



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **705 388 B1**

(51) Int. Cl.: **B23Q 17/09** (2006.01)  
**G01N 3/58** (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01430/05

(22) Anmeldedatum: 31.08.2005

(24) Patent erteilt: 28.02.2013

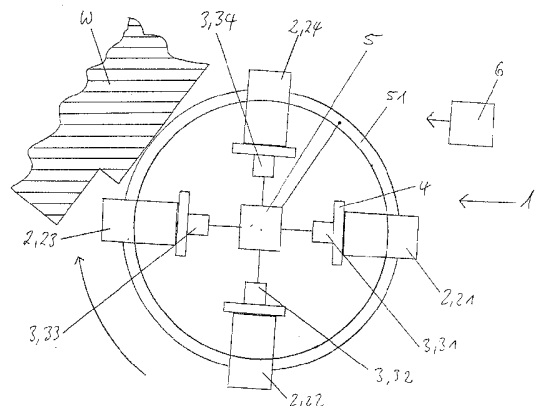
(45) Patentschrift veröffentlicht: 28.02.2013

(73) Inhaber:  
Kistler Holding AG, Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur (CH)

(72) Erfinder:  
René Schmitz, 56645 Nickenich (DE)  
Drazen Veselovac, 52074 Aachen (DE)  
Josef Stirnimann, 8400 Winterthur (CH)  
Dr. Andreas Kirchheim, 8400 Winterthur (CH)  
Georges Schaffner, 8335 Hittnau (CH)

(54) **Werkzeug.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Werkzeug (1), umfassend ein Werkzeugelement (2), insbesondere ein materialabtragendes Werkzeugelement (2), wobei das Werkzeugelement (2) im Betriebszustand mit einer Betriebsgrösse beaufschlagbar ist. Weiter ist eine Messeinrichtung (3) zur Bestimmung und Umwandlung der Betriebsgrösse in ein Messsignal vorgesehen. Dabei wirkt eine erste Messeinrichtung (3, 31) im Betriebszustand derart mit einem ersten Werkzeugelement (2, 21) zusammen, dass durch die erste Messeinrichtung (3, 31) im Wesentlichen nur eine erste Betriebsgrösse des ersten Werkzeugelements (2, 21) erfassbar ist.



## Beschreibung

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Werkzeug mit einem Werkzeugelement, insbesondere mit einem materialabtragenden Werkzeugelement gemäss dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs 1.

### Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von materialabtragenden Werkzeugen bekannt, mit welchen die verschiedensten Materialien bearbeitet werden. Es handelt sich dabei zum Beispiel um zerspanende Werkzeuge wie Bohrer, Fräser, Hobel oder Werkzeuge aller Art, z.B. zur Verwendung in einer Drehbank. Aber auch Werkzeuge zum Zertrümmern oder Zerkleinern bestimmter Werkstoffe wie Gestein, Metall, Glas, Kunststoff, Verbundwerkstoffe oder anderer Materialien sind unter anderem als Werkzeug im Sinne dieser Anmeldung zu verstehen. Es kann sich dabei um sehr grosse Werkzeuge wie Bohrgeräte zum Bohren nach Erdöl oder Erdgas oder zum Beispiel um ein Tunnelbohrwerkzeug handeln, die also vornehmlich zum Bearbeiten von Gestein eingesetzt werden. Andererseits befasst sich die vorliegende Erfindung selbstverständlich, wie bereits erwähnt, auch mit kleineren Werkzeugen, zum Beispiel mit Fräsern oder Fräsköpfen zur Verwendung in einer Drehbank oder in einer anderen Werkzeugmaschine, beispielsweise zur Verwendung in einer Bohrmaschine.

[0003] Alle diese Werkzeuge werden im Betriebszustand mit einer oder mehreren Betriebsgrössen beaufschlagt, die als solche einen Einfluss auf den Betriebszustand des Werkzeugs haben können, so dass diese Betriebsgrössen ständig überwacht werden müssen und darüber hinaus in die Steuerung und/oder Regelung des Werkzeugs mit einfließen können. Das heisst, das Werkzeug kann unter Berücksichtigung der vorgenannten Betriebsparameter oder Betriebsgrössen, die zum Beispiel eine Kraft, ein mechanischer Druck, eine Temperatur, aber auch der Zustand oder Verschleisszustand des Werkzeugs oder eines seiner Komponenten sein kann, im Betriebszustand geregelt werden. Wenn zum Beispiel der Betriebsparameter Temperatur einen zu hohen oder zu niedrigen Wert bei einem Fräskopf annimmt, so können beim Fräsen eines Werkstücks die Betriebsparameter des Fräskopfs, zum Beispiel die Umdrehungsgeschwindigkeit des Fräskopfs oder die Vorschubparameter, so angepasst werden, dass sich wieder eine vorgebbare Solltemperatur einstellt. Ein weiterer wichtiger Betriebsparameter ist zum Beispiel beim Fräsen, Bohren oder Zertrümmern eines Werkstoffs der Kraft oder Kraftfluss, bzw. der mechanische Druck, der auf das Werkzeug, im Speziellen auf die materialabtragenden Komponenten des Werkzeugs, im Betrieb einwirken. Typischerweise sind an einem Bohrkopf einer Tunnelbohrmaschine oder einer Bohrmaschine zum Bohren nach Bodenschätzen, wie Erdöl oder Gas, oder bei Bohrmaschinen für geologische Erkundungen, an einem als Bohrkopf ausgestalteten Werkzeug in der Regel mehrere materialabtragende Elemente, wie Schneiden, Elemente zum Zertrümmern oder Zermörsern und ähnliche Elemente, vorgegeben, die gleichzeitig jeweils unterschiedlichen Werten des ein und desselben Betriebsparameters ausgesetzt sein können, was die korrekte Steuerung und/oder Regelung des Werkzeugs im Betriebszustand sehr erschwert. So kann zum Beispiel bei einem Fräswerkzeug, das mehrere Schneiden aufweist, eine Schneide sehr stark belastet sein, also zum Beispiel einem hohen Arbeitsdruck, einer hohen Schneidkraft oder einer hohen Temperatur ausgesetzt sein, während eine andere Schneide ein und desselben Fräswerkzeugs mit den vorgegeben unkritischen Betriebsparametern beaufschlagt ist. Solche Betriebszustände eines Werkzeugs sind bisher bei den aus dem Stand der Technik bekannten Werkzeugen praktisch nicht differenziert erkennbar bzw. ausregelbar, weil immer nur ein Mittelwert einer entsprechenden Betriebsgrösse messbar ist, die sich aus allen Einzelbetriebsgrössen der verschiedenen Werkzeugelemente des Werkzeugs, also zum Beispiel als Summe oder Mittelwert der Betriebsparameter aller an ein und demselben Fräskopf angebrachten Schneiden, ergeben. Die Folge ist, dass die aus dem Stand der Technik bekannten Werkzeuge nicht optimal steuer- und/oder regelbar sind, was zu schlechten Arbeitsergebnissen führen kann, die sich zum Beispiel in mangelnder Qualität eines hergestellten Produktes äussern können, oder im schlimmsten Fall zum Ausfall oder zur Beschädigung des Werkzeugs und angeschlossener Maschinenteile führen kann.

[0004] Die ganz allgemein erläuterte Problematik soll im Folgenden am Beispiel eines aus dem Stand der Technik bekannten Messerstirnfräskopfes zur Verdeutlichung noch einmal detaillierter untersucht werden.

[0005] Im Folgenden wird ein aus dem Stand der Technik bekanntes mehrschneidiges Fräswerkzeug näher betrachtet. Zur Messung von Prozesskräften und -momenten an einem solchen rotierenden Fräswerkzeug werden Schnittkraftdynamometer verwendet, wie sie zum Beispiel aus der CS-000 000 268 555-B1 oder der BG-000 000 027 981-A seit langem bekannt sind. Bezogen auf den Bohr- und Fräsprozess kommen bei einem speziellen bekannten Fräswerkzeug 4-Komponenten-Schnittkraftdynamometer zum Einsatz. Der von der Firma Kistler entwickelte RCD 9124B erlaubt beispielsweise die Erfassung des räumlichen Schnittkraftvektors und des Moments um die z-Achse. Das Dynamometer besteht aus einem Vierkomponenten-Sensor, welcher unter hoher Vorspannung zwischen einer Grundplatte und einer Deckplatte eingebaut ist. Zur Ladungsverstärkung wird für jede Komponente ein 2-Bereichs-Miniatur-Ladungsverstärker eingesetzt. Deren Ausgangsspannungen werden digitalisiert und telemetrisch auf einen Stator übertragen. Auch die Energieversorgung erfolgt kontaktlos. Schnittkraftdynamometer lassen sich ohne grossen Aufwand in alle gängigen Maschinenspindeln mit SK- oder HSK-Aufnahmen integrieren. Trotz vielfältiger Anwendungsmöglichkeiten von RCDs im Rahmen der Prozessüberwachung und Analyse weisen die Systeme aufgrund ihrer konzeptionellen Gestaltung gewisse Nachteile auf. Sie liefern als Messergebnis lediglich ein Summensignal aller im Eingriff befindlicher Schneiden. Dabei sinkt das Auflösungsvermögen mit zunehmender Schneidenzahl, da selbst eine deutliche Kraftänderung an einer einzelnen Schneide im Verhältnis zur Änderung des Summensignals geringfügig ist. Eine Einzelschneidenüberwachung ist mit RCDs nur durch den Ausbau

aller bis auf eine Schneide möglich. Das Summensignal ist zusätzlich zu den Eingriffsbedingungen auch von den geometrischen Verhältnissen der Schneiden zueinander abhängig, was bei komplexen Bearbeitungsfeatures zu stark dynamischen Signalanteilen führt. Die Auswertung und die Interpretation solcher Signale sind aufgrund der grossen Anzahl und Variationen von Signalformen äusserst anspruchsvoll. Bei gleichzeitiger Überlagerung von Schwingungen des Werkzeug-Spindel-Systems gestalten sich die Separation der Kraftkomponenten aus dem Summensignal und die Zuordnung auf die einzelnen Schneiden problematisch. Diese Schwierigkeiten entscheiden in Einzelfällen sogar über die prinzipielle Auswertbarkeit des Signals. Hinzu kommt, dass der Gleichanteil innerhalb des Summensignals bei längerer Fräsdauer einer Signaldrift unterliegt. Die Drift bewirkt, dass es trotz konstant anliegender Kraft zu einem Signalabfall kommt und somit der Messfehler stetig mit der Zeit zunimmt.

**[0006]** Die Datenübertragung erfordert die äusserliche Anbringung eines Stators, bevorzugt, aber nicht notwendig im Nahbereich des Rotors an der Spindel. Dadurch, dass der Stator an der Spindelkopfseite angeflanscht werden muss, ist ein Umbau erforderlich, der möglicherweise die Zugänglichkeit einschränkt. Aufgrund seines nicht unerheblichen Gewichts von etwa 7,5 kg, zuzüglich des Werkzeugs, nimmt ein solches Dynamometer nicht unerheblich Einfluss auf das Nachgiebigkeitsverhalten der Werkzeug-Spindereinheit und setzt deren Eigenfrequenzen auf etwa 300 Hz beträchtlich herab. Bei Anregungen in der Nähe der Resonanzfrequenz kann es zu Schwingungsformen kommen, die keine Signalinterpretation mehr ermöglichen.

**[0007]** Ferner unterscheidet sich die impulsförmige Anregung durch den Messereingriffsstoss nur unerheblich von den eingriffsbedingten Signalformen, wodurch sich insbesondere die automatisierte Verarbeitung sehr schwierig gestaltet. Neben dem Herabsetzen der Eigenfrequenz bewirkt die hohe, dem Sensor vorgelagerte Masse eine Zunahme des Beschleunigungseinflusses bei der Kraftmessung. Das gemessene Signal gibt den Prozess infolgedessen bei erhöhten Anregungsfrequenzen nicht mehr einwandfrei wieder, sondern stellt zunehmend das Schwingungsverhalten der vorgelagerten Masse dar.

**[0008]** Alternativ zu den zuvor dargestellten Schnittkraftdynamometern ist aus dem Stand der Technik zur Messung von Bearbeitungskräften auch die Möglichkeit, Kraftsensoren in die Spindereinheit zu integrieren, bekannt. Für den Einsatz in Motorspindeln kommen z.B. Mehrkomponenten-Kraftmessringe in der Spindelaufnahme bzw. der Spindellagerung zum Einsatz. Diese Applikationen besitzen allerdings den entscheidenden Nachteil, dass die dem Sensor vorgelagerte Masse deutlich grösser als bei RCDs ist und die Messung noch weiter von der Zerspanstelle entfernt erfolgt. Die im Zusammenhang mit den Schnittkraftdynamometern genannten, massebedingten Unzulänglichkeiten der Sensorapplikation treten dabei sogar noch in stärkerem Masse auf, und es fliessen weitere Störfaktoren in die Signalaufnahme ein, so dass das Messergebnis den interessierenden Prozess mit entsprechend vergrösserter Unschärfe abbildet.

**[0009]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, bei welchem die Erfassung einer Betriebsgrösse, wie beispielsweise einer Kraft, eines Drucks oder einer Temperatur, die auf ein Werkzeugelement, zum Beispiel auf eine Schneide des Werkzeugs, einwirkt, zuverlässiger und einfacher zu bestimmen.

**[0010]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst.

**[0011]** Die Erfindung betrifft somit ein Werkzeug, umfassend ein Werkzeugelement, insbesondere ein materialabtragendes Werkzeugelement, wobei das Werkzeugelement im Betriebszustand mit einer Betriebsgrösse beaufschlagbar ist. Weiter ist eine Messeinrichtung zur Bestimmung und Umwandlung der Betriebsgrösse in ein Messsignal vorgesehen. Dabei wirkt eine erste Messeinrichtung im Betriebszustand derart mit einem ersten Werkzeugelement zusammen, dass durch die erste Messeinrichtung im Wesentlichen nur eine erste Betriebsgrösse des ersten Werkzeugelements erfassbar ist.

**[0012]** Wesentlich für die Erfindung ist es somit, dass einem einzelnen Werkzeugelement eine eigene Messeinrichtung zur Messung der Betriebsgrösse zugeordnet ist, so dass mit der individuell dem einzelnen Werkzeugelement zugeordneten Messeinrichtung im Wesentlichen nur die Betriebsgrösse des zugeordneten Werkzeugelements erfassbar ist. Wenn also zum Beispiel an einem Werkzeug mehrere Werkzeugelemente vorgesehen sind, wie beispielsweise bei einem Messerstirnfräskopf mit vier Einzelschneiden, so kann die Einwirkung einer relevanten Betriebsgrösse, zum Beispiel eine Zerspankraft, für jede der vier Einzelschneiden separat und mit höchster Zuverlässigkeit bestimmt werden. Das heisst, abgesehen von einem gewissen «Grundrauschen» der Betriebsgrösse, das sich als Summe oder Mittelwert aller im Betriebszustand auftretenden Teilbetriebsgrössen, zum Beispiel als Summe aller angreifenden Kräfte, Drücke usw. an einer bestimmten Messeinrichtung eines bestimmten Werkzeugelements oder am Werkzeug als solchem, ergibt, kann bei einem erfindungsgemässen Werkzeug die Betriebsgrösse ganz spezifisch für jedes einzelne Werkzeugelement des Werkzeugs bestimmt und aufgelöst werden. Das zuvor als Summensignal oder Mittelwert eines Signals bezeichnete auftretende «Grundrauschen» ist dabei normalerweise klein gegen das eigentliche Messsignal der Betriebsgrösse eines spezifischen Werkzeugelements, bzw. so spezifisch für das entsprechende Werkzeugelement bzw. Werkzeug, dass es mit den bekannten Auswerteverfahren zuverlässig von dem eigentlichen interessierenden Signal der Betriebsgrösse des einzelnen Werkzeugelements separierbar ist.

**[0013]** Bevorzugt ist das Werkzeugelement des Werkzeugs ein zerspanendes Werkzeugelement, insbesondere eine Schneidplatte und/oder ein Fräselement und/oder ein Bohrkopf zur Zerspanung eines Werkstücks und/oder eines Werkstoffs.

**[0014]** Dabei umfasst das Werkzeug in einem für die Praxis besonders relevanten Ausführungsbeispiel mindestens zwei, insbesondere vier separate Werkzeugelemente, und für jedes separate Werkzeugelement ist eine eigene zugeordnete Messeinrichtung vorgesehen.

**[0015]** Dabei ist die Messeinrichtung bevorzugt ein Drucksensor und/oder ein Kraftsensor, insbesondere ein piezoelektrischer und/oder ein piezoresistiver Drucksensor und/oder Kraftsensor, insbesondere ein Slim-Line-Sensor, und/oder die Messeinrichtung ist ein Temperatursensor, insbesondere piezoresistiver Temperatursensor, und/oder ein Widerstandstemperatursensor und/oder ein Thermoelement.

**[0016]** Im Speziellen kann die Messeinrichtung auch eine Messeinrichtung zur Überwachung des Zustands des Werkzeugs, insbesondere zur Überwachung des Zustands des Werkzeugelements, sein, so dass zum Beispiel der Verschleisszustand des Werkzeugs und/oder des Werkzeugelements überwachbar ist. Dies kann je nach Art des Werkzeugs, Werkzeugelements oder der jeweiligen Anwendung, zum Beispiel je nach zu bearbeitendem Material, beispielsweise eine Messeinrichtung zur Messung eines elektrischen Widerstandes, einer optischen oder akustischen Grösse, z.B. einer Resonanzeigenschaft des Werkzeugelements und/oder des Werkzeugs, sein, oder eine Messeinrichtung zur Bestimmung einer anderen charakteristischen Grösse, die geeignet ist, den Zustand bzw. den Verschleisszustand des Werkzeugelements bzw. des Werkzeugs zu bestimmen und/oder zu überwachen.

**[0017]** Zur Optimierung der Übertragung der Betriebsgrösse zwischen dem Werkzeugelement und der Messeinrichtung kann insbesondere ein Koppellement vorgesehen sein.

**[0018]** Dabei kann je nach Anwendung oder Werkzeug die relevante Betriebsgrösse eine Kraft und/oder ein Druck und/oder ein Kraftfluss sein, der vom Werkzeugelement, insbesondere Schneidplatte, über das als Zwischenscheibe ausgestaltete Koppellement auf die Messeinrichtung derart übertragbar ist, dass die Betriebsgrösse von einem Grundkörper des Werkzeugs aufnehmbar ist.

**[0019]** Zur Übertragung des Messsignals an eine Auswerteeinheit kann am Werkzeug eine Signalübertragungseinrichtung, insbesondere eine Signalübertragungseinrichtung mit einem Signalverstärker, vorgesehen sein, wobei die Signalübertragungseinrichtung eine optische, akustische, mechanische oder eine elektromagnetische Signalübertragungseinrichtung, bevorzugt Mehrkanal-Telemetrie, insbesondere Vierkanal-Telemetrie, also eine Mehr- oder Vierkanal-Funkeinrichtung ist, und im Speziellen zur Übertragung des Messsignals ein Antennenring vorgesehen ist. Selbstverständlich kann die Signalübertragung auch anders, z.B. auf akustischem, insbesondere Ultraschall, optischem Wege oder auch mechanisch, z.B. über eine Schleifringanordnung, erfolgen.

**[0020]** Im Besonderen ist dabei das Werkzeug ein zerspanendes Werkzeug, insbesondere ein Bohrer und/oder ein Fräser, im Speziellen ein Messerstirnräskopf mit piezoelektrischer und/oder piezoresistiver Einzelschneidenkraftmessung, oder ein Hammer und/oder ein Bohrer und/oder ein Fräser zum Abtragen oder Zertrümmern von Gestein und/oder Metall und/oder Holz und/oder einem anderen Werkstoff.

**[0021]** Bei einem für die Praxis besonders wichtigen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemässen Werkzeugs handelt es sich um einen Messerstirnräskopf mit Einzelschneidenkraftmessung. Ein solcher Fräskopf kann zum Beispiel vier Schneiden umfassen, wobei an jeder Schneide ein sogenannter Slim-Line-Sensor angebracht ist. Slim-Line-Sensoren sind besonders kompakte, scheibenförmige Sensoren, deren Funktion auf dem piezoelektrischen und/oder piezoresistiven Effekt beruht. Zur Verstärkung der piezoelektrisch erzeugten Ladungsverschiebung können vier Signalmessverstärker, insbesondere vier unabhängige Ladungsmessverstärker, in den Messerkopf integriert sein. Die Übertragung der Signale, insbesondere Kraftsignale, aus dem rotierenden Werkzeug erfolgt über eine 4-Kanal-Telemetrie mit einer vorgebbaren Übertragungsrate, zum Beispiel mit einer Übertragungsrate  $X$  pro Kanal, so dass eine Prozessdynamik zum Beispiel bis zu einer bestimmten Frequenz, also bis etwa  $Y$  Hz auflösbar ist, wobei  $X$  und  $Y$  eine Zahl ist, die die Übertragungsrate bzw. die Auflösung für die Signalübertragung im speziellen Fall angibt.

**[0022]** Die Einzelschneidenkraftmessung am Messerkopf bei dem zuvor beschriebenen Messerstirnräskopf gemäss der vorliegenden Erfindung, weist hinsichtlich der eingangs genannten Schwachstellen von RCDs zahlreiche Vorteile auf. Die Sensoren können insbesondere eindeutig Aufschluss über alle Komponenten der Zerspankraft, also über die Horizontalkraftanteile und/oder die Normalkraftanteile der Zerspankraft an der einzelnen Werkzeugschneide geben. Dabei wird jeder Schneide eindeutig ihr individuelles Kraftsignal zugeordnet, so dass die Informationen nicht in Form eines komplexen Summensignals vorliegen. Dadurch kann der nicht unerhebliche Aufwand zur Identifikation einzelner Signalanteile aus dem Summensignal vermieden werden, bzw. die zuverlässige Auswertung einzelner spezifischer Signalanteile eines Werkzeugelements erstmals überhaupt zuverlässig realisiert werden, zumal die schlechte Signalauflösung der aus dem Stand der Technik bekannten Werkzeuge gerade für unerfahrene Anwender ein grosses Risiko der Fehlinterpretation beinhaltet. Die Reduktion der Anzahl möglicher Signalformen ist ein wesentlicher Faktor, der die grundsätzliche Auswertbarkeit komplexer Signale erstmals zuverlässig ermöglicht, insbesondere dann, wenn zu den statischen Kraftsignalen unvermeidliche Signaldynamiken des Werkzeug-Spindel-systems hinzutreten.

**[0023]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemässen Werkzeugs.

**[0024]** Die Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung ein erfindungsgemässes Werkzeug in Form eines Messerstirnfräskopfes mit Einzelschneidenkraftmessung, welches Werkzeug im Folgenden gesamthaft mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet.

**[0025]** Der Messerstirnfräskopf 1 ist in Fig. 1 schematisch im Betriebszustand dargestellt, wobei der Messerstirnfräskopf 1 eine Oberfläche eines Werkstücks W bearbeitet, indem an der Oberfläche des Werkstücks W in einer vorgegebenen Dicke Material abgetragen wird. Im speziellen Ausführungsbeispiel der Fig. 1 sind am Messerstirnfräskopf 1 vier Werkzeugelemente 2, 21, 22, 23, 24 in Form von vier Schneidplatten 2, 21, 22, 23, 24 vorgesehen, die das Werkstück W an seiner Oberfläche fräsend bearbeiten. Die vier Schneidplatten 2, 21, 22, 23, 24 sind über jeweils ein als Zwischenscheibe 4 ausgestaltetes Koppellement 4 an jeweils eine zugeordnete Messeinrichtung 3, 31, 32, 33, 34 angekoppelt, mit welcher Messeinrichtung 3, 31, 32, 33, 34 jeweils separat eine Betriebsgrösse einer Schneidplatte 2, 21, 22, 23, 24 detektierbar ist. D.h., hinter jeder Schneidplatte 2, 21, 22, 23, 24 befindet sich eine Messeinrichtung 3, 31, 32, 33, 34.

**[0026]** Da die Schneidenbelastung im Prozess zu einer verstärkten Kantenbelastung am Sensor 3, 31, 32, 33, 34 führen würde, dient die Zwischenscheibe 4 der flächigen Kraftverteilung auf das Sensorelement.

**[0027]** Im vorliegenden Beispiel der Fig. 1 ist die Betriebsgrösse zum Beispiel eine Zerspankraft und die Messeinrichtung 3, 31, 32, 33, 34 ist ein piezoelektrischer und/oder piezoresistiver Sensor, mit welchem die Zerspankraft, die an einer der Schneidplatten 2, 21, 22, 23, 24 anliegt, einzeln für jede der Schneidplatten 2, 21, 22, 23, 24 selektiv messbar ist.

**[0028]** Die Messeinrichtungen 3, 31, 32, 33, 34 sind mit einer Signalübertragungseinrichtung 5 signalverbunden, die im vorliegenden Beispiel einen nicht explizit dargestellten Signalverstärker umfasst. In einer speziellen Ausführungsvariante werden piezoelektrisch hervorgerufene Ladungsverschiebungen in den Messeinrichtungen 3, 31, 32, 33, 34 mit Hilfe von Ladungsmessverstärkern z.B. in ein Spannungssignal umgewandelt und verstärkt. Die Signalübertragungseinrichtung 5 ist weiter mit einem Antennenring 51 signalverbunden, mit welchem die Messsignale der Messeinrichtungen 3, 31, 32, 33, 34 in Form von elektromagnetischen Signalen an eine Auswerteeinheit 6 übertragbar sind. Bei dem in Fig. 1 dargestellten Beispiel werden mit Hilfe einer 4-Kanal-Telemetrie die gemessenen Signale vom rotierenden Werkzeug 1 über den Antennenring 51 auf einen stehenden, nicht rotierenden Teil der Signalverarbeitung übertragen. Die Auswerteeinheit 6 ist ihrerseits wiederum mit einer in Fig. 1 nicht dargestellten Steuerung und/oder Regelung für das Werkzeug signalverbunden, so dass die mit den Messeinrichtungen 3, 31, 32, 33, 34 separat für jede Schneidplatte 2, 21, 22, 23, 24 ermittelten Betriebsgrössen zur Überwachung und/oder Steuerung und/oder Regelung des Werkzeugs 1 im Betriebszustand herangezogen werden können.

**[0029]** Sowohl die Ladungsmessverstärker, die in der Signalübertragungseinrichtung 5 integriert und/oder mit dieser signalverbunden sind, und der rotierende Teil der Telemetrie sind mit Energie zu versorgen. Hierzu kann z.B. eine Batterie im rotierenden Teil des Werkzeugs 1 vorgesehen sein, welche im Betrieb genügend Kapazität für eine bestimmte Zeitdauer, z.B. für etwa eine halbe Stunde Nutzungsdauer, zur Verfügung stellt. Selbstverständlich kann die Energieversorgung des rotierenden Teils des Werkzeugs 1 auch auf andere Art, z.B. über einen Schleifkontakt durch eine externe Energiequelle im nicht rotierenden Teil des Werkzeugs 1 oder einer zugehörigen Werkzeugmaschine oder auf andere geeignete Weise, erfolgen.

**[0030]** Es versteht sich, dass die Erfindung auf die zuvor exemplarisch dargestellten Ausführungsbeispiele nicht beschränkt ist. Vielmehr ist das Wesen der Erfindung ganz allgemein darin zu sehen, dass die Einwirkung einer bestimmten relevanten Betriebsgrösse für jedes Werkzeugelement separat detektierbar und zur weiteren Verwendung auswertbar ist. Insbesondere, aber nicht nur, betrifft die Erfindung auch alle im Rahmen der Patentansprüche geeigneten Kombinationen der in dieser Anmeldung geschilderten Ausführungsbeispiele.

**[0031]** Zusammenfassend lassen sich die besonderen Vorzüge der vorliegenden Erfindung exemplarisch an dem für die Praxis besonders wichtigen Ausführungsbeispiel eines Messerstirnfräskopfes mit Einzelschneidenkraftmessung, insbesondere zur Messung der Radial-, und/oder Axial- und/oder Horizontal- und/oder Normalkomponente der Zerspankraft im Betriebszustand des Messerstirnfräskopfes, beschreiben. An jeder einzelnen Schneide eines vierschneidigen Messerstirnfräskopfes sind scheibenförmige, kompakte, auf dem piezoelektrischen Effekt beruhende Sensoren hoher Steifigkeit in einen Werkzeuggrundkörper integriert, mit welchen die auftretenden Kräfte praktisch weglos gemessen werden. Der Sensor befindet sich in Kraftflussrichtung hinter einer Zwischenscheibe, welche die prozessbedingt auftretende Kantenbelastung flächig verteilt. Die Sensoren sind unmittelbar auf dem Werkzeuggrundkörper befestigt. Zur Verstärkung der piezoelektrischen Ladungsverschiebung sind bevorzugt vier unabhängige 2-Bereichs-Miniatur-Ladungsmessverstärker in den Messerstirnfräskopf integriert. Die Übertragung der vier Kraftsignale erfolgt telemetrisch über vier Kanäle mittels Frequenzmodulation. Die Telemetrie besitzt eine Übertragungsrate von X kHz pro Kanal, so dass die maximale Auflösung der Signale auf X/2 kHz begrenzt ist. Ein Antennenring sorgt dabei für günstige Signalübertragungsbedingungen. Die Energieversorgung der Ladungsmessverstärker sowie des rotierenden Teils der Telemetrie wird beispielsweise über eine zentral angeordnete Batterie realisiert.

#### Bezugszeichenliste

**[0032]**

1 Werkzeug

- 2    Werkzeugelemente
- 21   erstes Werkzeugelement
- 22   Werkzeugelement
- 23   Werkzeugelement
- 24   Werkzeugelement
- 3    Messeinrichtungen
- 31   erste Messeinrichtung
- 32   Messeinrichtung
- 33   Messeinrichtung
- 34   Messeinrichtung
- 4    Koppelement
- 5    Signalübertragungseinrichtung
- 51   Antennenring
- 6    Auswerteinheit
- W    Werkstück

#### Patentansprüche

1. Werkzeug, umfassend ein erstes Werkzeugelement (2), insbesondere ein materialabtragendes erstes Werkzeugelement (2), wobei das erste Werkzeugelement (2) im Betriebszustand mit einer ersten Betriebsgrösse beaufschlagbar ist und eine erste Messeinrichtung (3) zur Bestimmung und Umwandlung der ersten Betriebsgrösse in ein Messsignal vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Messeinrichtung (3, 31) im Betriebszustand derart mit dem ersten Werkzeugelement (2, 21) zusammenwirkt, dass durch die erste Messeinrichtung (3, 31) im Wesentlichen nur die erste Betriebsgrösse des ersten Werkzeugelements (2, 21) erfassbar ist.
2. Werkzeug nach Anspruch 1, wobei das erste Werkzeugelement (2) ein zerspanendes erstes Werkzeugelement (2), insbesondere eine Schneidplatte und/oder ein Fräselement und/oder ein Bohrkopf zur Zerspanung eines Werkstücks (W) ist.
3. Werkzeug nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Werkzeug (1) mindestens zwei, insbesondere vier separate Werkzeugelemente (2, 21, 22, 23, 24) umfasst, und für jedes separate Werkzeugelement (2, 21, 22, 23, 24) eine eigene zugeordnete Messeinrichtung (3, 31, 32, 33, 34) vorgesehen ist.
4. Werkzeug nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die erste oder jede Messeinrichtung (3) ein Drucksensor oder ein Kraftsensor, insbesondere ein piezoelektrischer oder ein piezoresistiver Drucksensor oder Kraftsensor ist, und/oder die erste oder jede Messeinrichtung (3) ein Temperatursensor, insbesondere piezoresistiver Temperatursensor oder ein Widerstandstemperatursensor oder ein Thermoelement ist.
5. Werkzeug nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die erste oder jede Messeinrichtung (3) eine Messeinrichtung (3) zur Überwachung des Zustands des Werkzeugs (1), insbesondere zur Überwachung des Zustands des ihr zugeordneten Werkzeugelements (2) ist.
6. Werkzeug nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei zwischen dem ersten oder jedem Werkzeugelement (2) und der ihm zugeordneten Messeinrichtung (3) zur Übertragung der Betriebsgrösse ein Koppelement (4) vorgesehen ist.
7. Werkzeug nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Betriebsgrösse eine Kraft oder ein Druck oder ein Kraftfluss ist, die vom ersten oder von jedem Werkzeugelement (2), welches insbesondere als Schneidplatte ausgestaltet sein kann, auf die ihm zugeordnete Messeinrichtung (3) derart übertragbar ist, dass die Betriebsgrösse von einem Grundkörper (11) des Werkzeugs (1) aufnehmbar ist.
8. Werkzeug nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei am Werkzeug (1) eine Signalübertragungseinrichtung (5), insbesondere eine Signalübertragungseinrichtung (5) mit einem Signalverstärker, zur Übertragung eines Messsignals an eine Auswerteinheit (6) vorgesehen ist.

## CH 705 388 B1

9. Werkzeug nach Anspruch 8, wobei die Signalübertragungseinrichtung (5) eine optische, akustische, mechanische oder eine elektromagnetische Signalübertragungseinrichtung (5), bevorzugt Mehrkanal-Telemetrie, insbesondere Vierkanal-Telemetrie ist, und im Speziellen zur Übertragung des Messsignals ein Antennenring (51) vorgesehen ist.
10. Werkzeug nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Werkzeug ein zerspanendes Werkzeug (1), insbesondere ein Bohrer und/oder ein Fräser, im Speziellen ein Messerstirnfräskopf mit piezoelektrischer und/oder piezoresistiver Einzelschneidenkraftmessung ist, oder ein Hammer und/oder ein Bohrer und/oder ein Fräser zum Abtragen oder Zertrümmern von Gestein und/oder Metall und/oder Holz ist.

