

(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
31. Mai 2019 (31.05.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/101982 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23Q 17/09 (2006.01) *G01B 7/16* (2006.01)
F16D 66/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/082488

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. November 2018 (26.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 221 190.3
27. November 2017 (27.11.2017) DE

(71) Anmelder: UNIVERSITÄT STUTTGART [DE/DE];
Keplerstrasse 7, 70174 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: WEISS, André; Strohberg 18a, 70180 Stuttgart (DE). LIEWALD, Mathias; Sandbühlstraße 5/1, 71384 Weinstadt - Schnait (DE).

(74) Anwalt: HERZOG FIESSER & PARTNER PATENT-ANWÄLTE PARTG MBB; STÖBEL, Matthias, Dudenstraße 46, 68167 Mannheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING AT LEAST ONE METROLOGICALLY DETECTABLE VARIABLE RELATING A PROPERTY OF A SURFACE OF A TOOL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG MINDESTENS EINER MESSTECHNISCH ERFASSBAREN GRÖÖE IN BEZUG AUF EINE EIGENSCHAFT EINER OBERFLÄCHE EINES WERKZEUGS

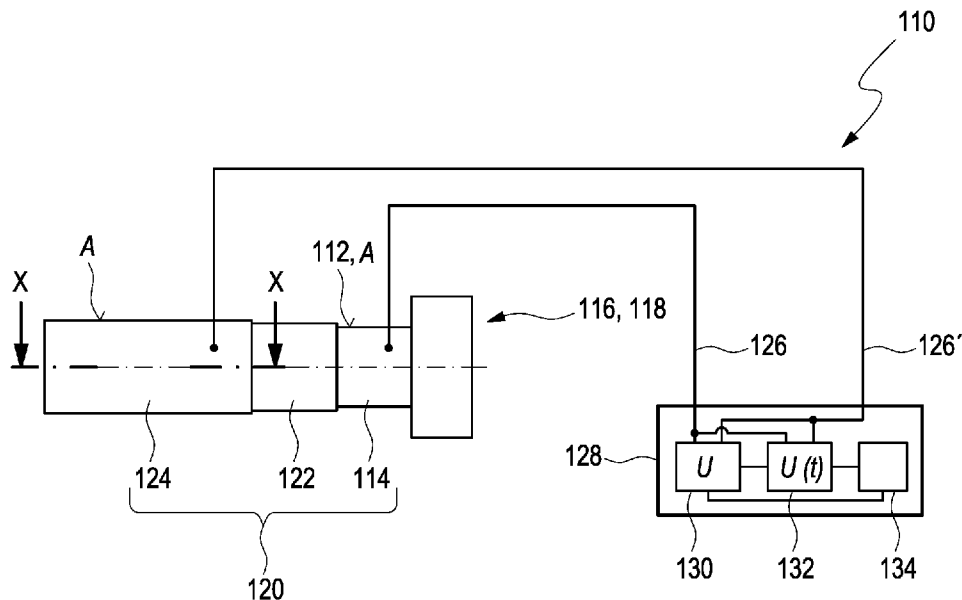


Fig. 1 A

(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for determining at least one metrologically detectable variable in respect of a property of a surface (112) of a tool (116). The method comprises the following steps: a) providing a tool (116), which comprises: a main body (114) having an electrically conductive surface (112); a capacitor (120); and at least two electrically conductive contacts (126, 126'), the capacitor (120) being formed by at least part of the electrically conductive surface (112) of the main body (114), at least one insulating layer (122) applied thereto, and at least one metallically conductive layer (124) applied thereto, the part



WO 2019/101982 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)

of the electrically conductive surface (112) of the main body (114) that is incorporated into the capacitor (120) and the metallicity conductive layer (124) being two electrically conductive surfaces of the capacitor (120), which are spatially separated from each other by the insulating layer (122) as a dielectric, the electrically conductive contacts (126, 126') being attached to the electrically conductive surface (112) of the main body (114) and to the metallicity conductive layer (124); b) applying a voltage to the capacitor (120) and determining an electrical variable; and c) evaluating a time curve of the electrical variable, whereby the at least one metrologically detectable variable relating to the property of the surface (112) of the tool (116) is determined. Thus, the determination of the mechanical wear of a surface of a tool (116), which surface is inserted in a functional element and is not necessarily accessible from the outside, is enabled, with automatic differentiation from further metrologically detectable variables. Consequently, the downtime of the functional element can be reduced and the process reliability during operation of the functional element can be increased.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche (112) eines Werkzeugs (116). Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte: a) Bereitstellen eines Werkzeugs (116), welches einen Grundkörper (114), der eine elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) aufweist, einen Kondensator (120) und mindestens zwei elektrisch leitfähige Kontakte (126, 126') umfasst, wobei der Kondensator (120) aus zumindest einem Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) des Grundkörpers (114), mindestens einer hierauf aufgetragenen isolierenden Schicht (122) und mindestens einer hierauf aufgetragenen metallisch leitfähigen Schicht (124) gebildet ist, wobei der in den Kondensator (120) einbezogene Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) des Grundkörpers (114) und die metallisch leitfähige Schicht (124) zwei elektrisch leitfähige Flächen des Kondensators (120) darstellen, welche durch die isolierende Schicht (122) als Dielektrikum räumlich voneinander getrennt sind, wobei die elektrisch leitfähigen Kontakte (126, 126') an die elektrisch leitfähige Oberfläche (112) des Grundkörpers (114) und an die metallisch leitfähige Schicht (124) angebracht sind; b) Beaufschlagen des Kondensators (120) mit einer elektrischen Spannung und Ermitteln einer elektrischen Größe; und c) Auswerten eines zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe, wodurch die mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) bestimmt wird. Damit wird die Bestimmung des mechanischen Verschleißes einer in einem Funktionselement eingebrachten und von außen nicht unbedingt zugänglichen Oberfläche eines Werkzeugs (116) unter automatischer Unterscheidung von weiteren messtechnisch erfassbaren Größen ermöglicht. Hierdurch lassen sich Ausfallzeiten des Funktionselements verringern und die Prozesssicherheit im Betrieb des Funktionselements erhöhen.

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung
5 mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer
Oberfläche eines Werkzeugs, ein Computerprogramm, welches dazu eingerichtet ist, um
die Schritte des Verfahrens durchzuführen, sowie ein Funktionselement, in welchem eine
derartige Vorrichtung vorliegt. Die messtechnisch erfassbare Größe umfasst hierbei
insbesondere einen mechanischen Verschleiß der Oberfläche des Werkzeugs, wobei das
10 Verfahren und die Vorrichtung gleichzeitig dafür eingesetzt werden können, um weitere
messtechnisch erfassbare Größen, bevorzugt eine Temperatur an der Oberfläche des
Werkzeugs, eine Krafteinwirkung auf die Oberfläche des Werkzeugs oder eine Drehzahl
in Bezug auf die Oberfläche des Werkzeugs zu bestimmen.

Stand der Technik

Aus dem Stand der Technik sind Verfahren und Vorrichtungen zu einer Bestimmung
mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer
Oberfläche eines Werkzeugs bekannt. Insbesondere kann hierbei ein mechanischer
20 Verschleiß der Oberfläche des Werkzeugs mittels einer Sichtprüfung der Oberfläche des
Werkzeugs oder einer Anwendung von Schall oder Ultraschall auf das Werkzeug
nachgewiesen werden. Während die Sichtprüfung der Oberfläche ein aufwendiges
und subjektives Verfahren darstellt, erfordert Körperschall eine aufwendige Messtechnik,
mit welcher sich Risse in der Oberfläche des Werkzeugs trotzdem nur schwierig
25 nachweisen lassen. Darüber hinaus können diese Verfahren und Vorrichtungen in der
Regel nicht während eines Betriebs eines Funktionselements, dessen Oberfläche
insbesondere im Hinblick auf Verschleiß überwacht werden soll, durchgeführt werden.

Für die Bestimmung weiterer messtechnisch erfassbarer Größen, insbesondere einer
30 Temperatur an der Oberfläche des Werkzeugs, einer Krafteinwirkung auf die Oberfläche
des Werkzeugs oder einer Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche des Werkzeugs, sind
darüber hinaus gesonderte Verfahren und Vorrichtungen erforderlich. Hierzu gehören
beispielsweise Pyrometer, Thermometer und/oder Wärmebildkameras zur Bestimmung
der Temperatur an der Oberfläche des Werkzeugs bzw. Kraftmessdosen mit
35 Dehnungsmessstreifen oder Piezoelemente für eine Ermittlung der Krafteinwirkung auf
die Oberfläche des Werkzeugs, während die Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche des

Werkzeugs über einer Messung einer Induktionsspannung, durch Einsatz eines Stroboskops oder durch absolute Winkelmesssysteme erfolgen kann.

5 DE 43 12 354 C1 offenbart einen Sensor zum Messen des Verschleißes der Oberfläche eines Maschinenteils als in das Maschinenteil mit dessen einem Verschleiß ausgesetzten Oberfläche fluchtend einzubringender Stift, in dem eine Reihenschaltung aus einer Vielzahl von Widerständen oder eine Parallelschaltung aus einer Vielzahl von Kapazitäten angeordnet ist, die jeweils über einen Leiter überbrückt bzw. verbunden sind, wobei jeder der Leiter mit einem unterschiedlichen Abstand von dem mit der einem Verschleiß ausgesetzten
10 Oberfläche fluchtenden Ende des Stiftes verlaufenden Abschnitt versehen ist und die beiden Enden der Reihenschaltung bzw. der Parallelschaltung über die Messanschlüsse nach außen geführt sind.

DE 37 01 643 A1 offenbart eine Meldeeinrichtung mit Signalgebereinrichtung für das
15 Melden des Verschleißzustandes mindestens einer Bürste einer elektrischen Schleifring- oder Kommutatormaschine mit einem in oder an der Bürste ein- oder angebauten Verschleißmeldekontakt, der bei Erreichen eines vorbestimmten Verschleißzustandes einen Signalgabestromkreis schließt, in dem eine Stromfühleinrichtung angeordnet ist, wobei in dem Signalgabestromkreis ein Frequenzgenerator und mindestens ein
20 Kondensator angeordnet sind, wobei die Kapazität des Kondensators derart auf die Frequenz des Frequenzgenerators abgestimmt ist, dass der Kondensator für den Strom der durch den Frequenzgenerator bestimmten Frequenz durchlässig ist,

EP 0 258 215 B1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Zustandswandlern zur
25 Messung des Verschleißes in der Oberfläche einer mechanischen Komponente. Das Verfahren umfasst eine Anbringung von elektrischen Leitern als Zustandswandler an der Oberfläche der Komponente mit einer derartigen Anordnung der Leiter, dass sie in Ansprache auf den gemessenen Zustand der Komponente ein elektrisches Signal aussenden, ferner eine Anbringung eines oder mehrerer mikroelektronischer Kreise an
30 der Oberfläche der Komponente, wobei die Kreise an die elektrischen Leiter angeschlossen und angeordnet sind, an eine signalverarbeitende Ausrüstung angeschlossen zu werden, sowie eine Anbringung einer Schutzschicht auf zumindest Teilen der Leiter und Kreise, wobei die elektrischen Leiter, Kreise und die Schutzschicht mittels einer bei der Herstellung von Halbleitern verwendeten Technik angebracht werden,
35 um eine atomar an die Komponente gebundene integrierte Einheit zu bilden.

Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs, ein Computerprogramm, welches dazu eingerichtet ist, um die Schritte des Verfahrens durchzuführen, sowie ein Funktionselement, in welchem eine derartige Vorrichtung vorliegt, bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der Technik nicht aufweisen.

Das Verfahren und die Vorrichtung sollen bevorzugt die Bestimmung des mechanischen Verschleißes einer in einem Funktionselement eingebrachten und von außen nicht unbedingt zugänglichen Oberfläche eines Werkzeugs, beispielsweise eines Lagers, insbesondere eines Kugellagers oder eines Gleitlagers, eines Zahnrades oder einer Turbine ermöglichen. Hierbei soll vorzugsweise eine möglichst automatische Unterscheidung von weiteren messtechnisch erfassbaren Größen, insbesondere von einer Temperaturänderung an der Oberfläche des Werkzeugs, von einer Krafteinwirkung auf die Oberfläche des Werkzeugs oder von einer Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche des Werkzeugs, möglich sein. Auf Basis einer derartigen Bestimmung insbesondere des mechanischen Verschleißes soll automatisiert eine Störungsmeldung erzeugt und an eine Steuerungseinheit des Funktionselements und/oder an das Funktionselement betreuende Bedienpersonal gesendet werden können. Insbesondere sollen damit Ausfallzeiten des Funktionselements vermindert, Ausschuss verringert und eine Prozesssicherheit im Betrieb des Funktionselements erhöht werden können.

Offenbarung der Erfindung

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs, ein Computerprogramm, welches dazu eingerichtet ist, um die Schritte des Verfahrens durchzuführen, sowie ein Funktionselement, in welchem eine derartige Vorrichtung vorliegt, mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Patentansprüchen.

In einem ersten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs.

Der Begriff des „Werkzeugs“ bezieht sich hierbei auf einen mechanisch stabilen Grundkörper, welcher einen Grundwerkstoff umfasst, wobei der Grundkörper selbst als Funktionselement ausgestaltet oder in einem Funktionselement vorliegen kann. Der Begriff des „Funktionselements“ bezeichnet hierbei ein technisches Gebilde, das für eine mechanische Einwirkung oder eine Umwandlung mindestens einer mechanischen Größe in eine andere mechanische Größe oder eine nicht-mechanische Größe, insbesondere eine elektrische Größe, ausgestattet ist. Der Begriff des Funktionselements kann daher einerseits einfache Werkzeuge, bevorzugt Stempel, Schneidplatten oder Matrizen, andererseits komplexere Werkzeuge, bevorzugt Lager, insbesondere Kugellager oder Gleitlager, Zahnräder oder Turbinen, vorzugsweise Kraftwerksturbinen, Flugzeugturbinen oder Schiffsschrauben, umfassen. Weitere Arten von Funktionselementen sind jedoch möglich.

Der Begriff der „Oberfläche“ des Werkzeugs bezieht sich hierbei auf eine von außen zugängliche räumliche Begrenzung des Werkzeugs, insbesondere des Grundkörpers des Werkzeugs oder des mit einer weiteren metallischen Schicht versehenen Grundkörpers des Werkzeugs, wobei die Oberfläche des Werkzeugs unabhängig davon ist, ob das Werkzeug nach einer Einbringung in ein Funktionselement von außen zugänglich bleibt oder nicht. Wie eingangs erwähnt umfasst, die messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf eine Eigenschaft der Oberfläche des Werkzeugs insbesondere einen mechanischen Verschleiß der Oberfläche des Werkzeugs, wobei das vorliegende Verfahren dazu eingerichtet ist, um den Verschleiß der Oberfläche des Werkzeugs von weiteren messtechnisch erfassbaren Größen, insbesondere von einer Temperaturänderung an der Oberfläche des Werkzeugs, von einer Krafteinwirkung auf die Oberfläche des Werkzeugs oder von einer Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche des Werkzeugs, möglichst automatisch unterscheiden zu können.

Das vorliegende Verfahren umfasst hierbei die im Folgenden beschriebenen Schritte a) bis c), wobei die Schritte a) bis c) bevorzugt nacheinander ausgeführt werden können, wobei es allerdings vorteilhaft sein kann, die Schritte b) und c) mehrfach zu wiederholen. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

- a) Bereitstellen eines Werkzeugs, welches einen Grundkörper, der eine elektrisch leitfähigen Oberfläche aufweist, einen Kondensator und mindestens zwei elektrisch leitfähige Kontakte umfasst, wobei der Kondensator aus zumindest einem Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers, mindestens einer hierauf aufgetragenen isolierenden Schicht und mindestens einer hierauf aufgetragenen

metallisch leitfähigen Schicht gebildet ist, wobei der in den Kondensator einbezogene Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers und die metallisch leitfähige Schicht zwei elektrisch leitfähige Flächen des Kondensators darstellen, welche durch die isolierende Schicht als Dielektrikum räumlich voneinander getrennt sind, wobei die elektrisch leitfähigen Kontakte an die elektrisch leitfähige Oberfläche des Grundkörpers und an die metallisch leitfähige Schicht angebracht sind;

b) Beaufschlagen des Kondensators mit einer elektrischen Spannung und Ermitteln einer weiteren elektrischen Größe; und

c) Auswerten eines zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe, wodurch sich die mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe, welche sich auf die Oberfläche des Werkzeugs bezieht, bestimmen lässt.

Gemäß Schritt a) wird zunächst ein Werkzeug bereitgestellt, welcher einen Kondensator und elektrisch leitfähige Kontakte umfasst. Hierbei ist der Kondensator aus zumindest einem Teil einer elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers des betreffenden Werkzeugs, mindestens einer hierauf aufgetragenen isolierenden Schicht und mindestens einer hierauf aufgetragenen metallisch leitfähigen Schicht gebildet, wobei der in den Kondensator einbezogene Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers und die metallisch leitfähige Schicht zwei elektrisch leitfähige Flächen des Kondensators darstellen, welche durch die isolierende Schicht als Dielektrikum räumlich voneinander getrennt sind.

In einer bevorzugten Ausgestaltung kann der Kondensator aus einem Teil einer elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers des betreffenden Werkzeugs, genau einer hierauf aufgetragenen isolierenden Schicht und genau einer hierauf aufgetragenen metallisch leitfähigen Schicht gebildet sein. Darüber hinaus können weitere Schichten vorgesehen sein, insbesondere eine zweite isolierende Schicht, welche auf die metallisch leitfähige Schicht aufgebracht sein kann. In vorteilhafte Weise kann so ein Verschleiß erst nach einem Durchdringen des Isolators erfasst werden, d.h. wenn ein durch den Verschleiß hervorgerufener Materialabtrag an der Oberfläche eine festgelegte Tiefe erreicht hat. Hierdurch kann zum Beispiel Verschleiß erst dann beobachtbar werden, wenn der Materialabtrag die Schichtdicke des Isolators erreicht hat. Werden dagegen nur eine Krafteinwirkung oder eine Temperaturänderung erfasst, kann davon ausgegangen werden, dass kein beobachtbarer Verschleiß auftritt. Weitere Ausgestaltungen des Kondensators sind möglich.

In einer weiteren besonderen Ausgestaltung kann der Kondensator als Multilagenstruktur in Form einer Mehrzahl von abwechselnd aufeinander aufgetragenen isolierenden Schichten und metallisch leitfähigen Schichten bereitgestellt werden. Die

5 Multilagenstruktur kann somit insbesondere eine erste isolierende Schicht, eine hierauf aufgetragene erste metallisch leitfähige Schicht, eine hierauf aufgetragene zweite isolierende Schicht, eine hierauf aufgetragene zweite metallisch leitfähige Schicht und ggf. weitere, in dieser Reihenfolge aufgetragene Schichten umfassen, wobei zwei metallisch leitfähige Schichten, welche an dieselbe isolierende Schicht angrenzen, eine Teilkapazität
10 ausbilden können. Hierdurch kann in vorteilhafter Weise überwacht werden, in welcher Tiefe sich der Verschleiß befinden kann. Sind mehrere unterschiedliche Schichten übereinander in Parallelschaltung angeordnet, so kann durch sukzessiven Abtrag der Schichten aus den messtechnisch erfassbaren Teilkapazitäten eine Tiefe des gesamten Materialabtrags ermittelt werden. Bei Erfassung einer Krafteinwirkung kann durch eine
15 Reihenschaltung der Teilkapazitäten die gesamte Kapazität des Kondensators erhöht werden, wodurch, solange kein Verschleiß auftritt, die Erfassung der Krafteinwirkung mit einer höheren Sensitivität vorgenommen werden kann.

Gemäß der vorliegenden Erfindung weist somit zumindest ein Teil der Oberfläche des
20 Grundkörpers elektrisch leitfähige Eigenschaften aus. Dies trifft auf eine Vielzahl von Grundkörpern, welche selbst als Funktionselement ausgestaltet oder in einem dort genannten Funktionselement vorliegen können, zu, da der Grundwerkstoff häufig ein elektrisch leitfähiges Metall, eine metallisch leitfähige Legierung oder einen metallisch leitfähigen Stahl umfasst. Für den Fall, dass der Grundwerkstoff des Werkzeugs
25 zumindest an seiner Oberfläche elektrisch isolierend ausgestaltet ist, kann der zumindest an der Oberfläche elektrisch isolierende Grundwerkstoff derart mit einer weiteren metallisch leitfähigen Schicht versehen sein, dass hierdurch die erwähnte elektrisch leitfähige Oberfläche des Grundkörpers gebildet sein kann. Damit kann das vorliegende Verfahren auch für elektrisch nichtleitende Grundwerkstoffe eingesetzt werden.

30 Material und Dicke der den Kondensator gemäß der vorliegenden Erfindung ausbildenden Schichten können hierbei vorzugsweise so gewählt werden, dass eine möglichst einfache Herstellung und eine möglichst hohe Beständigkeit des Kondensators, insbesondere im Hinblick auf eine zu erwartende Flächenpressung auf das Werkzeug an einer Stelle, an
35 welche sich der Kondensator befindet, erzielt werden kann. Da hierbei mehrere verschiedene Schichten aufeinander aufgetragen werden, werden Material, Dicke und Art

der Aufbringung der Schichten vorzugsweise derart ausgewählt, dass sich eine möglichst gute Schichthftung zwischen den einzelnen Schichten ergibt. Ebenso kann in vorteilhafte Weise hierbei berücksichtigt werden, dass die außen angeordnete metallisch leitfähige Schicht möglicherweise abgetragen wird. Für einen Einsatz auf Wirkflächen von verschleißintensiven Werkzeugen wird ein besonders harter und abrasionsbeständiger Aufbau des mindestens einen Kondensators vorgeschlagen, welcher auch einer hohen Flächenpressung standhalten kann. Darüber hinaus sind eine geringe Reibung und eine auch bei hohen Temperaturen beständige Schichten wünschenswert. In einer weiteren bevorzugten Ausführung können die einzelnen Schichten lokal möglichst gut zugänglich sein, insbesondere um eine Anbringung von elektrisch leitfähigen Kontakten an einzelne Schichten zu ermöglichen.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung kann das gesamte Bauteil an unterschiedlichen Stellen verschieden beschichtet werden. Hierbei kann vorzugsweise zwischen Wirkflächen, Ankonstruktionsflächen und Kontaktflächen unterschieden werden. Die Wirkflächen, bei welchen erwartet wird, dass sie im Betrieb des Werkzeugs einem direkten Verschleiß ausgesetzt sein können, wird der vorgeschlagene Kondensator vollständig mit den genannten Schichten bereitgestellt. Dem gegenüber stellen die Ankonstruktionsflächen eine Verbindung zwischen den Wirkflächen und den Kontaktflächen dar, wofür es genügen kann, eine jeweilige metallisch leitende Schicht zur jeweiligen Kontaktfläche bereitzustellen. An den Kontaktflächen kann schließlich eine Verkabelung des Messsystems angebracht werden. Auf diese Weise kann die vorgeschlagene Beschichtungskombination zu einem Sensor ausgestaltet werden.

Als die isolierende Schicht eignen sich bevorzugt eine Metalloxidschicht, insbesondere eine Aluminiumoxidschicht, eine Keramiksicht oder eine isolierende Lackschicht in einer Schichtdicke von 1 μm bis 50 μm , bevorzugt von 5 μm bis 25 μm , insbesondere 8 μm bis 15 μm . In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung kann hierbei die isolierende Schicht eine möglichst gleichbleibende Schichtdicke aufweisen, um auf diese Weise einen möglichst gleichmäßigen Abstand zwischen der aus dem Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers und der metallisch leitfähigen Schicht gebildeten Flächen des Kondensators zu ermöglichen, welcher gemäß der unten stehenden Gleichung (2) in die Bestimmung der messtechnisch erfassbaren Größe mit eingehen kann. Vorzugsweise weisen die für die isolierende Schicht eingesetzten Materialien eine elektrische Leitfähigkeit von höchstens 10^{-6} S/m, bevorzugt von höchstens 10^{-8} S/m, auf.

Als die metallisch leitfähige Schicht oder die weitere metallisch leitfähige Schicht eignen sich bevorzugt Metallfilme, welche insbesondere Titan, Titannitrid, Titancarbid, Chromnitrid, Chromcarbonitrid oder eine Kombination hiervon aufweisen können, welche durch Aufdampfen, Eintauchen oder ein anderes bekanntes Verfahren zur Herstellung einer Schicht aufgebracht werden, oder ein elektrisch leitfähiger Lack (Leitlack), ebenfalls in einer Schichtdicke von 1 µm bis 50 nm, bevorzugt von 5 µm bis 25 µm, insbesondere 8 µm bis 15 µm. Vorzugsweise weisen die für die metallisch leitfähige Schicht oder die weitere metallisch leitfähige Schicht eingesetzten Materialien eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 10^6 S/m, bevorzugt von mindestens 10^7 S/m, auf. Andere hier nicht ausdrücklich aufgeführte Materialien können jedoch ebenfalls eingesetzt werden.

Damit kann der erfindungsgemäß bereitgestellte Kondensator als passives elektrisches Bauelement dazu eingesetzt werden, um in der als Dielektrikum eingesetzten isolierenden Schicht des Kondensators elektrische Ladung in Form eines elektrischen Feldes zu speichern. Ein aus der so in dem Kondensator gespeicherten elektrischen Ladung Q und der an dem Kondensator anliegenden elektrischen Spannung U gebildeter Quotient wird gemäß Gleichung (1) üblicherweise als elektrische Kapazität C bezeichnet und kann durch Anlegen der elektrischen Spannung U an den Kondensator ermittelt werden:

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (1)$$

Wird an den Kondensator alternativ oder zusätzlich Wechselstrom angelegt, so lässt sich messtechnisch eine komplexe Impedanz Z als Funktion der mindestens einen Frequenz f des angelegten Wechselstroms erfassen.

Gemäß Schritt b) erfolgt hierzu ein Beaufschlagen des Kondensators mit einer elektrischen Spannung und Ermitteln einer elektrischen Größe. Hierbei kann die elektrische Spannung U ausgewählt werden aus einer elektrischen Gleichspannung U_0 und/oder einer elektrischen Wechselspannung $U(t)$, welche sich zeitlich insbesondere mit der mindestens einen Frequenz f verändern kann. Die so ermittelte elektrische Größe kann hierbei vorzugsweise eine Änderung eines Parameters der an den Kondensator angelegten elektrischen Spannung U , insbesondere eine Änderung von Amplitude $|U|$, Phase φ und/oder Frequenz f der an den Kondensator angelegten elektrischen Spannung U , umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann eine mit der an den

Kondensator angelegten elektrischen Spannung U in Beziehung stehende elektrische Größe, vorzugsweise die komplexe Impedanz Z , ermittelt werden.

Damit der Kondensator mittels der elektrischen Spannung beaufschlagt und eine elektrische Größe ermittelt werden kann, verfügt das Werkzeug weiterhin über mindestens zwei elektrisch leitfähige Kontakte, welche einerseits an die elektrisch leitfähige Oberfläche des Grundkörpers und andererseits an die metallisch leitfähige Schicht angebracht sind. Auf diese Weise kann zwischen den elektrisch leitfähigen Flächen des Kondensators die gewünschte elektrische Spannung angelegt werden. Bei den elektrisch leitfähigen Kontakten kann es sich hierbei jeweils insbesondere um eine elektrisch leitfähige Verbindung aus Drahtleitern oder Wirebonds handeln; eine drahtlose induktive Übermittlung ist jedoch ebenfalls möglich.

Für die Kapazität C des Kondensators, welcher die aus dem Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers des Werkzeugs und der metallisch leitfähigen Schicht gebildeten elektrisch leitfähigen Flächen und die die beiden elektrisch leitfähigen Flächen räumlich voneinander trennende isolierende Schicht umfasst, kann hierbei gemäß Gleichung (2) die folgende Beziehung

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (2)$$

eingesetzt werden, wobei ϵ_0 die elektrische Feldkonstante, ϵ_r eine materialbezogene relative Permittivität des für die isolierende Schicht eingesetzten Dielektrikums, A eine Größe der aus der metallisch leitfähigen Schicht gebildeten elektrisch leitfähigen Fläche und d eine Schichtdicke des Dielektrikums, welche hier dem Abstand zwischen der aus dem Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers des Werkzeugs und der metallisch leitfähigen Schicht entspricht.

Unter Verwendung der Gleichung (2) können sich hierbei insbesondere die folgenden Konstellationen ergeben. Wird beispielsweise die metallisch leitfähige Schicht an der Oberfläche des Kondensators in Folge von Verschleiß beschädigt, so wird damit ein Teil der metallisch leitfähigen Schicht abgetragen, was zu einer Verringerung der Größe A der Fläche der metallisch leitfähigen Schicht führen kann. Gemäß Gleichung (2) kann führt die Verringerung der Größe A zu einer Abnahme der Kapazität C des vorliegenden Kondensators. Werden dagegen das Werkzeug und somit auch seine Oberfläche erwärmt, so dehnen sich die darin vorhandenen Materialien aus, was im Allgemeinen zu

einer Zunahme der Schichtdicke d des Dielektrikums und so gemäß Gleichung (2) somit ebenfalls zu einer Abnahme der Kapazität C des vorliegenden Kondensators führen kann. Im umkehrten Fall einer Abkühlung des Werkzeugs und somit auch seiner Oberfläche, so ziehen sich die darin vorhandenen Materialien zusammen, was im Allgemeinen zu einer Verringerung der Schichtdicke d des Dielektrikums und so gemäß Gleichung (2) somit zu einer Zunahme der Kapazität C des vorliegenden Kondensators führen kann. Eine Zunahme der Kapazität C des vorliegenden Kondensators kann jedoch auch dann auftreten, wenn, insbesondere während des Betriebs des Formkörpers, eine Kraft F und damit ein Druck $p = \frac{F}{A}$ auf die Fläche A aufgebracht wird, wodurch die Schichtdicke d des Dielektrikums ebenfalls verringert wird und dieselbe Folge gemäß Gleichung (2) beobachtet werden kann.

Gemäß Schritt c) wird daher die mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche des Werkzeugs durch Auswerten eines zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe bestimmt. Der Begriff des „zeitlichen Verlaufs“ beschreibt hierbei eine Art einer Veränderung der ausgewählten elektrischen Größe, insbesondere die an dem Kondensator anliegende elektrische Spannung U , über einen Zeitraum, über welchen die ausgewählten elektrischen Größe und damit ihre zeitliche Änderung erfasst werden kann. Vorzugsweise erfolgt die Aufnahme des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe während eines Zeitraums, in welchem das Werkzeug nicht in Kontakt mit einem weiteren Werkzeug, insbesondere nicht mit einem das Werkzeug beaufschlagenden Werkstück, steht. Aus dem so ermittelten zeitlichen Verlauf, welcher insbesondere mit einer Eigenschaft der Oberfläche des Kondensators korreliert ist, kann bei bekannten Aufbau des Kondensators im Hinblick auf dessen Struktur und Materialien auf eine Eigenschaft, welche mit der Oberfläche des Grundkörpers in Beziehung steht, zurückgeschlossen werden.

Bei einer Auswertung des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe, insbesondere die an dem Kondensator anliegende elektrische Spannung U , über den ausgewählten Zeitraum kann somit vorzugsweise wie folgt vorgegangen werden:

- Zunächst kann ermittelt werden, ob eine Verringerung oder eine Erhöhung der Kapazität des Kondensators innerhalb des ausgewählten Zeitraums auftritt.
- Kann hierbei eine Verringerung der Kapazität des Kondensators beobachtet werden, so kann ein Auftreten eines mechanischen Verschleißes der Oberfläche oder eine Temperaturzunahme an der Oberfläche vorliegen. Während das

Auftreten eines Verschleißes zu einer schlagartigen Änderung der Kapazität führen kann, kann sich eine Temperaturzunahme nur langsam auf die Kapazität auswirken, da eine Erwärmung des Werkzeugs und damit seiner Oberfläche nicht schlagartig erfolgen kann. Somit kann nun überprüft werden, ob der zeitliche Verlauf der elektrischen Größe über den ausgewählten Zeitraum schlagartig oder nur allmählich erfolgt.

- Kann hierbei jedoch eine Erhöhung der Kapazität des Kondensators beobachtet werden, so kann eine Temperaturzunahme an der Oberfläche oder eine Krafteinwirkung auf die Oberfläche vorliegen. Während sich auch eine Temperaturabnahme nur langsam auf die Kapazität auswirken kann, da eine Abkühlung des Werkzeugs und damit seiner Oberfläche nicht schlagartig erfolgen kann, kann ein zeitlicher Verlauf der Krafteinwirkung auf die Oberfläche bekannt sein und insbesondere auch zu einer schlagartigen Änderung der Kapazität führen. Somit kann auch hier nun überprüft werden, ob der zeitliche Verlauf der elektrischen Größe über den ausgewählten Zeitraum nur allmählich oder schlagartig, insbesondere analog zu dem zeitlichen Verlauf der Krafteinwirkung auf die Oberfläche, erfolgt.
- Treten innerhalb des ausgewählten Zeitraums periodisch eine Verringerung und eine Erhöhung der Kapazität des Kondensators auf, so kann sich das Werkzeug in einer Drehung befinden, deren Periode sich ebenfalls aus dem zeitlichen Verlauf der elektrischen Größe bestimmen lassen kann.

Diese beschriebenen Effekte können somit durch die Auswertung des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe, insbesondere die an dem Kondensator anliegende elektrische

Spannung U , über den ausgewählten Zeitraum rechenstechnisch voneinander getrennt werden, insbesondere mittels einer unten näher beschriebenen Messeinrichtung. Hierbei können, wie oben dargestellt, aus einem Gradienten des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe einerseits zwischen dem Auftreten des mechanischen Verschleißes der Oberfläche des Werkzeugs oder der Temperaturzunahme an der Oberfläche des

Werkzeugs bzw. andererseits zwischen der Krafteinwirkung auf die Oberfläche des Werkzeugs oder der Temperaturabnahme an der Oberfläche des Werkzeugs

unterschieden werden. Der Fachmann kann hierbei durch einfache Versuche mittels eines erfindungsgemäßen Werkzeugs oder eines Prototypen hiervon ermitteln, welche Änderungen als schlagartig oder als allmählich betrachtet werden können bzw. welche Gradienten des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe jeweils auf die eine oder die andere messtechnisch erfassbare Größe hinweisen können. Weitere Auswertungen sind

möglich, insbesondere bei bekannter Kraft auf eine Fläche, eine Lage und/oder eine Überdeckung, welche das Werkzeug mit der Oberfläche aufweisen kann, zu ermitteln.

5 Um eine möglichst hohe Genauigkeit des Messsystems zu erzielen, kann zumindest eine der messtechnisch erfassbaren Größe, z. B. Temperatur, Drehzahl oder Krafteinwirkung, zusätzlich in einer gesonderten Messeinrichtung erfasst werden und insbesondere dazu eingesetzt werden, um deren Einfluss auf die zu bestimmende elektrische Größe zu ermitteln und vorzugsweise zu kompensieren. Folgend kann ein so ermittelter Wert für die messtechnisch erfassbare Größe dazu dienen, um die dadurch bedingte Änderung des
10 Wertes für die Kapazität zu ermitteln und von der zu bestimmenden elektrischen Größe abzuziehen, welche somit mit einer höheren Genauigkeit bestimmt werden kann.

In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung daher ein Computerprogramm, welches dazu eingerichtet ist, um die Schritte des hierin beschriebenen Verfahrens zur
15 Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs durchzuführen. Das Computerprogramm kann hierbei insbesondere in einem elektronischen Speicher, welcher sich intern in der Messeinrichtung oder in einer in die Messeinrichtung einfügbaren tragbaren Speichereinrichtung befinden kann, vorgehalten werden. Alternativ oder zusätzlich kann
20 das Computerprogramm extern, insbesondere auf einem Server oder in einer Cloud, gespeichert und online zur Verfügung gestellt werden.

In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine
25 Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs. Diese Vorrichtung umfasst:

- einen Grundkörper, welcher eine elektrisch leitfähige Oberfläche aufweist,
- einen Kondensator, welcher zumindest aus einem Teil einer elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers, mindestens einer hierauf aufgetragenen isolierenden Schicht und mindestens einer hierauf aufgetragenen metallisch
30 leitfähigen Schicht gebildet ist, wobei der in den Kondensator einbezogene Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche des Grundkörpers und die metallisch leitfähige Schicht zwei elektrisch leitfähige Flächen des Kondensators darstellen, welche durch die isolierende Schicht als Dielektrum räumlich voneinander getrennt sind;
- mindestens zwei elektrisch leitfähige Kontakte, wobei ein erster elektrisch
35 leitfähiger Kontakt an die elektrisch leitfähige Oberfläche des Grundkörpers

angebracht ist und wobei ein zweiter elektrisch leitfähiger Kontakt an die metallisch leitfähige Schicht angebracht ist; und

- eine Messeinrichtung, welche dazu eingerichtet ist, um den Kondensator mit einer elektrischen Spannung zu beaufschlagen, um eine elektrische Größe zu ermitteln und um aus einem zeitlichen Verlauf der elektrischen Größe die mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche des Werkzeugs zu bestimmen.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist die Vorrichtung zur Durchführung des hierin beschriebenen Verfahrens zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs eingerichtet. Für weitere Einzelheiten in Bezug auf die Vorrichtung wird auf die Beschreibung des Verfahrens sowie auf die Ausführungsbeispiele verwiesen.

Bei der Messeinrichtung, welche auch als „Auswerteeinrichtung“ bezeichnet werden kann, kann es sich vorzugsweise um eine elektronisch steuerbare Messeinheit handeln, welche insbesondere über einen Computer, einen Mikrocomputer oder einen programmierbaren Chip, z.B. eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (engl. *application-specific integrated circuit*; ASIC) oder ein FPGA (engl. *field-programmable gate Array*), verfügen kann, wobei die Messeinrichtung auf das Computerprogramm, das zur Durchführung des Verfahrens eingerichtet ist, zugreifen kann. Die Messeinrichtung kann hierbei insbesondere einen Spannungsgenerator zur Erzeugung einer elektrischen Spannung, eine Messvorrichtung zur Erfassung eines zeitlichen Verlaufs der elektrischen Spannung und eine Berechnungseinheit zur Bestimmung der mindestens einen messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche des Werkzeugs aus dem zeitlichen Verlauf der elektrischen Spannung aufweisen. Andere Ausgestaltungen der Messeinrichtung sind jedoch möglich, bevorzugt eine Integration der Messeinrichtung in eine Steuereinheit, welche zur Steuerung eines die Vorrichtung umfassenden Funktionselements eingerichtet sein kann.

In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Funktionselement, welches eine Vielzahl von Werkzeugen umfasst, wobei mindestens eines der Werkzeuge oder ein Teil hiervon in Form einer hier beschriebenen Vorrichtung ausgestaltet ist. Wie bereits oben erwähnt, kann hierbei das Funktionselement in Form eines einfachen Werkzeugs, bevorzugt als Stempel, Schneidplatte oder Matrize, oder andererseits als komplexeres Werkzeug, bevorzugt als Lager, insbesondere als Kugellager oder Gleitlager, als Zahnrad

oder als Turbine, vorzugsweise als Kraftwerksturbine, Flugzeugturbine oder Schiffsschraube, ausgestaltet sein, wobei mindestens eine Vorrichtung vorzugsweise an mindestens einer ausgewählten Stelle in dem Funktionselement vorliegen kann. Bei der ausgewählten Stelle in dem Funktionselement kann es sich insbesondere um eine während des Betriebs des Funktionselements besonders häufig oder besonders intensiv beaufschlagbare Fläche in dem Funktionselement handeln. Beispielsweise kann die Vorrichtung auf eine Innenseite einer Matrice, auf eine Lauffläche eines Kugellagers, auf eine Zahnflanke eines Zahnrades aufgebracht sein. Weitere Funktionselemente und weitere ausgewählte Stellen zur Einbringung der Vorrichtung in das Funktionselement sind jedoch denkbar. Für weitere Einzelheiten in Bezug auf das Funktionselement wird auf die Beschreibung der Vorrichtung sowie auf die Ausführungsbeispiele verwiesen.

Das vorliegende Verfahren und die vorgeschlagene Vorrichtung eignen sich bevorzugt für die Bestimmung des mechanischen Verschleißes einer in einem Funktionselement eingebrachten und von außen nicht unbedingt zugänglichen Oberfläche eines Werkzeugs, insbesondere eines Kugellagers, eines Zahnrades oder einer Turbine. Hierbei kann vorzugsweise eine automatische Unterscheidung von weiteren messtechnisch erfassbaren Größen, insbesondere von einer Temperaturänderung an der Oberfläche des Werkzeugs, von einer Krafteinwirkung auf die Oberfläche des Werkzeugs und/oder von einer Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche des Werkzeugs, ermöglicht werden.

Auf Basis der derartigen Bestimmung des mechanischen Verschleißes kann automatisiert eine Störungsmeldung erzeugt und an eine Steuerungseinheit des Funktionselements und/oder an das Funktionselement betreuendes Bedienpersonal gesendet werden können. Insbesondere lassen sich auf diese Weise Ausfallzeiten des Funktionselements verringern und eine Prozesssicherheit während des Betriebs des Funktionselements erhöhen.

Vorteile der Erfindung

Das vorliegende Verfahren und die vorgeschlagene Vorrichtung insbesondere folgende Funktionen:

- Bereitstellen eines Kondensators mittels einer Beschichtung;
- Bereitstellen eines Kondensators, in welchem die geometrischen Anordnung und

die Gestaltung des Kondensators, unabhängig von dem Grundaufbau „elektrisch leitende Schicht – elektrisch isolierende Schicht – metallisch leitende Schicht“ eine Bedeutung in einem Betrieb des Funktionselements einnimmt;

- Anwenden eines Kondensators auf einer Außenhaut einer Wirkfläche;
 - 5 – Aufbringen einer elektrisch isolierenden Schicht mit darauffolgender metallisch leitender Schicht auf einem Werkzeug
 - Verwendung einer Verringerung einer Größe A der Fläche des Kondensators;
 - Bereitstellen eines Sensortyps mittels einer Beschichtung;
 - Separate Zugänglichkeit von einzelnen Schichten auf einem Werkzeug;
 - 10 – Aufbringen eines lokal unterschiedlichen Beschichtungsaufbaus auf das Werkzeug;
 - Nutzung eines Kondensators nicht als elektrische Komponente in einem Schaltkreis zur Speicherung elektrischer Energie, sondern als Sensor zur Bestimmung einer oder mehrerer messtechnisch erfassbarer Größen in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs;
 - 15 – Nutzung und Messung einer Zerstörung einer Fläche eines Kondensators;
 - Entkopplung von verschiedenen Einflüssen auf eine Änderung der Kapazität;
 - Ermöglichung einer exakten Messung der Änderung der Kapazität;
 - Messung der Kapazität zum Nachweis eines Verschleißes;
 - Messen des Verschleißes der Oberfläche während des Betriebs des Werkzeugs;
 - 20 – Ermöglichen einer Aussage über einen prozentualen Abrieb der Wirkfläche; und
 - Ermöglichen einer Aussage über auf die Wirkfläche einwirkende Kraft, die Temperatur des Bauteils und, bei bewegten Bauteilen, über die Umdrehung des Bauteils.
- 25 Wie oben beschrieben, wird bei der Anwendung der vorliegenden kapazitiven Verschleißmessung ein Effekt ausgenutzt, welcher auf einer Änderung der Kapazität des Kondensators durch einen Abtrag der Fläche A des Kondensators beruht. Die typische Hauptanwendung von Kondensatoren, welche in einer Speicherung und Bereitstellung von elektrischer Energie liegt, ist dagegen nicht relevant für das vorliegende Verfahren.
- 30 Die für die vorliegende Anwendung erforderliche Kondensatorfläche kann nicht mit herkömmlichen Kondensatoren verglichen werden; vielmehr ermöglichen konstruktive Änderungen eine Messung des Verschleißes während des Betriebs. Dadurch ergeben sich neuartige und, je nach Anwendung, besondere Anforderungen an die Kondensator-Komponenten, welche sich von einem konventionellen Kondensator deutlich
- 35 unterscheiden können.

Kurze Beschreibung der Figuren

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung ohne Beschränkung der
5 Allgemeinheit näher erläutert. Hierbei zeigen:

Figuren 1A und 1B eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels für eine erfindungsgemäße Vorrichtung in Seitenansicht (Figur 1A) sowie
10 einen Querschnitt entlang der Linie X-X (Figur 1B); und

Figur 2 eine schematische Darstellung zur Durchführung von Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Ausführungsformen der Erfindung

15 Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Vorrichtung 110 zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche 112 eines Grundkörpers 114 eines Werkzeugs 116 in schematischer, nicht-maßstäblicher Darstellung. Während in Figur 1A eine Seitenansicht
20 des beispielhaft als Stempel 118 ausgeführten Werkzeugs 116 dargestellt ist, zeigt Figur 1B einen Querschnitt durch den Stempel 118 entlang der in Figur 1A angedeuteten Linie X-X. Anstelle des Stempels 118 kann das Werkzeug 116 jedoch auch eine beliebige andere Form annehmen und insbesondere als Funktionselement, bevorzugt als Schneidplatte, Matrize, Kugellager, Zahnrad oder Turbine, insbesondere als
25 Kraftwerksturbine, Flugzeugturbine oder Schiffsschraube, oder eines Teils hiervon ausgeführt sein. Weitere Ausführungen sind jedoch möglich.

Die in Figur 1 schematisch dargestellte Vorrichtung 110 umfasst einen Kondensator 120, welcher aus einem Teil einer elektrisch leitfähigen Oberfläche 112 des Grundkörpers 114
30 des Werkzeugs 116, einer auf der Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 aufgetragenen isolierenden Schicht 122 und einer auf die isolierende Schicht 122 aufgetragenen metallisch leitfähigen Schicht 124 ausgebildet ist. Für den Fall, dass der Grundkörper 114 zumindest an seiner Oberfläche ein elektrisch isolierendes Material aufweisen sollte, kann der zumindest an der Oberfläche 112 elektrisch isolierende Grundwerkstoff des
35 Werkzeugs 116 mit einer weiteren metallisch leitfähigen Schicht (nicht dargestellt) versehen sein, so dass hierdurch die elektrisch leitfähige Oberfläche 112 des

Grundkörpers 114 gebildet werden kann. Der in den Kondensator 120 einbezogene Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 und die metallisch leitfähige Schicht 124 bilden zwei elektrisch leitfähige Flächen A des Kondensators 120 aus, welche durch die isolierende Schicht 122, die über eine Schichtdicke d verfügt und als Dielektrikum fungiert, räumlich voneinander getrennt sind.

Insbesondere aus Figur 1B geht hervor, dass die isolierende Schicht 122 und die metallisch leitfähige Schicht 124 jeweils als dünne Schichten, welche auf der Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 bzw. auf der isolierenden Schicht 122 aufgebracht sind, ausgestaltet sind. Für die elektrisch isolierende Schicht 122 eignen sich bevorzugt eine Metalloxidschicht, insbesondere eine Aluminiumoxidschicht, eine Keramiksicht oder eine isolierende Lackschicht in einer Schichtdicke d von 1 μm bis 50 mm, bevorzugt von 5 μm bis 25 μm , insbesondere 8 μm bis 15 μm . In der vorliegenden vorteilhaften Ausführung weist die isolierende Schicht 122 eine möglichst gleichbleibende Schichtdicke d auf, um so einen möglichst gleichmäßigen Abstand zwischen der elektrisch leitfähigen Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 und der metallisch leitfähigen Schicht 124 gebildeten Flächen des Kondensators 120 bereitzustellen. Für die metallisch leitfähige Schicht 124 eignen sich bevorzugt ein Metallfilm, insbesondere aus Titanitrid, welcher durch Aufdampfen, Eintauchen oder Aufkleben aufgebracht werden kann, oder ein elektrisch leitfähiger Lack (Leitlack), ebenfalls in einer Schichtdicke von 1 μm bis 50 mm, bevorzugt von 5 μm bis 25 μm , insbesondere 8 μm bis 15 μm . Auch andere Materialien, insbesondere aus der oben genannten Auswahl, können hier verwendet werden.

Die in Figur 1A schematisch dargestellte Vorrichtung 110 zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche 112 eines Grundkörpers 114 eines Werkzeugs 116 umfasst weiterhin zwei elektrisch leitfähige Kontakte 126, 126', welche hier in Form von elektrisch leitfähigen Drahtleitern ausgestaltet sind. Alternativ oder zusätzlich kann es sich hierbei auch um andere drahtgebundene Einrichtungen, wie z.B. Wirebonds, handeln; eine drahtlose induktive Übermittlung kann jedoch ebenfalls eingerichtet sein. Der erste elektrisch leitfähige Kontakt 126 ist, wie aus der Figur 1 A hervorgeht, an die elektrisch leitfähige Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 angebracht, während der zweite elektrisch leitfähige Kontakt 126' eine elektrisch leitfähige Verbindung mit der metallisch leitfähigen Schicht 124 aufweist. Damit kann einerseits zwischen den elektrisch leitfähigen Flächen des Kondensators 120 die gewünschte elektrische Spannung U angelegt werden und

andererseits ein zeitlicher Verlauf der elektrischen Spannung U zwischen der elektrisch leitfähige Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 und der metallisch leitfähigen Schicht 124 erfasst werden.

- 5 Die in Figur 1A schematisch dargestellte Vorrichtung 110 zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche 112 eines Grundkörpers 114 eines Werkzeugs 116 umfasst weiterhin eine Messeinrichtung 128, welche auch als „Auswerteeinrichtung“ bezeichnet werden kann. Die Messeinrichtung 128 kann vorzugsweise als elektronisch steuerbare Messeinheit
- 10 ausgeführt sein, welche insbesondere über einen Computer, einen Mikrocomputer oder einen programmierbaren Chip, z.B. einen ASIC oder ein FPGA, verfügen kann. Die hier exemplarisch dargestellte Messeinrichtung 128 weist einen Spannungsgenerator 130 zur Erzeugung einer elektrischen Spannung U , eine Messvorrichtung 132 zur Erfassung eines zeitlichen Verlaufs der elektrischen Spannung $U(t)$ und eine Berechnungseinheit 134 zur
- 15 Bestimmung der mindestens einen messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 aus dem zeitlichen Verlauf der elektrischen Spannung $U(t)$ aufweisen. Die Messeinrichtung ist in Figur 1A als eigenständige Einrichtung (*stand-alone* Gerät) ausgeführt, bevorzugt kann die Messeinrichtung jedoch in eine Steuereinheit (nicht dargestellt) integriert sein, welche zur
- 20 Steuerung eines die Vorrichtung 110 umfassenden Funktionselements eingerichtet sein kann. Andererseits können der Spannungsgenerator 130, die Messvorrichtung 132 und/oder die Berechnungseinheit 134 auch als separate Komponenten ausgeführt sein.

- Die Messeinrichtung 128 in der Ausführung gemäß Figur 1A ist demnach dazu
- 25 eingerichtet ist, um den Kondensator 120 mit der elektrischen Spannung $U(t)$ zu beaufschlagen, um den zeitlichen Verlauf der elektrischen Spannung $U(t)$ in dem Kondensator 120 zu erfassen und um aus dem zeitlichen Verlauf der elektrischen Spannung $U(t)$ in dem Kondensator 120 die mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 zu
- 30 bestimmen.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung zur Durchführung von Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

- 35 In Figur 2 ist das aus Figur 1A bekannte, beispielhaft in Form des Stempels 118 ausgeführte Werkzeug 116 erneut in Seitenansicht gezeigt, welches hier schematisch

einen Anfangszustand 136 für das erfindungsgemäße Verfahren dargestellt, in welchem die metallisch leitfähige Schicht 124 in unbeschädigter Form vorliegt. Gemäß der oben erwähnten Gleichung (2)

5
$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d} , \quad (2)$$

wobei ε_0 die elektrische Feldkonstante, ε_r die relative Permittivität des für die isolierende Schicht 122 verwendeten Dielektrikums, A die Größe der aus der metallisch leitfähigen Schicht 124 gebildeten elektrisch leitfähigen Fläche und d die Schichtdicke der
10 isolierenden Schicht 122 bezeichnen, kann hierdurch ein Anfangswert C_0 für die Kapazität C des Kondensators 120 festgelegt werden, welcher aus dem hierin einbezogenen Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche 112 des Grundkörpers 114, der isolierenden Schicht 122 und der metallisch leitfähigen Schicht 124 gebildet wird.

15 Werden nun, wie im ersten geänderten Zustand 138 in Figur 2 schematisch dargestellt, Aufschweißungen 140 in die metallisch leitfähige Schicht 124 eingebracht, kann sich dadurch die die Größe A der metallisch leitfähigen Schicht 124' vergrößern, während die elektrische Feldkonstante ε_0 , die relative Permittivität ε_r und die Schichtdicke d des für die isolierende Schicht 122 verwendeten Dielektrikums unverändert bleiben, wodurch sich
20 gemäß Gleichung (2) ein erster geänderter Wert C_1 für die Kapazität des Kondensators 120' ergibt, welcher den Anfangswert C_0 der Kapazität des Kondensators 120 übersteigt. Der erste geänderte Wert C_1 für die Kapazität des Kondensators 120' im ersten geänderten Zustand 138 lässt sich mittels der Messvorrichtung 132 zur Erfassung des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Spannung $U(t)$ ermitteln.

25 Treten jedoch, wie im zweiten geänderten Zustand 142 in Figur 2 schematisch dargestellt, Risse und/oder Abplatzungen 144 in der metallisch leitfähigen Schicht 124 auf, kann sich dadurch die die Größe A der metallisch leitfähigen Schicht 124'' verringern, während die elektrische Feldkonstante ε_0 , die relative Permittivität ε_r und die Schichtdicke d des für die
30 isolierende Schicht 122 verwendeten Dielektrikums unverändert bleiben, wodurch sich gemäß Gleichung (2) ein zweiter geänderter Wert C_2 für die Kapazität des Kondensators 120'' ergibt, welcher geringer ist als der Anfangswert C_0 der Kapazität des Kondensators 120. Auch der zweite geänderte Wert C_2 für die Kapazität des Kondensators 120'' im zweiten geänderten Zustand 142 lässt sich mittels der Messvorrichtung 132 zur Erfassung
35 des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Spannung $U(t)$ ermitteln. Aus einem Vergleich der zweite geänderte Wert C_2 und des Anfangswerts C_0 der Kapazität des Kondensators

120 kann sich, basierend auf der Verwendung von Gleichung (2), gemäß Gleichung (3) ein Anteil η , insbesondere ein prozentualer Betrag, der Risse und/oder der Abplatzungen 144 in der metallisch leitfähigen Schicht 124 des Werkzeugs 116 wie folgt ermitteln:

5
$$\eta = \frac{c_2}{c_0} \quad (3)$$

Auf diese Weise kann somit eine Aussage über einen prozentualen Abrieb einer Wirkfläche auf dem Werkzeug 116 getroffen werden.

- 10 Auf vergleichbare Art und Weise kann die Kapazität des Kondensators 120 gemäß Gleichung (2) dadurch vergrößert werden, indem die Schichtdicke d der isolierenden Schicht 122 abnimmt. Dies kann insbesondere dadurch ermöglicht werden, indem die Temperatur in dem Grundkörpers 114 abnimmt und/oder indem eine Krafteinwirkung 146 auf die Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 ausgeübt wird, wodurch in beiden Fällen das
- 15 Dielektrikum der isolierenden Schicht 122 sich zusammenziehen bzw. zusammengedrückt werden kann.

- Die Krafteinwirkung 146 auf die Oberfläche 112 des als Stempel 118 vorliegenden Werkzeugs 116 kann beispielhaft durch eine Stanzeinrichtung 148 ausgeführt werden, in
- 20 welcher der darin befestigte Stempel 118 in Form eines Hubs 150 derart gegen eine gegenüberliegende, feste Platte 152 gepresst wird, dass die Platte 152 das Werkzeug so beaufschlagen kann, dass dadurch das Dielektrikum der isolierenden Schicht 122 zusammengedrückt werden kann. Der zeitliche Verlauf 154 der Kapazität C des
- 25 Kondensators 120 als Funktion der Anzahl n der Hübe 150 zeigt eine stetige, wenn auch geringe Abnahme der Kapazität C des Kondensators 120 bis zu einem kritischen Wert 156, bei welchem davon ausgegangen werden kann, dass der Stempel 118 als nicht mehr brauchbar betrachtet werden kann.

- In analoger Weise kann die Kapazität des Kondensators 120 gemäß Gleichung (2)
- 30 dadurch verringert werden, indem die Schichtdicke d der isolierenden Schicht 122 abnimmt. Dies kann insbesondere dadurch ermöglicht werden, indem die Temperatur in dem Grundkörpers 114 zunimmt, wodurch sich das Dielektrikum der isolierenden Schicht 122 ausdehnen kann.

Zur Bestimmung der mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft der Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 des Werkzeugs 116 kann der zeitlichen Verlauf der an dem Kondensator 120 anliegenden elektrische Spannung $U(t)$ über einen ausgewählten Zeitraum vorzugsweise wie folgt ausgewertet werden.

5

Zunächst kann ermittelt werden, ob eine Verringerung oder eine Erhöhung der Kapazität C des Kondensators 120 innerhalb des ausgewählten Zeitraums auftritt. Kann hierbei eine Verringerung der Kapazität C des Kondensators 120 beobachtet werden, so kann ein Auftreten eines mechanischen Verschleißes der Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 oder
10 eine Temperaturzunahme an der Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 vorliegen. Während das Auftreten eines Verschleißes zu einer schlagartigen Änderung der Kapazität C des Kondensators 120 führen kann, kann sich eine Temperaturzunahme nur langsam auf die Kapazität C des Kondensators 120 auswirken, da eine Erwärmung des Werkzeugs 116 und damit seiner Oberfläche 112 nicht schlagartig erfolgen kann. Somit kann nun
15 überprüft werden, ob der zeitliche Verlauf der elektrischen Spannung $U(t)$ über den ausgewählten Zeitraum schlagartig oder nur allmählich erfolgt.

Kann hierbei jedoch eine Erhöhung der Kapazität C des Kondensators 120 beobachtet werden, so kann eine Temperaturzunahme an der Oberfläche 112 des Werkzeugs 116
20 oder eine Krafteinwirkung 146 auf die Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 vorliegen. Während sich auch eine Temperaturabnahme nur langsam auf die Kapazität C des Kondensators 120 auswirken kann, da eine Abkühlung des Werkzeugs 116 und damit seiner Oberfläche 112 nicht schlagartig erfolgen kann, kann ein zeitlicher Verlauf der Krafteinwirkung 146 auf die Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 bekannt sein und
25 insbesondere auch zu einer schlagartigen Änderung der Kapazität C des Kondensators 120 führen. Somit kann auch hier nun überprüft werden, ob der zeitliche Verlauf elektrischer Spannung $U(t)$ über den ausgewählten Zeitraum nur allmählich oder schlagartig, insbesondere analog zu dem zeitlichen Verlauf der Krafteinwirkung 146 auf die Oberfläche 112 des Werkzeugs 116, erfolgt.

30

Treten innerhalb des ausgewählten Zeitraums periodisch eine Verringerung und eine Erhöhung der Kapazität C des Kondensators 120 auf, so kann sich das Werkzeug 116 in einer Drehung befinden, deren Periode sich ebenfalls aus dem zeitlichen Verlauf der elektrischen Spannung $U(t)$ bestimmen lassen kann.

35

In vielen Fällen kann die Bestimmung der mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft der Oberfläche 112 des Grundkörpers 114 wie folgt schematisch aus dem zeitlichen Verlauf der an dem Kondensator 120 anliegenden elektrische Spannung $U(t)$ über einen ausgewählten Zeitraum bestimmt werden:

5

Richtung der Kapazitätsänderung	Art des Verlaufs der Kapazitätsänderung	messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf Eigenschaft einer Oberfläche eines Werkzeugs
abnehmend	schlagartig	Verschleiß
	allmählich	Temperaturzunahme
zunehmend	schlagartig	Krafteinwirkung
	allmählich	Temperaturabnahme
periodisch	–	Drehung

Auf diese Weise kann die Bestimmung des mechanischen Verschleißes einer in einem Funktionselement eingebrachten und von außen nicht unbedingt zugänglichen Oberfläche eines Werkzeugs 116, insbesondere eines Kugellagers, eines Zahnrades oder einer Turbine erfolgen. Hierbei kann gleichzeitig eine automatische Unterscheidung von weiteren messtechnisch erfassbaren Größen, insbesondere von der Temperaturänderung an der Oberfläche 112 des Werkzeugs 116, von einer Krafteinwirkung 146 auf die Oberfläche 112 des Werkzeugs 116 oder von einer Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche 112 des Werkzeugs 116, erfolgen. Auf Basis einer derartigen Bestimmung insbesondere des mechanischen Verschleißes kann die Messeinrichtung 128 automatisiert eine Störungsmeldung erzeugen und zum Beispiel an eine Steuerungseinheit des Funktionselements und/oder an das Funktionselement betreuendes Bedienpersonal senden. Damit lassen sich Ausfallzeiten des Funktionselements verringern und eine Prozesssicherheit im Betrieb des Funktionselements erhöhen.

Liste der Bezugszeichen

	110	Vorrichtung
	112	Oberfläche
5	114	Grundkörper
	116	Werkzeug
	118	Stempel
	120, 120', 120''	Kondensator
	122	isolierende Schicht
10	124, 124', 124''	metallisch leitfähige Schicht
	126, 126'	elektrisch leitfähige Kontakte
	128	Messeinrichtung
	130	Spannungsgenerator
	132	Messvorrichtung
15	134	Berechnungseinheit
	136	Anfangszustand
	138	erster geänderter Zustand
	140	Aufschweißungen
	142	zweiter geänderter Zustand
20	144	Risse und/oder Abplatzungen
	146	Krafteinwirkung
	148	Stanzeinrichtung
	150	Hub
	152	Platte
25	154	zeitlicher Verlauf der Kapazität des Kondensators
	156	kritischer Wert

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe
in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche (112) eines Werkzeugs (116), mit
den Schritten:
 - a) Bereitstellen eines Werkzeugs (116), welches einen Grundkörper (114),
der eine elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) aufweist, einen
Kondensator (120) und mindestens zwei elektrisch leitfähige Kontakte
(126, 126') umfasst, wobei der Kondensator (120) aus zumindest einem
Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) des Grundkörpers (114),
mindestens einer hierauf aufgebracht isolierenden Schicht (122) und
mindestens einer hierauf aufgebracht metallisch leitfähigen Schicht (124)
gebildet ist, wobei der in den Kondensator (120) einbezogene Teil der
elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) des Grundkörpers (114) und die
metallisch leitfähige Schicht (124) zwei elektrisch leitfähige Flächen des
Kondensators (120) darstellen, welche durch die isolierende Schicht (122)
als Dielektrum räumlich voneinander getrennt sind, wobei die elektrisch
leitfähigen Kontakte (126, 126') an die elektrisch leitfähige Oberfläche
(112) des Grundkörpers (114) und an die metallisch leitfähige Schicht (124)
angebracht sind;
 - b) Beaufschlagen des Kondensators (120) mit einer elektrischen Spannung
und Ermitteln einer elektrischen Größe; und
 - c) Auswerten eines zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe, wodurch die
mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf die
Eigenschaft der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) bestimmt wird.
2. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, wobei die gemäß Schritt b)
ermittelte elektrische Größe eine Änderung eines Parameters der an den
Kondensator angelegten elektrischen Spannung und/oder einer damit in
Beziehung stehenden elektrischen Größe umfasst.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die messtechnisch
erfassbare Größe ausgewählt wird aus einem mechanischen Verschleiß der
Oberfläche (112) des Werkzeugs (116), einer Temperatur an der Oberfläche
(112) des Werkzeugs (116), einer Krafteinwirkung auf die Oberfläche (112) des
Werkzeugs (116) oder einer Drehzahl in Bezug auf die Oberfläche (112) des
Werkzeugs (116).

4. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, wobei bei dem Auswerten des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe berücksichtigt wird, dass ein Auftreten des mechanischen Verschleißes der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) oder einer Temperaturzunahme an der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) zu einer Verringerung der Kapazität des Kondensators (120) führen, während eine Krafteinwirkung (146) auf die Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) oder eine Temperaturabnahme an der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) zu einer Erhöhung der Kapazität des Kondensators (120) führen, während eine Drehung des Werkzeugs in Bezug auf dessen elektrisch leitfähige Oberfläche (112) zu einer periodischen Veränderung der Kapazität des Kondensators (120) führt.
5. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, wobei aus einem Gradienten des zeitlichen Verlaufs der elektrischen Größe einerseits zwischen dem Auftreten des mechanischen Verschleißes der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) oder der Temperaturzunahme an der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) oder andererseits zwischen der Krafteinwirkung auf die Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) oder der Temperaturabnahme an der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) unterschieden wird.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der bereitgestellte Kondensator (120) mindestens jeweils zwei abwechselnd aufeinander aufgebrachte isolierende Schichten (122) und metallisch leitfähige Schichten (124) umfasst, wobei zwei metallisch leitfähige Schichten (124), welche an dieselbe isolierende Schicht (122) angrenzen, eine Teilkapazität ausbilden.
7. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, wobei mindestens zwei Teilkapazitäten vorhanden sind, welche in Reihenschaltung miteinander verbunden sind.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die isolierende Schicht (122) ausgewählt ist aus einer Metalloxidschicht, einer Keramikschicht oder einer isolierenden Lackschicht, und wobei die metallisch leitfähige Schicht (124) ausgewählt ist aus einer metallischen Beschichtung, umfassend Titan, Titanitrid, Titancarbid, Chromnitrid, Chromcarbonitrid oder eine Kombination hiervon, oder einem elektrisch leitfähigen Lack.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die elektrisch leitfähige Oberfläche (112) des Grundkörpers (114) aus einem mit einer weiteren

metallisch leitfähigen Schicht versehenen zumindest teilweise elektrisch isolierenden Werkzeug (116) gebildet ist.

10. Computerprogramm, welches dazu eingerichtet ist, um die Schritte des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche durchzuführen.

5 11. Vorrichtung (110) zur Bestimmung mindestens einer messtechnisch erfassbaren Größe in Bezug auf eine Eigenschaft einer Oberfläche (112) eines Werkzeugs (116), umfassend

– einen Grundkörper (114), welcher eine elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) aufweist,

10 – einen Kondensator (120), welcher zumindest aus einem Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) des Grundkörpers (114), mindestens einer hierauf aufgebracht isolierenden Schicht (122) und mindestens einer hierauf aufgebracht metallisch leitfähigen Schicht (124) gebildet ist, wobei der in den Kondensator (120) einbezogene Teil der elektrisch leitfähigen Oberfläche (112) des Grundkörpers (114) und die metallisch leitfähige Schicht (124) zwei elektrisch leitfähige Flächen des Kondensators (120) darstellen, welche durch die isolierende Schicht (122) als Dielektrikum räumlich voneinander getrennt sind;

15 – mindestens zwei elektrisch leitfähige Kontakte (126, 126'), wobei ein erster elektrisch leitfähiger Kontakt (126) an die elektrisch leitfähige Oberfläche (112) des Grundkörpers (114) angebracht ist und wobei ein zweiter elektrisch leitfähiger Kontakt (126') an die metallisch leitfähige Schicht angebracht (124) ist; und

20 – eine Messeinrichtung (128), welche dazu eingerichtet ist, um den Kondensator (120) mit einer elektrischen Spannung zu beaufschlagen, um eine elektrische Größe zu ermitteln und um aus einem zeitlichen Verlauf der elektrischen Größe die mindestens eine messtechnisch erfassbare Größe in Bezug auf die Eigenschaft der Oberfläche (112) des Werkzeugs (116) zu bestimmen.

25 12. Funktionselement, umfassend eine Vielzahl von Werkzeugen (116), wobei mindestens eines der Werkzeuge (116) oder ein Teil hiervon eine Vorrichtung (110) nach dem vorangehenden Anspruch aufweist.

30

1/2

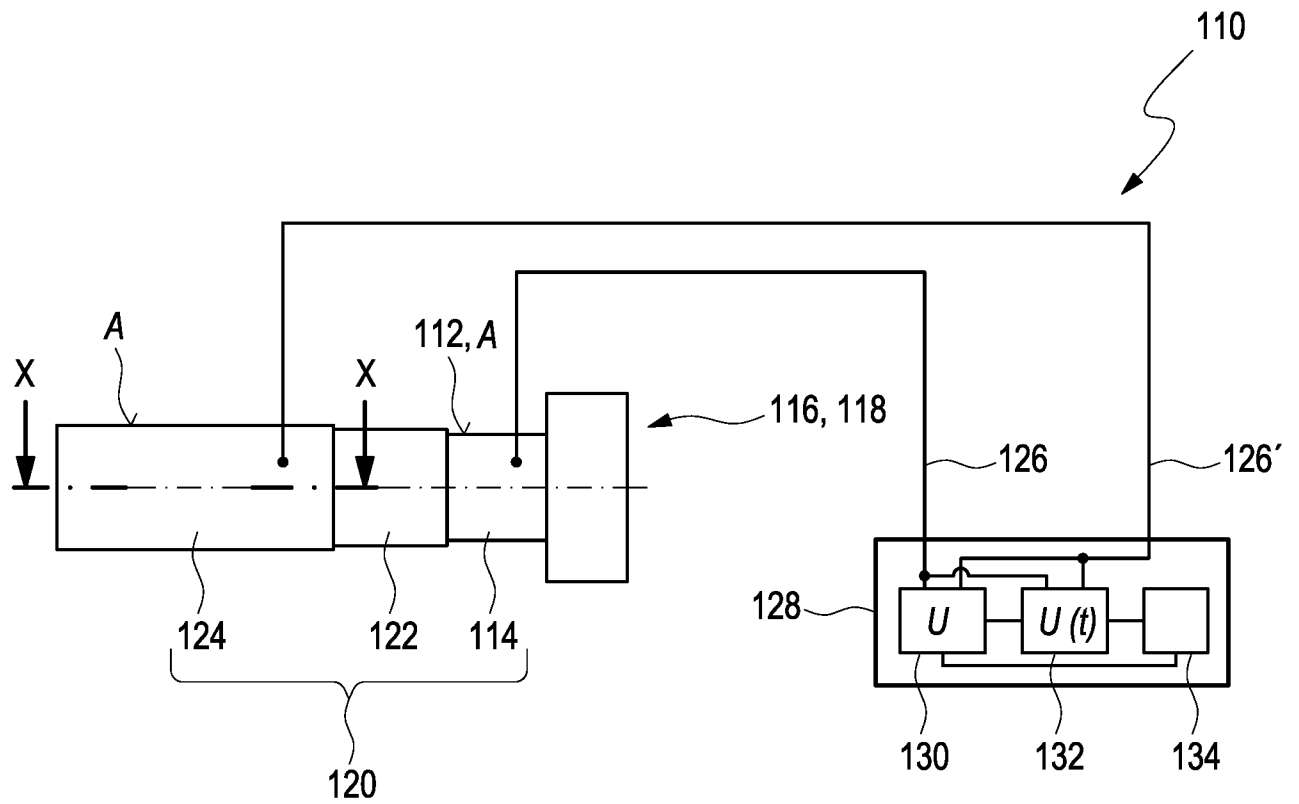


Fig. 1 A

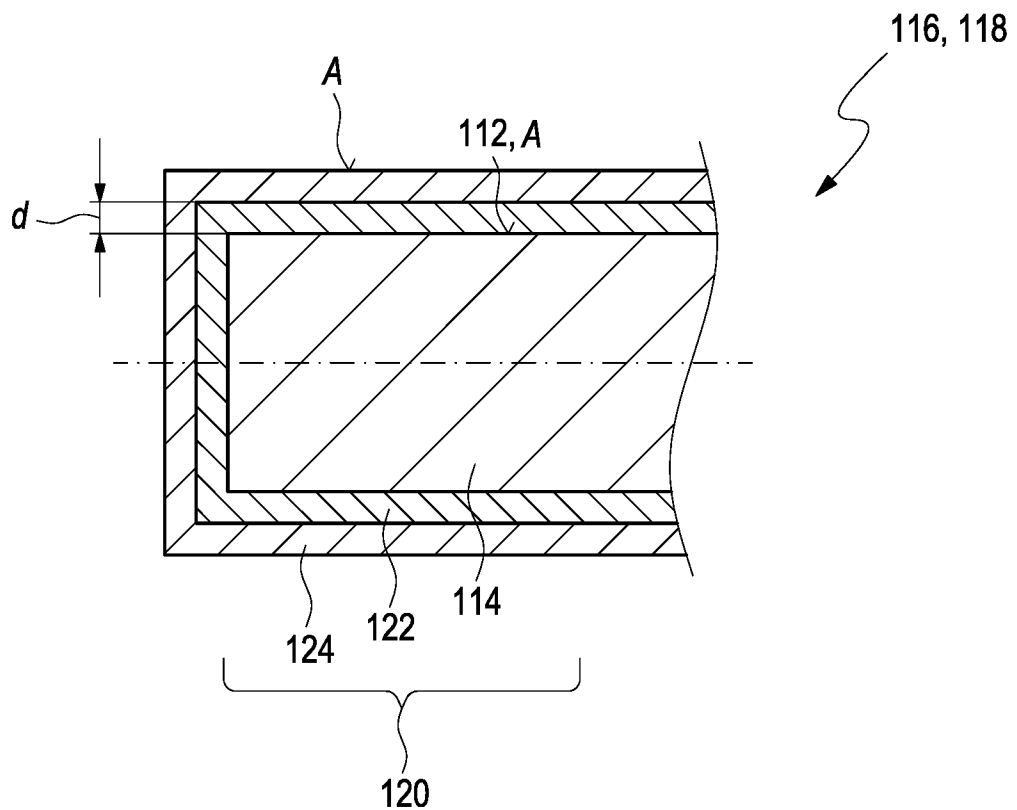


Fig. 1 B

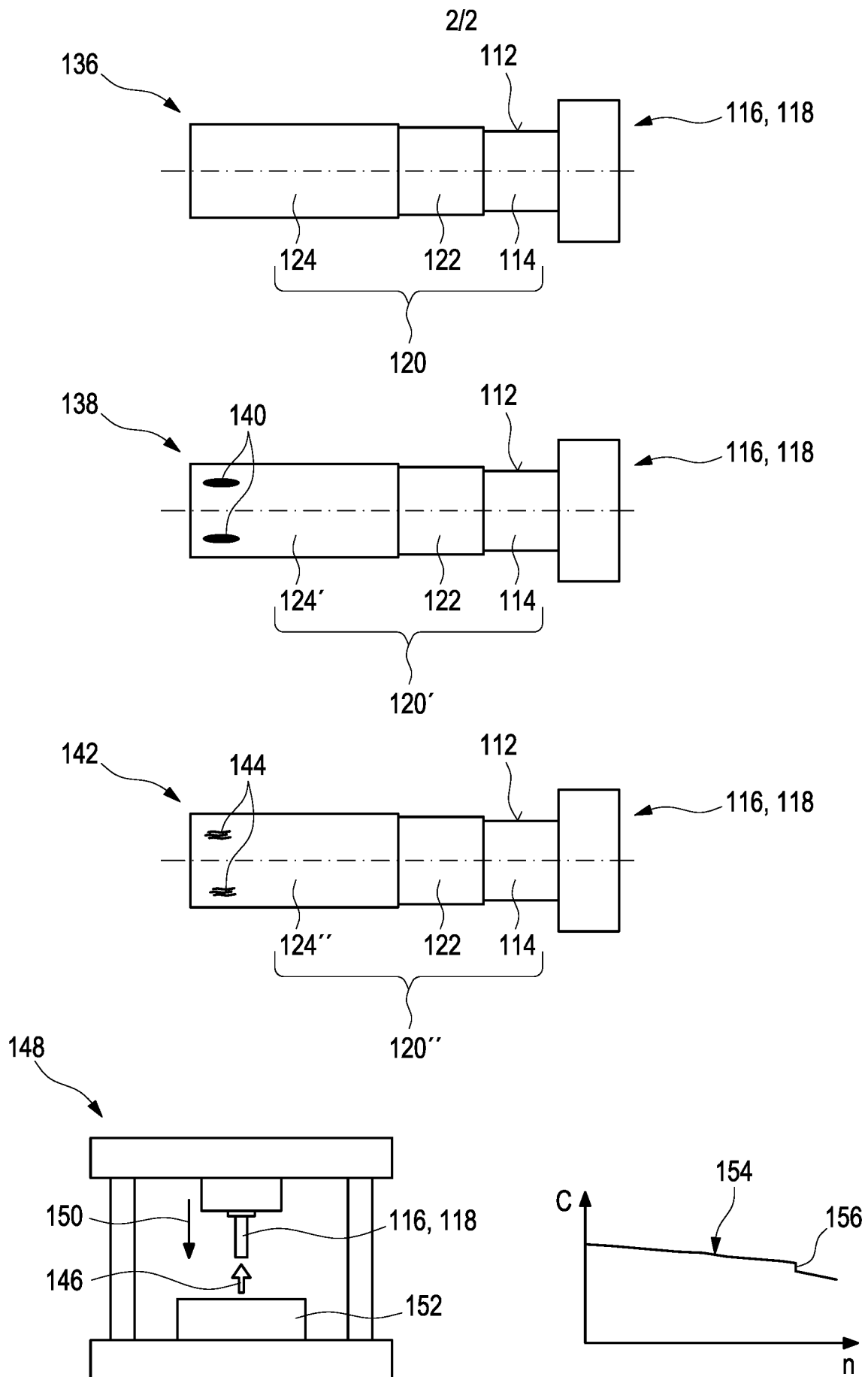


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/082488

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B23Q 17/09**(2006.01)i; **F16D 66/02**(2006.01)i; **G01B 7/16**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23Q; G01B; F16D

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	DE 102015218891 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 30 March 2017 (2017-03-30) paragraphs [0022], [0046] - [0048]; claims 1-4	10-12 1-9
A	DE 4312354 C1 (GIESE ERHARD [DE]) 16 June 1994 (1994-06-16) cited in the application abstract; figures 3-5	1-12
A	US 6384721 B1 (PAIELLI PERRY M [US]) 07 May 2002 (2002-05-07) claims 1-5; figures 1-2	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

05 March 2019

Date of mailing of the international search report

14 March 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Lasa Goñi, Andoni

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/082488

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102015218891	A1	30 March 2017	NONE	
DE	4312354	C1	16 June 1994	NONE	
US	6384721	B1	07 May 2002	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23Q17/09 F16D66/02 G01B7/16
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23Q G01B F16D

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2015 218891 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 30. März 2017 (2017-03-30)	10-12
A	Absätze [0022], [0046] - [0048]; Ansprüche 1-4	1-9
A	DE 43 12 354 C1 (GIESE ERHARD [DE]) 16. Juni 1994 (1994-06-16) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildungen 3-5	1-12
A	US 6 384 721 B1 (PAIELLI PERRY M [US]) 7. Mai 2002 (2002-05-07) Ansprüche 1-5; Abbildungen 1-2	1



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

5. März 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/03/2019

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

Lasa Goñi, Andoni

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/082488

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015218891 A1	30-03-2017	KEINE	
DE 4312354	C1 16-06-1994	KEINE	
US 6384721	B1 07-05-2002	KEINE	