an der Maschine bestimmt.

**[0030]** Daneben ist es jedoch auch möglich, derartige Berechnungen an einer bezüglich der Steuervorrichtung externen Recheneinrichtung, beispielsweise einem Edge-Computer, einem CAM-System oder in der Cloud zu ermitteln. Diese Möglichkeiten bieten gegenüber der Berechnung auf der Steuervorrichtung den Vorteil, dass die Steuervorrichtung dadurch nicht mit zusätzlichem Rechenaufwand beaufschlagt wird.

**[0031]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die durch die manuelle Interaktion des Bedieners veränderten Technologieparameter nicht sofort in der Steuervorrichtung umgesetzt. Das heißt, die Steuervorrichtung arbeitet zunächst auf Basis der zuvor eingestellten Parameter weiter. Vorzugsweise wirkt sich die Veränderung zunächst nur in einer Simulation der Bearbeitung mit dem veränderten Parameter aus. Die Bestimmung der Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße erfolgt vorteilhaft zunächst ebenfalls lediglich auf Basis der Simulation. Der Bediener erhält dadurch die Möglichkeit, dass er zunächst die Auswirkungen der Parameter-Änderungen angezeigt bekommt, bevor diese auch tatsächlich die konkret ausgeführte, reale Bearbeitung verändern. Erst wenn sich der Bediener über die von ihm verursachten Auswirkungen in Bezug auf die konkrete Bearbeitung im Klaren ist, wird die Parameter-Änderung auch umgesetzt. Hierfür ist vorzugsweise eine erneute manuelle Interaktion des Benutzers mit der Bedieneinrichtung, z.B. ein Druck auf einen Bestätigungs-Button, erforderlich. Parameter-Änderungen, die sich in nicht beabsichtigter Weise negativ auf die Produktivität auswirken würden, können dadurch rechtzeitig verhindert werden.

**[0032]** Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind in der Steuervorrichtung bzw. der externen Recheneinrichtung eine für den Werkzeugwechsel vorgesehene Werkzeugwechselzeit, für die Beschaffung eines Werkzeugs benötigte Werkzeugkosten oder ein für den Betrieb der Werkzeugmaschine bestimmter Maschinenstundensatz hinterlegt. Vorteilhaft wird das Maß für die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße dann in Abhängigkeit der Werkzeugwechselzeit, der Werkzeugkosten oder des Maschinenstundensatzes ermittelt.

**[0033]** Durch die Erfassung der Werkzeugwechselzeit, der Werkzeugkosten und des Maschinenstundensatzes werden die Größen mit dem größten Einfluss auf die Bearbeitungszeit bzw. die Bearbeitungskosten in die Berechnung der diesbezüglichen Änderungen einbezogen. Die betreffenden Änderungen können insbesondere auf Basis dieser Größen hinlänglich genau bestimmt werden.

**[0034]** Die entsprechenden Größen lassen sich vorteilhaft durch Interaktion des Benutzers mit der Steuervorrichtung

bzw. der externen Recheneinrichtung einstellen. Dadurch ist es möglich, die entsprechenden Größen in einfacher Weise in das System einzugeben und stets aktuell zu halten.

**[0035]** Die für einen Werkzeugwechsel benötigte Werkzeugwechselzeit ist ebenfalls von einer Vielzahl von Parametern abhängig. Beispielsweise können die Größe des Werkzeugs, der Magazinplatz oder die Größe des betreffenden Werkzeug-Magazins die Werkzeugwechselzeit beeinflussen. Daher ist es besonders vorteilhaft, wenn die Werkzeugwechselzeit während des realen Betriebs der Maschine gemessen und vorzugsweise fortlaufend aktualisiert wird. Dadurch ist die Werkzeugwechselzeit stets aktuell und ein manueller Eingriff des Benutzers ist für die Aktualisierung nicht erforderlich.

**[0036]** Vorteilhaft wird die produktionswirtschaftliche Kenngröße, insbesondere die Bearbeitungszeit oder die Bearbeitungskosten, bzw. deren Änderung, in Abhängigkeit von während des Betriebs des Werkzeugmaschinen-systems erzeugten Messwerten ermittelt. Diese Messwerte betreffen insbesondere die tatsächlich bei der Bearbeitung erreichten Standzeiten der Werkzeuge oder die tatsächlich für einen Werkzeugwechsel benötigte Werkzeugwechselzeit.

**[0037]** Bei den Technologieparametern, die manuell durch den Bediener veränderbar sind und bei denen die Auswirkung der manuellen Veränderung dem Bediener erfindungsgemäß angezeigt wird, handelt es sich insbesondere um die Vorschubgeschwindigkeit sowie die Spindeldrehzahl. Erfahrungsgemäß werden diese beiden Technologieparameter am häufigsten manuell durch Benutzer an der Maschine verändert. So ist es vorteilhaft, wenn besonders bei diesen Technologieparametern dem Benutzer die Auswirkung einer Veränderung unmittelbar vor Augen geführt wird. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diese beiden Technologieparameter beschränkt, sondern kann auch andere bzw. zusätzliche Technologieparameter betreffen.

**[0038]** Wichtig im Zusammenhang mit der Erfindung ist, dass dem Bediener nicht lediglich der Absolutwert der produktionswirtschaftlichen Kenngröße wie der Bearbeitungszeit bzw. der Bearbeitungskosten angezeigt wird, da ihm daraus nicht unmittelbar die Auswirkungen seines manuellen Eingriffs ersichtlich sind. Viel wichtiger für den Benutzer ist es zu erkennen, wie sich die betreffende produktionswirtschaftliche Kenngröße durch sein Eingreifen verändert.

**[0039]** Vorteilhaft erfolgt die Angabe in Bezug zu einem Relativmaß. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Relativmaß um ein Optimum, beispielsweise der für die Bearbeitung erforderlichen Bearbeitungszeit bzw. der durch die Bearbeitung verursachten Bearbeitungskosten. Bei dem Optimum kann es sich um ein theoretisches Optimum handeln, welches beispielsweise in einer Simulation des Bearbeitungsvorgangs, insbesondere mittels eines CAM-Systems ermittelt wurde. Bei dem Optimum kann sich jedoch beispielsweise auch um einen bereits an der konkreten Maschine bei einer realen, vorherigen Bearbeitung erreichten Wert handeln. Durch die Relation zu einem Relativmaß, insbesondere einem Optimum, erkennt der Benutzer sofort, wie stark sich der manuelle Eingriff jeweils die laufende Bearbeitung auswirkt bzw. auswirken würde.

**[0040]** Die Abhängigkeit zwischen der Bearbeitungsdauer bzw. dem Zeitspanvolumen von der Vorschubgeschwindigkeit, der Eingriffstiefe sowie der Eingriffsbreite soll nachfolgend beispielhaft an der Zerspanung einer Kammer eines Impellers gezeigt werden.

**[0041]** Die Bearbeitung erfolgt mit einem konkreten Fräser eines bestimmten Herstellers, der in für die Bearbeitung erforderlicher Anzahl in einem Werkzeugmagazin der betreffenden Maschine vorhanden ist.

**[0042]** Für die beispielhafte Zerspanung einer Kammer eines Impellers mit dem bestimmten Fräser sollen folgende Vorgaben bzw. Spezifikationen gelten:

Schnittgeschwindigkeit	$V_c = 180 \text{ m/min}$
Durchmesser	$d = 66 \text{ mm}$
Zähnezahl	$Z = 4$
Vorschubgeschwindigkeit	$v_f = 4000 \text{ mm/min}$
Eingriffstiefe	$a_p = 0,7 \text{ mm}$
Eingriffsbreite	$a_e = 30 \text{ mm}$
Werkzeugwechselzeit	$t = 2 \text{ min}$
Bearbeitungsvolumen	$V = 40000 \text{ cm}^3$

**[0043]** Unter diesen Annahmen lassen sich nun mit der weiteren Annahme, dass keine Werkzeugwechsel erforderlich sind, folgende Größen ableiten:

Bearbeitungslänge	$l_f = V / (a_p + a_e) = 1905 \text{ m}$
Bearbeitungsdauer	$d_t = l_f \cdot 1000 / v_f = 476 \text{ min}$
Zeitspanvolumen	$Q = V / d_t = 84 \text{ cm}^3 / \text{min}$

**[0044]** Die Zeit für einen Werkzeugwechsel hängt ab von der jeweiligen Maschine, insbesondere dem verwendeten

## EP 3 889 708 A1

Werkzeugmagazin und der Werkzeugwechselvorrichtung. Sie kann von Maschine zu Maschine stark variieren und auch bei ein und derselben Maschine Schwankungen unterworfen sein. Diese Schwankungen können sich beispielsweise aus unterschiedlichen Magazinplätzen ergeben oder von der jeweiligen Position des Werkzeugs relativ zum Werkstück abhängen, aus der der betreffende Werkzeugwechsel durchgeführt werden muss.

**[0045]** Geht man nun von folgenden, realen Bedingungen aus, die insbesondere auf Messwerten beruhen:

Standzeit	$T = 20 \text{ min}$
Werkzeugwechselzeit	$t = 2 \text{ min}$

so lassen sich folgenden Größen berechnen:

Anzahl Werkzeugwechsel	$A = dt / T = 24$
Basiszeitspanvolumen	$Q_{\text{basis}} = V / (dt + (t * A)) = 76 \text{ cm}^3/\text{min}$

**[0046]** In dem konkreten Beispiel ergibt sich somit bei einer (durchschnittlichen) Werkzeugwechselzeit von 2 min und einer (durchschnittlichen) Standzeit des Werkzeugs von 20 min ein real erreichbares Basiszeitspanvolumen  $Q_{\text{basis}}$  von ca.  $76 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

**[0047]** Die nachfolgenden Tabellen sollen veranschaulichen, wie sich Veränderungen der Parameter Vorschubgeschwindigkeit, Eingriffstiefe oder Eingriffsbreite auf das Zeitspanvolumen bzw. das Basiszeitspanvolumen auswirken. Dabei gibt das Zeitspanvolumen das Volumen pro Zeit an, das ohne Berücksichtigung von Werkzeugwechseln zerspant wird, wohingegen bei der Angabe des Basiszeitspanvolumens die Werkzeugwechselzeiten mit berücksichtigt sind. Insbesondere wirkt sich jede Parameter-Änderung auf die Standzeit des Werkzeugs aus, so dass sich ggf. die Anzahl der benötigten Werkzeugwechsel ändert. Insgesamt resultiert so in Anbetracht der oben gezeigten Zusammenhänge das aus den Tabellen ersichtliche Basiszeitspanvolumen.

Vorschubgeschwindigkeit	Bearbeitungsdauer	Zeitspanvolumen	Standzeit	Werkzeugwechsel	Basiszeitspanvolumen
$v_f$	$d$	$Q$	$t$	$A$	$Q_{\text{basis}}$
[mm/min]	[min]	[cm <sup>3</sup> /min]	[min]	[Stück]	[cm <sup>3</sup> /min]
2000	952	42	80	12	41
2250	847	47	70	12	46
2500	762	53	60	13	51
2750	693	58	50	14	56
3000	635	63	40	16	60
3250	586	68	35	17	65

# EP 3 889 708 A1

5	3500	544	74	30	18	69
	3750	508	79	25	20	73
	4000	476	84	20	24	76
	4250	448	89	18	25	80
	4500	423	95	16	26	84
10	4750	401	100	14	29	87
	5000	381	105	12	32	90
	5250	363	110	10	36	92
	5500	346	116	8	43	92
	5750	331	121	6	55	91
15	6000	317	126	4	79	84
	6250	305	131	3	102	79
	6500	293	137	2	147	68
	6750	282	142	1	282	47
	7000	272	147	0,5	544	29
20	7250	263	152	0		
	7500	254	158	0		
	7750	246	163	0		
	8000	238	168	0		
25						

Ein- griffs- tiefe	Bearbei- tungs- dauer	Zeitspan- volumen	Stand- zeit	Werkzeug- wechsel	Basiszeit- span- volumen
a <sub>p</sub>	d	Q	t	A	Q <sub>basis</sub>
[mm]	[min]	[cm <sup>3</sup> /min]	[min]	[Stück]	[cm <sup>3</sup> /min]
0,5	667	60	40	17	57
0,55	606	66	35	17	62
0,6	556	72	30	19	68
0,65	513	78	25	21	72
0,7	476	84	20	24	76
0,75	444	90	18	25	81
0,8	417	96	17	25	86
0,85	392	102	16	25	91
0,9	370	108	15	25	95
0,95	351	114	14	25	100
1	333	120	13	26	104
1,05	317	126	12	26	108
1,1	303	132	11	28	112
1,15	290	138	10	29	115
1,2	278	144	10	28	120
1,25	267	150	10	27	125
1,3	256	156	10	26	130
1,35	247	162	9	27	133
1,4	238	168	9	26	137
1,45	230	174	8	29	139

# EP 3 889 708 A1

1,5	222	180	7	32	140
1,55	215	186	6	36	140
1,6	208	192	5	42	137
1,65	202	198	4	51	132
1,7	196	204	3	65	122
1,75	190	210	2	95	105
1,8	185	216	1,2	154	81
1,85	180	222	0,8	225	63
1,9	175	228	0,4	439	38

Ein- griffs- breite	Bearbei- tungs- dauer	Zeitspan- volumen	Stand- zeit	Werkzeug- wechsel	Basiszeit- span- volumen
a <sub>e</sub>	d	Q	t	A	Q <sub>basis</sub>
[mm]	[min]	[cm <sup>3</sup> /min]	[min]	[Stück]	[cm <sup>3</sup> /min]
10	1429	28	30	48	26
12,5	1143	35	29	39	33
15	952	42	28	34	39
17,5	816	49	27	30	46
20	714	56	26	27	52
22,5	635	63	25	25	58
25	571	70	24	24	65
27,5	519	77	22	24	71
30	476	84	20	24	76
32,5	440	91	18	24	82
35	408	98	16	26	87
37,5	381	105	14	27	92
40	357	112	13	27	97
42,5	336	119	12	28	102
45	317	126	11	29	107
47,5	301	133	10	30	111
50	286	140	9	32	115
52,5	272	147	8	34	118
55	260	154	7	37	120
57,5	248	161	6	41	121
60	238	168	5	48	120
62,5	229	175	4	57	117
65	220	182	3	73	109

**[0048]** Die aus den Tabellen ersichtlichen Standzeiten können einerseits auf Angaben des Werkzeug-Herstellers beruhen, der für bestimmter Schneidbedingungen (Vorschubgeschwindigkeit Eingriffstiefe, Eingriffsbreite) und bestimmte Werkstoffe des Werkstücks diesbezügliche Angaben bereitstellt. In der Regel beruhen diese Werte jedoch auf an der Maschine mit einem konkreten Werkstück durchgeführten Tests.

**[0049]** Wie die Tabellen zeigen, können Veränderungen der Vorschubgeschwindigkeit, der Eingriffstiefe oder der Eingriffsbreite zu einer Erhöhung des Basiszeitspanvolumens führen. Sie können dieses jedoch auch erheblich verschlechtern.



## EP 3 889 708 A1

**[0050]** Da insbesondere die Werkzeug-Standzeit von allen 3 genannten Parametern abhängt, ist es eine Herausforderung für den Maschinen-Bediener, diese Parameter so einzustellen, dass sich insgesamt ein Optimum für die Bearbeitung, also ein maximales Basiszeitspanvolumen ergibt.

**[0051]** Nachfolgend werden noch beispielhaft die Auswirkungen auf die Herstellungskosten eines Impellers in Abhängigkeit der gewählten Parameter-Einstellungen verdeutlicht. Dabei erfolgt die Bearbeitung in einem ersten Prozess P1 mit einem Basiszeitspanvolumen  $Q_{\text{basis}}$  von 60 cm<sup>3</sup>/min, einer Bearbeitungsdauer von 667 min und einer Anzahl von 17 benötigten Werkzeugen.

**[0052]** Ein optimierter zweiter Prozess P2 erfolgt mit einem Basiszeitspanvolumen  $Q_{\text{basis}}$  von 100 cm<sup>3</sup>/min, einer Bearbeitungsdauer von 400 min und einer Anzahl von 25 benötigten Werkzeugen.

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55

Prozess	Basiszeitspanvolumen	Bearbeitungsdauer	Anzahl Werkzeuge	Kosten Werkzeuge	Kostensatz Maschine	Anzahl Kammern	Kosten Impeller
	$Q_{\text{basis}}$	d	A				
	[cm <sup>3</sup> /min]	[min]	[Stück]	[€]	[€/Std]	[Stück]	[€]
P1:	60	667	17	50	208	13	41.094
P2:	100	400	25	50	208	13	34.277

**[0053]** Wie der Tabelle zu entnehmen ist, ergibt sich bei dem optimierten Prozess P2 eine Kostenersparnis von 6.817,- Euro gegenüber dem ersten Prozess P1 pro Impeller.

**[0054]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei zeigen:

- 5 FIG 1 ein Werkzeugmaschinensystem mit einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine,
- FIG 2 eine erfindungsgemäße Anzeige an einem Display einer Bedienoberfläche,
- FIG 3 Verfahrensschritte bei der Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,
- FIG 4 die Produktivität in Abhängigkeit von Technologieparametern,
- FIG 5 einen bevorzugten Betriebsbereich der Werkzeugmaschine.

10 **[0055]** Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung ein erfindungsgemäßes Werkzeugmaschinensystem in Form eines Bearbeitungszentrums 1 zur 5-achsigen Bearbeitung eines Werkstücks 2 durch wenigstens ein Werkzeug 3. Das Bearbeitungszentrum 1 umfasst eine Werkzeugmaschine 5, die auf einem Maschinengestell 4 befestigt ist. Die Werkzeugmaschine 5 umfasst einen längs der Achse X beweglichen Ständer 8 und einen darauf längs der Achsen Y und Z beweglich angebrachten Schlitten 9, welcher eine Spindel 10 trägt. Die Spindel 10 ist um die Achse C rotierend antreibbar und zur Aufnahme eines Werkzeugs 3 vorgesehen. Die Spindel 10 ist zudem um eine Achse S schwenkbar gelagert, wobei beim Schwenken die Spindelachse C eine Bewegung auf einem Kegelmantel beschreibt. Der Winkel zwischen der Spindelachse C und der Schwenkachse S beträgt 45°, woraus sich ein Kegelwinkel von 90° ergibt. Durch diese Anordnung kann die Spindel 10 zwischen einer horizontalen und einer vertikalen Extremstellung beliebige Neigungswinkel einnehmen.

**[0056]** Die Werkzeugmaschine 5 umfasst ferner einen längs der Achse Z beweglichen Schlitten 11, der einen um die Achse B rotierend antreibbaren Werkstücktisch 12 trägt und zur Aufnahme eines Werkstücks 2 mit entsprechenden Befestigungs- und Spannmitteln (nicht dargestellt) versehen ist.

25 **[0057]** Zur Steuerung des Bearbeitungszentrums 1 ist eine CNC-Steuerung 14 vorhanden. Die CNC-Steuerung 14 führt eine Steuerfunktion durch Abarbeitung eines Teileprogrammes in Echtzeit aus und steuert dadurch die Relativbewegung zwischen Werkzeug 3 und Werkstück 2 in Echtzeit. Hierbei werden von der Steuerung 14 laufend Eingangsdaten bzw. Eingangssignale ("Istwerte") der Werkzeugmaschine 5 erfasst und die CNC-Steuerung 14 erzeugt unter Einbeziehung dieser Istwerte Ausgangssignale in Form von Steuerbefehlen für die Antriebe (nicht dargestellt) der Werkzeugmaschine 5.

30 **[0058]** Die CNC-Steuerung 14 weist unter anderem als wesentliche Komponenten einen Echtzeitkern NCK (Numerical Control Kernel), eine PLC (Programmable Logic Control) sowie eine HMI-Einheit 15 (Human-Machine-Interface) mit einem Display 16 zur Bedienung des Bearbeitungszentrums 1 durch einen Bediener 6 auf.

35 **[0059]** Das Bearbeitungszentrum 1 ermöglicht die Durchführung von Bearbeitungsprozessen durch spanende Formgebung mit geometrisch bestimmter Schneide, wie zum Beispiel Fräsen, Drehen, Bohren, Gewindeschneiden, Drehfräsen, Honen usw., aber auch Bearbeitungsprozesse mit geometrisch unbestimmter Schneide, wie zum Beispiel Schleifen. Ferner können spanlose Fertigungsverfahren wie etwa Rollieren oder Gewindeformen durchgeführt werden. Die Erzeugung einer gewünschten Werkstückform erfolgt innerhalb des Arbeitsraums 13 der Werkzeugmaschine 5 durch eine Abfolge verschiedener Bearbeitungsprozesse, zu welcher Werkzeuge 3 mit dem Werkstück 2 relativ zueinander Längs programmierter Bahnen bewegt und miteinander in Eingriff gebracht werden. Die zur Ausführung der Bearbeitungsprozesse benötigten Werkzeuge 3 werden in einem Werkzeugmagazin 7 vorgehalten und entsprechend der Bearbeitungsabfolge nacheinander mittels einer Werkzeugwechseinrichtung (nicht dargestellt) in die Spindel 10 eingewechselt.

**[0060]** Mit dem dargestellten Bearbeitungszentrum 1 lassen sich 5-Achs-Bearbeitungen durchführen, die beispielsweise beim Fräsen von Freiformflächen - etwa beim Fräsen von Turbinenschaufeln - erforderlich sind.

45 **[0061]** Die Steuerung 14 ist dazu ausgebildet, dass zunächst vorbestimmte, die Bearbeitung betreffende Technologieparameter durch manuelle Betätigung der Bedienoberfläche 15 durch den Benutzer 6 geändert werden können. Beispielsweise kann eine Vorschubgeschwindigkeit in einem in der Steuerung 14 hinterlegten Teileprogramm vorgegeben sein und durch Betätigung eines an der Bedienoberfläche vorhandenen Override-Reglers durch den Benutzer 6 verändert werden.

50 **[0062]** Erfindungsgemäß werden zunächst die Auswirkungen dieser Veränderung bestimmt und dem Benutzer in Form einer Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße auf dem Display 16 der Steuerung 14 angezeigt.

**[0063]** Figur 2 zeigt beispielhaft eine derartige Anzeige auf dem Display 16. Im Beispiel wurde die Vorschubgeschwindigkeit von normal 100% auf 120% erhöht (Schaubild 20). Aus der Anzeige ist ersichtlich, dass diese Veränderung der Vorschubgeschwindigkeit eine Erhöhung der Gesamt-Bearbeitungszeit auf ca. 106% (Schaubild 21) und der Gesamt-Bearbeitungskosten auf ca. 119% (Schaubild 22) bewirken würde. Diese zunächst so nicht erwarteten Auswirkungen lassen sich beispielsweise dadurch erklären, dass bei der vorgesehenen Bearbeitung durch die Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit die verwendeten Werkzeuge schneller verschleifen, was wiederum einen höheren Verbrauch an Werkzeugen und mehr und häufigere Werkzeugwechsel bedingt.

**[0064]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn sich die manuelle Veränderung eines Technologieparameters, im Beispiel die Vorschubgeschwindigkeit, nicht sofort auf die aktuell durchgeführte Bearbeitung auswirkt, sondern für die Durchführung der Steuerfunktion zunächst der ursprüngliche Wert des Technologieparameters beibehalten wird und die durch die Veränderung bedingte Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße lediglich in einer Simulation bestimmt wird. Der Bediener hat so die Möglichkeit, diese Rückmeldung in seine Überlegungen mit einfließen zu lassen und die Veränderung ggf. nicht oder anders durchzuführen, bevor sich überhaupt bezüglich der Bearbeitung des Werkstücks etwas ändert. So lässt sich beispielsweise verhindern, dass der Benutzer durch seinen manuellen Eingriff unbeabsichtigt die Produktivität der Maschine herabsetzt. Damit sich die durchgeführte manuelle Parameter-Veränderung auch tatsächlich auf die reale Bearbeitung auswirkt, muss bei diesem Ausführungsbeispiel zunächst der aus Figur 2 ersichtliche Button 23 "confirm" zur Bestätigung der Veränderung betätigt werden, z.B. durch Berührung des Button 23 auf dem als Touch Display ausgeführten Display 16.

**[0065]** Figur 3 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei wird in einem ersten Verfahrensschritt S1 durch Interaktion eines Bedieners mit der Steuervorrichtung ein bestimmter Technologieparameter durch den Bediener manuell verändert.

**[0066]** In einem zweiten Verfahrensschritt S2 wird ein Maß für eine durch die in Schritt S1 durchgeführte Veränderung hervorgerufene Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße bestimmt und auf dem Display der Steuerung angezeigt.

**[0067]** In einem Schritt S3 erfolgt eine weitere manuelle Eingabe des Benutzers zur Bestätigung der in Schritt S1 vorgenommenen Veränderung des Technologieparameters.

**[0068]** In einem Schritt S4 wird der veränderte Technologieparameter in der Steuervorrichtung bei der Erzeugung der Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug berücksichtigt.

**[0069]** Figur 4 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen produktionswirtschaftlichen Kenngrößen wie etwa der Produktivität und einigen von einem Bediener an der Werkzeugmaschine veränderbaren Technologieparametern (Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$ , Schnittgeschwindigkeit  $v_c$ , Eingriffstiefe  $a_p$  oder Eingriffsbreite  $a_e$ ). Die Kurve K1 (strichlierte Linie), in diesem Fall eine Gerade, veranschaulicht das Zerspanvolumen für den unrealistischen Anwendungsfall, dass keine Werkzeugwechsel erforderlich sind. Das Zerspanvolumen steigt hier z.B. linear mit der Vorschubgeschwindigkeit.

**[0070]** In der Kurve K2 (gepunktet) ist die bei einer bestimmten, realen Bearbeitung erforderliche Anzahl an Werkzeugwechseln dargestellt. Verschleißbedingt werden mit zunehmendem Zerspanvolumen des in Eingriff befindlichen Werkzeuges überproportional viele Werkzeuge benötigt.

**[0071]** Die Kurve K3 veranschaulicht die Produktivität unter Berücksichtigung der verschleißbedingten Werkzeugwechsel. Daraus ist ersichtlich, dass die Produktivität mit zunehmendem Zerspanvolumen (pro Zeiteinheit) zunächst bis zu einem Optimum ansteigt und nach diesem Optimum wieder abfällt.

**[0072]** Figur 5 veranschaulicht beispielhaft einen bevorzugten Bereich bezüglich der Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$ , die vorzugsweise im Bereich zwischen den Werten  $v_{f1}$  und  $v_{f2}$  liegt und damit so bestimmt ist, dass die Produktivität P maximal um einen vorbestimmten Wert  $\Delta P$  von ihrem Maximum abweicht. Vorzugsweise erhält der Bediener an der Maschine einen zusätzlichen Warnhinweis, wenn sich die Maschine in einem Betriebspunkt außerhalb des so definierten, bevorzugten Betriebsbereiches befindet.

**[0073]** Auf Basis der hier vorgeschlagenen Vorgehensweise erhält der den Prozess bestimmende Mitarbeiter prozessrelevante betriebswirtschaftliche Daten, die ihn bei seiner Entscheidungsfindung unterstützen. Die nichtlinearen Abhängigkeiten sind zwar nach wie vor im Prozess vorhanden, jedoch werden dem Mitarbeiter beispielsweise in der Vergangenheit getätigten Entscheidungen hinsichtlich der Wirkungsweise klar gespiegelt, so dass er die anstehenden Entscheidungen besser treffen kann.

**[0074]** Die Erfindung führt zu einer inkrementellen Verbesserung der Prozesse und hat in der Aufsummierung ein erhebliches Potential an Einsparungen, der Steigerung der Effektivität und der Optimierung der Kostensituation.

**[0075]** Es ist auf Basis einer solchen Online Prozessbewertung sogar möglich, die Prozesse optimal auf die derzeitige Auslastungssituation einzustellen, so z.B. durch Vorgabe eines Richtwertes bzw. einer abstrakten Zielgröße (Bsp. TCO / Basiszeitspanvolumen).

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Werkzeugmaschinensystems (1), umfassend eine Werkzeugmaschine (5) zur Bearbeitung wenigstens eines Werkstücks (2) mittels wenigstens eines Werkzeugs (3) und eine mit der Werkzeugmaschine (5) verbundene Steuervorrichtung (14) zum Erzeugen einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück (2) und dem Werkzeug (3) anhand eines von der Steuervorrichtung (14) abarbeitbaren Programms, wobei die Steuervorrichtung (14) eine Bedieneinrichtung (15) mit einer Anzeigevorrichtung (16) zur Interaktion eines Bedieners (6) mit der Steuervorrichtung (14) umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** mittels der Bedieneinrichtung (15) wenigstens ein Technologieparameter durch den Bediener (6) manuell verändert wird und infolge dessen ein Maß für

eine durch die Veränderung hervorgerufene Änderung einer produktionswirtschaftlichen Kenngröße bestimmt und direkt und/oder in Relation zu einem diesbezüglichen Relativmaß an der Anzeigevorrichtung (16) angezeigt wird.

- 5        2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Bearbeitung des Werkstücks (2) oder eines Los des Werkstücks (2) eine Anzahl gleicher Werkzeuge (3) benötigt wird, wobei die Werkzeuge (3) aufeinanderfolgend mittels einer Werkzeugwechselvorrichtung (7) in eine Werkzeugaufnahme (10) der Werkzeugmaschine (5) eingewechselt werden, wobei sich in Folge der manuellen Veränderung des Technologieparameters die Anzahl benötigter, gleicher Werkzeuge (3) ändert und wobei die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße in Abhängigkeit der jeweils benötigten Anzahl an Werkzeugen (3) und der damit verbundenen Anzahl an Werkzeugwechseln bestimmt wird.
- 10       3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße durch die Steuervorrichtung (14) und/oder eine mit der Steuervorrichtung (14) verbindbare, externe Recheneinrichtung (17) ermittelt wird.
- 15       4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei, nachdem das Maß für die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße an der Anzeigevorrichtung (16) angezeigt wird, zunächst eine weitere manuelle Interaktion des Benutzers (6) mit der Bedieneinrichtung (15) erforderlich wird, bevor die Bearbeitung des Werkstücks (2) an den veränderten Technologieparameter angepasst wird.
- 20       5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, wobei in der Steuervorrichtung (14) und/oder der externen Recheneinrichtung (17) eine für den Werkzeugwechsel vorgesehene Werkzeugwechselzeit und/oder für die Beschaffung eines Werkzeugs (3) benötigte Werkzeugkosten und/oder ein für den Betrieb der Werkzeugmaschine (5) bestimmter Maschinenstundensatz hinterlegt sind und wobei das Maß für die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße in Abhängigkeit der Werkzeugwechselzeit und/oder der Werkzeugkosten und/oder des Maschinenstundensatzes ermittelt wird.
- 25       6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Werkzeugwechselzeit und/oder die Werkzeugkosten und/oder der Maschinenstundensatz durch Interaktion des Benutzers (6) mit der Steuervorrichtung (14) und/oder der externen Recheneinrichtung (17) einstellbar ist.
- 30       7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Werkzeugwechselzeit während des realen Betriebs der Werkzeugmaschine (5) gemessen und vorzugsweise fortlaufend aktualisiert wird.
- 35       8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Maß für die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße in Abhängigkeit von während des Betriebs der Werkzeugmaschine (5) erzeugten Messwerten ermittelt wird.
- 40       9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei durch den Benutzer (6) eine Vorschubgeschwindigkeit und/oder eine Spindeldrehzahl manuell verändert wird bzw. werden.
- 45       10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Maß für die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße als Absolutwert angezeigt wird.
- 50       11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Maß für die Änderung der produktionswirtschaftlichen Kenngröße relativ zu einem Optimum der betreffenden produktionswirtschaftlichen Kenngröße angezeigt wird.
- 55       12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei es sich bei der produktionswirtschaftlichen Kenngröße um die zur Bearbeitung erforderliche Bearbeitungszeit oder die durch die Bearbeitung verursachten Bearbeitungskosten handelt.
13. Werkzeugmaschinenystem (1), umfassend eine Werkzeugmaschine (5) und eine Steuervorrichtung (14) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12.
14. Werkzeugmaschinenystem (1), nach Anspruch 13, umfassend eine externe Recheneinrichtung (17) um das Maß für die zur Bearbeitung erforderliche Bearbeitungszeit und/oder das Maß für die durch die Bearbeitung verursachten Bearbeitungskosten zu ermitteln.
15. Steuervorrichtung (14) für ein Werkzeugmaschinenystem (1) nach Anspruch 13 oder 14 zur Durchführung eines

Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

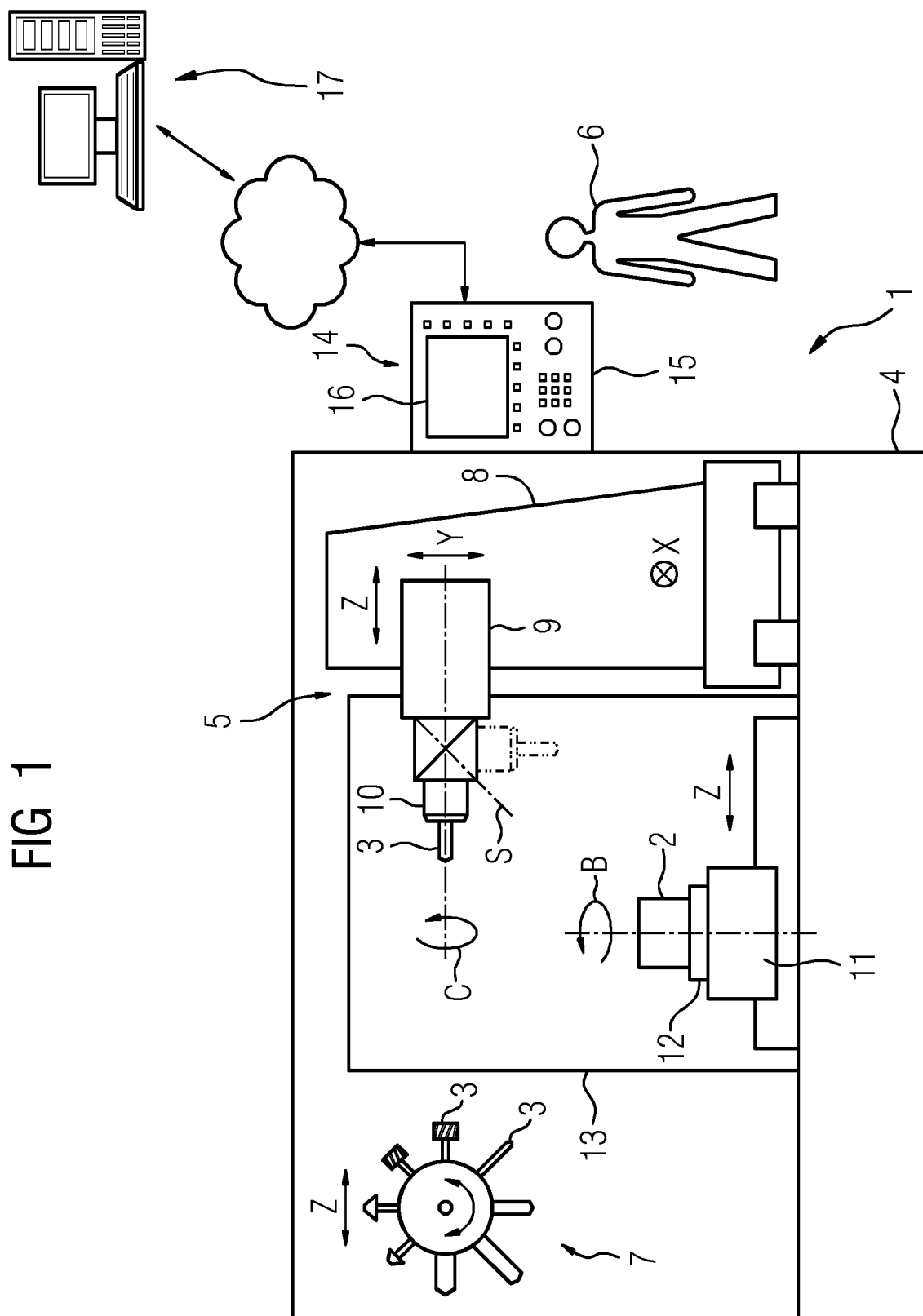


FIG 2

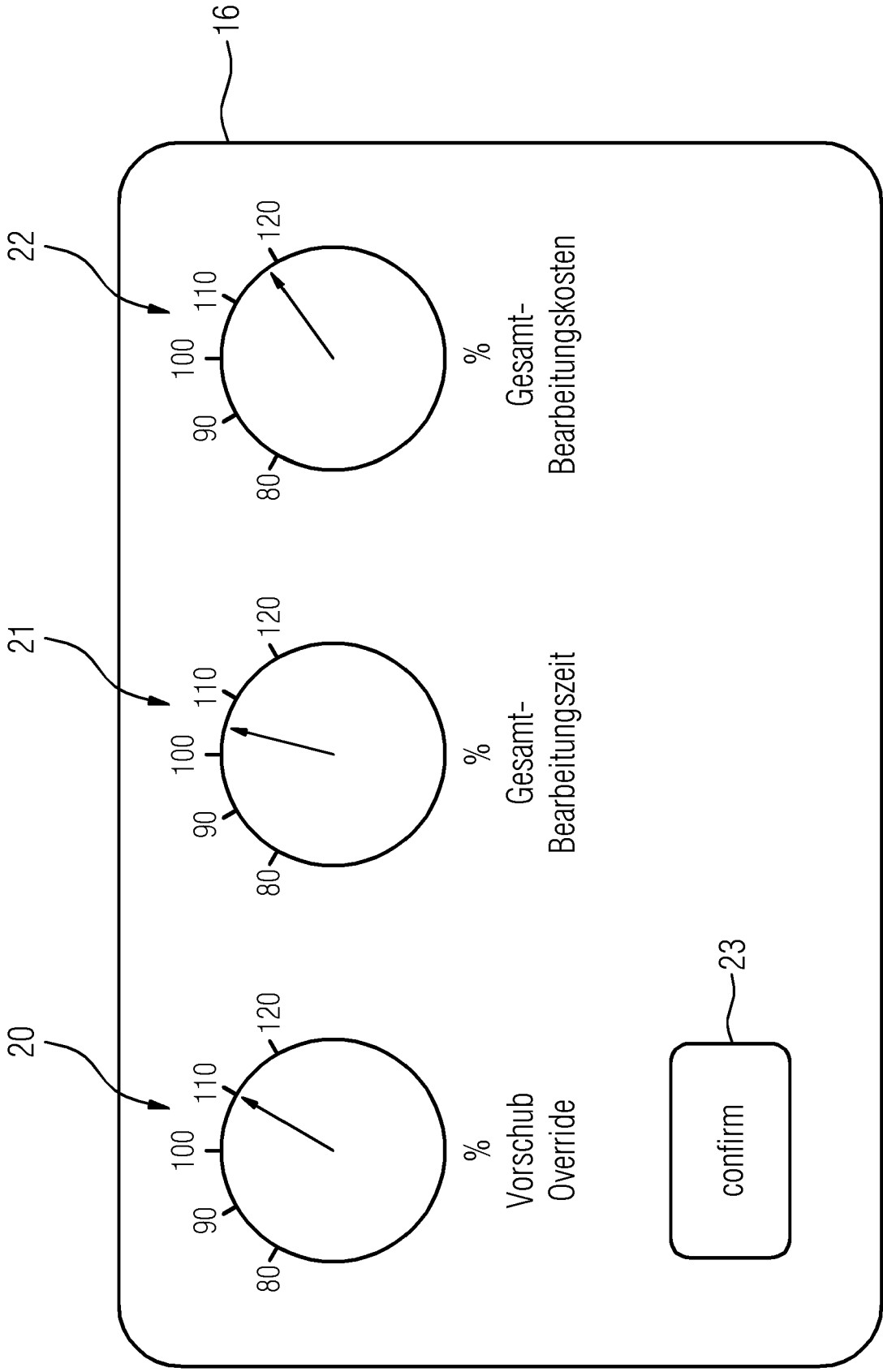




FIG 3

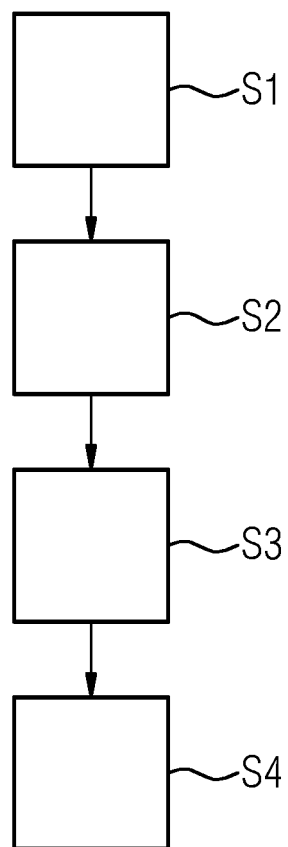


FIG 4

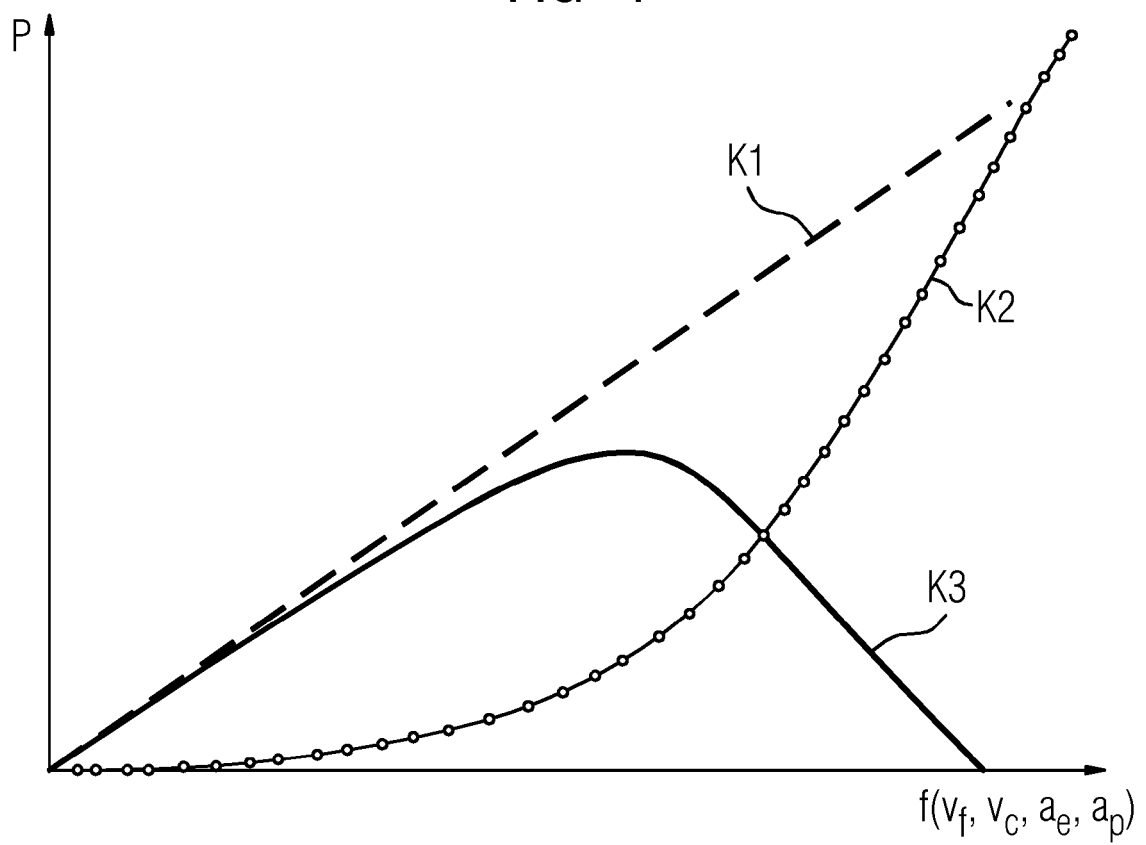
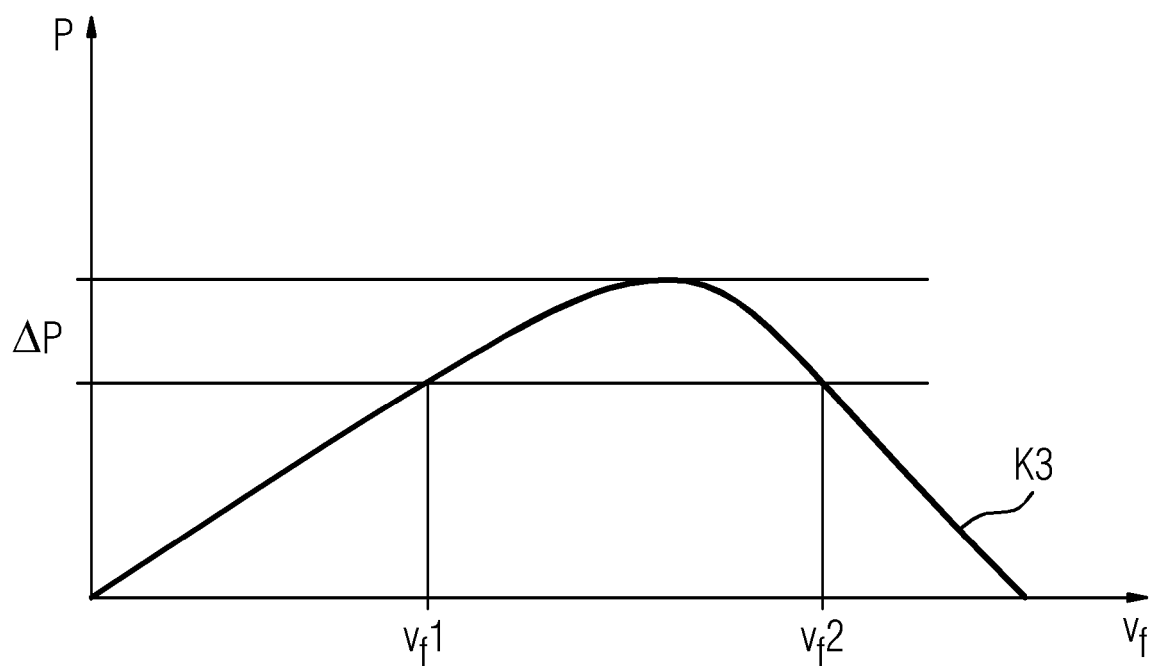


FIG 5





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 20 16 7182

5

10

15

20

25

30

35

40

45

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	Mike Lynch: "Monitoring Important Control Panel Functions", 17. Januar 2011 (2011-01-17), Seiten 1-1, XP055733687, Gefunden im Internet: URL:https://www.mmsonline.com/columns/monitoring-important-control-panel-functions [gefunden am 2020-09-24]	1-4,8-15	INV. G05B19/409
A	* das ganze Dokument *	5-7	
A	US 2017/212488 A1 (KUMMER JAMES P [US] ET AL) 27. Juli 2017 (2017-07-27) * Absatz [0148] - Absatz [0149] *	1-15	
A	DE 10 2009 023648 A1 (INDEX WERKE KG HAHN & TESSKY [DE]) 2. Dezember 2010 (2010-12-02) * Zusammenfassung * * Absatz [0006] - Absatz [0023] *	1-15	
A	US 2019/018391 A1 (ROGERS NATHAN DAVID [GB] ET AL) 17. Januar 2019 (2019-01-17) * Zusammenfassung * * Absatz [0095] * * Absatz [0119] - Absatz [0120] *	1-15	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) G05B
A	LOENZO R A G ET AL: "An object-oriented architecture for sensorless cutting force feedback for CNC milling process monitoring and control", ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE, ELSEVIER SCIENCE, OXFORD, GB, Bd. 41, Nr. 5, 1. Mai 2010 (2010-05-01), Seiten 754-761, XP026925736, ISSN: 0965-9978, DOI: 10.1016/J.ADVENGSOFT.2009.12.016 [gefunden am 2010-02-25] * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 24. September 2020	Prüfer Kielhöfer, Patrick
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

50

55

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 20 16 7182

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten  
 Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-09-2020

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2017212488 A1	27-07-2017	CN 106997194 A US 2017212488 A1	01-08-2017 27-07-2017
15	DE 102009023648 A1	02-12-2010	CN 102449565 A DE 102009023648 A1 EP 2435884 A1 ES 2662527 T3 HU E037421 T2 JP 5612677 B2 JP 2012528366 A PL 2435884 T3 US 2012265330 A1 WO 2010136368 A1	09-05-2012 02-12-2010 04-04-2012 06-04-2018 28-08-2018 22-10-2014 12-11-2012 31-07-2018 18-10-2012 02-12-2010
20				
25	US 2019018391 A1	17-01-2019	KEINE	
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102006006273 A1 [0007]