

(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
22. August 2019 (22.08.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/158144 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01D 5/00 (2006.01) B23P 6/00 (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2019/000025

(22) Internationales Anmeldedatum:
06. Februar 2019 (06.02.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 202 188.0
13. Februar 2018 (13.02.2018) DE

(71) Anmelder: MTU AERO ENGINES AG [DE/DE]; Dach-
auer Straße 665, 80995 München (DE).

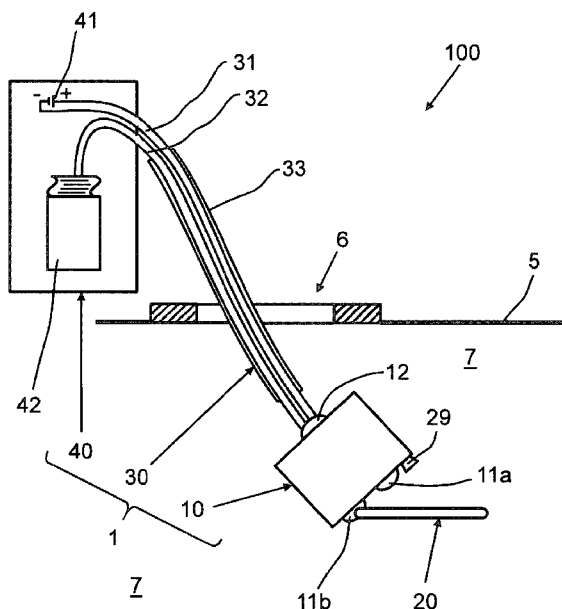
(72) Erfinder: WEIDLICH, Nils; Am Mühlenkamp 6, 31535
Neustadt (DE). SEIDEL, Frank; In der Reide 20, 30938
Grossburgwedel (DE). CUSSEN, Rory; Paul Zobel Stra-
ße 27, 10367 Berlin (DE). ASCHERMANN, Lars; Am
Schacht 4, 37589 Kalefeld-Oldenrode (DE).

(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, 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, 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.

(54) Title: TOOL AND METHOD FOR MAINTAINING ENGINES

(54) Bezeichnung: WERKZEUG UND VERFAHREN ZUR INSTANDHALTUNG VON TRIEBWERKEN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a tool for maintaining engines, having a multi-channel supply line (30) that has at least one electrical power supply and/or data line channel (31) and at least one gas, liquid and/or material channel (32). In this case, a tool base (10) connected or intended to be connected to the multi-channel supply line (30) is set up to selectively operate different tool elements (20-29), which are connectable to said tool base, using in each case at least one channel (31, 32) of the multi-channel supply line (30). A method for maintaining engines comprises the following steps: defining an engine component to be processed, which has a predetermined natural frequency; defining at least one working step to be carried out during the maintenance and selecting at least one tool element (20-29) necessary therefor, wherein the processing frequency of a mechanically acting tool element (20-29) is provided to be higher than the natural frequency of the engine component to be processed; introducing the at least one tool element (20-29) into an engine interior (7) in particular through a borescope boss (6) of an engine housing (5); positioning the tool element (20-29) in the engine interior (7), wherein the tool element (20-29) is positioned, in particular for mechanically acting processing steps, in particular fixedly with respect to at least one stationary engine element; carrying out the at least one working step with the at least one tool element (20-29) and removing the at least one tool element (20-29) from the engine interior (7) in particular through the borescope boss (6).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken mit einer mehrkanaligen Versorgungsleitung (30), die wenigstens einen elektrischen

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

Energieversorgungs- und/ oder Datenleitungskanal (31) und wenigstens einen Gas-, Flüssigkeits- und/ oder Materialkanal (32) aufweist. Dabei ist eine mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung (30) verbundene oder zu verbindende Werkzeugbasis (10) dazu eingerichtet, wahlweise verschiedene mit dieser verbindbare Werkzeugelemente (20 - 29) unter Beanspruchung jeweils wenigstens eines Kanals (31, 32) der mehrkanaligen Versorgungsleitung (30) zu betreiben. Ein Verfahren zur Instandhaltung von Triebwerken umfasst die folgenden Schritte: Festlegen eines zu bearbeitenden Triebwerkbauteils, das eine vorbestimmte Eigenfrequenz aufweist; Festlegen wenigstens eines bei der Instandhaltung durchzuführenden Arbeitsschrittes und Auswählen wenigstens eines hierfür erforderlichen Werkzeugelements (20 - 29), wobei die Bearbeitungsfrequenz eines mechanisch wirkenden Werkzeugelements (20 - 29) höher vorgesehen wird, als die Eigenfrequenz des zu bearbeitenden Triebwerkbauteils; Einführen des wenigstens einen Werkzeugelements (20 - 29) insbesondere durch ein Boroskopauge (6) eines Triebwerksgehäuses (5) in einen Triebwerksinnenraum (7); Positionieren des Werkzeugelements (20 - 29) im Triebwerksinnenraum (7), wobei das Werkzeugelement (20 - 29) insbesondere für mechanisch wirkende Bearbeitungsschritte insbesondere fest gegenüber wenigstens einem feststehenden Triebwerkselement positioniert wird; Durchführen des wenigstens eines Arbeitsschrittes mit dem wenigstens einen Werkzeugelement (20 - 29) und Entfernen des wenigstens einen Werkzeugelements (20 - 29) insbesondere durch das Boroskopauge (6) aus dem Triebwerksinnenraum (7).

WERKZEUG UND VERFAHREN ZUR INSTANDHALTUNG VON TRIEBWERKEN

Die Erfindung betrifft ein Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken, insbesondere zur On-
5 Wing-Instandhaltung von Triebwerken. Das Werkzeug weist eine mehrkanalige
Versorgungsleitung mit einer mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung verbundenen
Werkzeugbasis auf, die dazu eingerichtet ist, wahlweise verschiedene mit dieser verbindbare
Werkzeugelemente unter Beanspruchung jeweils wenigstens eines Kanals der mehrkanaligen
Versorgungsleitung zu betreiben, um Instandhaltungsarbeiten im Triebwerksinnenraum
10 insbesondere von nicht zerlegten Triebwerken und Gasturbinen durchzuführen.

Zu Gasturbinen, insbesondere Flugtriebwerken gehörende Verdichter und (auch als Expander
bezeichnete, eigentliche) Turbinen umfassen in der Regel einen Rotor mit einer Mehrzahl an
Laufschaufelreihen, die mit einer Rotorwelle verbunden und von außen von einem Gehäuse
15 umgeben sind, so dass zwischen der Rotorwelle und dem Gehäuse ein Strömungskanal
ausgebildet ist. Am Gehäuse befestigte Leitschaufeln sind dazu eingerichtet, durch den
Strömungskanal fließendes Gas in jeweils geeigneter Weise auf die Laufschaufeln zu führen. Im
Laufe des Betriebs einer Gasturbine können an den verschiedenen Bauteilen nachteilige
Verschmutzungen oder sogar Schäden im Material auftreten. Befinden sich diese Mängel im
20 Triebwerksinnenraum, also im vom Gehäuse umrahmten Bereich des Triebwerks, wird zur
Behebung der Schäden das Triebwerk in der Regel ausgebaut und zerlegt. Dies bedeutet jedoch
einen hohen Aufwand, weshalb es Bestrebungen gibt, Instandhaltungsarbeiten an
Turbinenelementen im Einbauzustand am Flügel eines Flugzeugs, also „On-Wing“
durchzuführen.

25 Aus der Druckschrift EP 3 176 365 A1 ist ein Vorgehen bekannt, bei dem eine Leitungsröhre
von außerhalb der Gasturbine durch eine Öffnung hindurch zu einer Schadensstelle geführt wird.
Zu deren Reparatur wird dann flüssiges Metall durch die Leitungsröhre geleitet. Mittels einer
ebenfalls durch eine Öffnung eingeführten optischen Vorrichtung, beispielsweise eines Endo-
30 bzw. Boroskops kann der Vorgang visuell verfolgt werden.

Die Druckschrift GB 2 506 744 A offenbart ein Boroskop, das durch eine Öffnung in einem Gehäuse zu einer jeweiligen Komponente geführt werden kann. Zur visuellen Betrachtung des Innenraums im Gehäuse weist das Boroskop an seinem einen Ende eine optische Faser und eine Lichtquelle auf. Darüber hinaus ist ein Gerätekopf mit einem Elektromotor und einem Werkzeug, das mittels des Elektromotors zu betreiben ist, an dem Ende des Boroskops angebracht. Über ein durch das Boroskop führendes Kabel kann der Elektromotor mit elektrischer Energie versorgt werden. Das Werkzeug kann insbesondere eine Bürste oder eine Schleifscheibe umfassen. Die Einsatzmöglichkeiten dieser Vorrichtung sind allerdings eingeschränkt, da kein flexibles Wechseln und Zusammenwirken verschiedener Werkzeugeinrichtungen vorgesehen ist.

In der Druckschrift DE 11 2011 103 499 T5 ist eine Instandhaltungsvorrichtung insbesondere für einen Verdichter in einem Gasturbinenmotor offenbart, die eine Endoskopeinrichtung mit einer flexiblen Röhre und einem Endoskop zur Einfuhr in eine Inspektionsöffnung sowie eine Lasereinrichtung zum Bearbeiten einer jeweiligen Reparaturstelle umfasst. Die Lasereinrichtung ist mit der Endoskopeinrichtung gekoppelt und dazu eingerichtet, nahe der flexiblen Röhre durch die Inspektionsöffnung eingeführt zu werden. Die Endoskopeinrichtung kann mit einer Einrichtung zum Zuführen von Material an die Reparaturstelle bzw. mit einer Bearbeitungseinrichtung zur Unterstützung der Lasereinrichtung bei einer Reparatur gekoppelt sein. Diese kann nahe der flexiblen Röhre durch eine Inspektionsöffnung eingeführt werden.

Hiervon ausgehend ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine flexibel einsetzbare Technik zur Instandhaltung von Triebwerken in deren Einbauzustand, also im Wesentlichen unzerlegt vorzuschlagen, sowie ein Verfahren zur Instandhaltung von Triebwerken bzw. Gasturbinen bereitzustellen, bei dem kein Zerlegen des Triebwerks bzw. der Gasturbine zur Durchführen von Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich ist. Dies wird erfindungsgemäß durch die Lehre des unabhängigen Anspruchs erreicht. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Zur Lösung der Aufgabe wird ein Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken mit einer mehrkanaligen Versorgungsleitung vorgeschlagen, die wenigstens einen elektrischen Energieversorgungs- und/ oder Datenleitungskanal und wenigstens einen Gas-, Flüssigkeits-

und/ oder Materialkanal aufweist. Mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung ist eine Werkzeugbasis verbunden oder zu verbinden, die dazu eingerichtet ist, wahlweise verschiedene mit dieser verbindbare Werkzeugelemente unter Beanspruchung jeweils wenigstens eines Kanals der mehrkanaligen Versorgungsleitung zu betreiben, und gemeinsam mit wenigstens einem
5 Werkzeugelement durch ein im Triebwerksgehäuse angeordnetes Boroskopauge zum Durchzuführen von Instandhaltungsarbeiten in einen Triebwerksinnenraum geführt zu werden.

Damit wird ein Werkzeug zum Instandhalten von Triebwerken bzw. Gasturbinen vorgeschlagen, mittels welchem Instandhaltungsmaßnahmen durchführbar sind, ohne dass ein Zerlegen des
10 Triebwerks bzw. der Gasturbine erforderlich ist und damit insbesondere auch Instandhaltungsmaßnahmen, welche unmittelbar an einem am Flugzeug montierten Triebwerk, also „on-wing“ durchgeführt werden. Das Werkzeug ist ferner für Instandhaltungsarbeiten an Gasturbinen bzw. Triebwerken vorgesehen, unabhängig von deren Einsatzzweck. Entsprechend wird im Folgenden auf den jeweiligen Bezug „Triebwerk bzw. Gasturbine“ verzichtet und die
15 Erfindung bezüglich eines „Triebwerks“ beschrieben, wobei in der Beschreibung genannte Erläuterungen und Weiterbildungen selbstverständlich analog auch für sonstige Gasturbinen zutreffen.

Bei dem vorgeschlagenen Werkzeug ist eine Werkzeugbasis mit der mehrkanaligen
20 Versorgungsleitung verbunden bzw. zu verbinden, die dazu eingerichtet ist, (an der mehrkanaligen Versorgungsleitung) gemeinsam mit wenigstens einem mit dieser verbindbaren Werkzeugelement durch ein im Triebwerksgehäuse angeordnetes Boroskopauge in einen Triebwerksinnenraum geführt zu werden. Solche Boroskopaugen sind an Triebwerksgehäusen als Zugang für ein Boroskop vorgesehen, also eines biegsamen Schlauchs, an dessen distalem
25 Ende sich üblicherweise eine Optik und entsprechende Sensoren zur Bilderzeugung befinden. Da moderne Boroskope nur geringe Querschnitte mit einer Erstreckung von nur wenigen Millimetern aufweisen, beträgt der freie Durchmesser eines an modernen Triebwerken üblichen Boroskopauges abhängig vom Triebwerkstyp etwa 15 bis 20 Millimeter. Entsprechend weist das vorgeschlagene Werkzeug mit Werkzeugbasis und dem wenigstens einem mit diesem
30 verbindbaren Werkzeugelement einen Durchmesser auf, der geeignet ist, das Werkzeug bzw. dessen Werkzeugbasis gemeinsam mit wenigstens einem Werkzeugelement durch ein solches Boroskopauge in einen Triebwerksinnenraum geführt zu werden. Das vorgeschlagene Werkzeug

ist selbstverständlich auch geeignet, auf andere Art und Weise in den Triebwerksinnenraum geführt zu werden, wie beispielsweise durch insbesondere für andere Zwecke geöffnete Zugänge, wie durch ein Brennerport oder durch eine axiale Öffnung, wie an der Vorderseite des Triebwerks durch den Fan.

5

Eine Ausführungsform des Werkzeugs weist eine Rechneinheit auf oder ist mit einer solchen verbindbar. So können an die Werkzeugbasis, die insbesondere einen von ihr umfassten Elektromotor und/oder eine von ihr umfasste Rechneinheit (insbesondere einen Prozessor) aufweisen kann, verschiedene Werkzeugelemente angeschlossen werden, welche über die
10 Rechneinheit steuerbar sind. Ein solches Werkzeugelement ist beispielsweise eine rotierbare und/oder linear bewegliche (z.B. im Wesentlichen formstabile oder flexible) Bürste, eine rotierbare Nadel, eine rotierbare Nadelfeile, eine rotierbare Nadelsonde, eine Extraktionsnadel mit mindestens einem Widerhaken, ein Nadelhammer (der mittels gepulster Druckluft zu betreiben sein kann), eine Düse (die als Spritz-, Druck- oder als Saugdüse ausgebildet sein kann)
15 und/oder Kombinationen mehrerer dieser Werkzeugelemente.

Die Werkzeugbasis ist dazu eingerichtet, wahlweise verschiedene an sie anschließbare Werkzeugelemente unter Beanspruchung unterschiedlicher Kanäle der mehrkanaligen Versorgungsleitung zu betreiben. Beispielsweise kann die Werkzeugbasis somit beim Betrieb
20 eines ersten angeschlossenen Werkzeugelements in Form eines Nadelhammers lediglich einen Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanal beanspruchen, der in diesem Fall (dauerhaft oder vorübergehend) vorzugsweise an eine entsprechende Druckpumpe angeschlossen ist. Dabei kann die Druckpumpe eine Pulsiereinrichtung umfassen und/oder die Werkzeugbasis kann eine
25 Pulspumpe zur Umwandlung eines gleichmäßigen Drucks in eine Vielzahl von Druckpulsen umfassen. Beim Betrieb eines anderen, zweiten Werkzeugelements z. B. in Form einer Drahtbürste (beispielsweise zur Reinigung einer Oberfläche, insbesondere in einer Umgebung einer Kühlungsöffnung) kann die Werkzeugbasis zum Beispiel lediglich den mindestens einen elektrischen Energieversorgungs kanal beanspruchen, also elektrische Energie beziehen (während die mindestens eine Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanal ungenutzt ist). Beim Betrieb
30 eines weiteren, dritten Werkzeugelements z.B. in Form einer Rotationsbürste mit (z. B. aktivier- und deaktivierbarer) kombinierter Spritzdüse kann die Werkzeugbasis sowohl einen elektrischen Energieversorgungs kanal zum Betrieb eines für den Antrieb der Rotationsbürste eingesetzten

Elektromotors beanspruchen als auch einen Flüssigkeitskanal. Beim Betrieb eines vierten Werkzeugelements schließlich, beispielsweise in Form einer Saugdüse (z. B. zum Entfernen überschüssiger Partikel und Flüssigkeit) kann die Werkzeugbasis lediglich einen Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanal beanspruchen, der in diesem Fall vorzugsweise (dauerhaft oder vorübergehend) an eine Vakuumpumpe angeschlossen ist.

Mit dem vorgeschlagenen Werkzeug wird es möglich, mit einem gegenüber bekannten Vorgehensweisen deutlich geringeren Aufwand Instandhaltungsarbeiten an Triebwerkselementen von Triebwerken im nicht zerlegten Zustand, also im Einbauzustand insbesondere auch im montierten Zustand am Flügel eines Flugzeugs, also „On-Wing“ durchzuführen. Vorteilhaft ist dabei insbesondere, dass das Werkzeug bzw. die erforderlichen Teile des Werkzeugs durch ein im Triebwerksgehäuse angeordnetes Boroskopauge in den Triebwerksinnenraum geführt werden kann. Aufgrund der Verteilung einer Vielzahl von Boroskopaugen an üblichen Triebwerksgehäusen sind so im Wesentlichen alle Bereiche eines Triebwerksinnenraums mit dem vorgeschlagenen Werkzeug erreichbar. Damit wird es leichter, präventive Instandhaltungsarbeiten durchzuführen, um einen Rückgang des Wirkungsgrads im Einsatz zu reduzieren oder fortschreitende Schäden bereits in einem frühen Stadium zu erkennen und zu beheben, wie beispielsweise durch Öffnen von Kühlluftöffnungen in Triebwerksbauteilen.

Insbesondere kann die mehrkanalige Versorgungsleitung des Werkzeugs somit gleichzeitig und/ oder nacheinander für die Funktionen einer elektrischen Energieversorgung einerseits und einer Gas-, Flüssigkeits- und/ oder Materialzufuhr bzw. einer Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialabsaugung andererseits genutzt werden.

Die mehrkanalige Versorgungsleitung ist beispielsweise in mindestens einem Abschnitt flexibel ausgebildet. Insbesondere sind die mehreren Kanäle der mehrkanaligen Versorgungsleitung in mindestens einem Abschnitt von einer gemeinsamen Ummantelung umgeben. Die mehrkanalige Versorgungsleitung kann insbesondere auch Einrichtungen für eine gesteuerte Bewegung derselben aufweisen, um eine daran angeordnete Werkzeugeinrichtung innerhalb des Triebwerks an gewünschte Positionen zu bewegen. Insbesondere kann die Versorgungseinrichtung zumindest teilweise Bestandteil einer Positioniereinrichtung sein.

An der Werkzeugbasis kann eine Bilderfassungseinrichtung wie beispielsweise eine Kamera anordenbar sein. In diesem Fall umfasst die mehrkanalige Versorgungsleitung vorzugsweise einen Daten- und oder Lichtleitungskanal, mittels dem jeweils erfasste Bilder an einer

5 Anzeigevorrichtung (die an einem zur Werkzeugbasis entgegengesetzten Ende der mehrkanaligen Versorgungsleitung angeschlossen oder anzuschließen ist) darstellbar sind. Auf diese Weise können Arbeitsschritte des Multifunktionswerkzeugs visuell verfolgt werden. Bei einer Ausführungsform kann eine solche Kamera beispielsweise fest an der Werkzeugbasis angeordnet oder auch flexibel mit dieser verbunden sein, so dass die von der Kamera erfasste
10 Perspektive insbesondere durch eine Bedienperson veränderbar ist. Beispielsweise kann aber auch eine zusätzliche, nicht mit dem Werkzeug verbundene Kameraeinrichtung zum Durchführen von Instandhaltungsarbeiten unter Verwendung des vorgeschlagenen Werkzeugs eingesetzt werden.

15 Bei einer Ausführungsform umfasst das Werkzeug eine Versorgungseinrichtung, an die ein zur Werkzeugbasis entgegengesetztes Ende der mehrkanaligen Versorgungsleitung anschließbar ist. Eine derartige Versorgungseinrichtung kann eine Stromquelle umfassen, von dem der elektrische Energieversorgungs kanal Strom beziehen kann, und/ oder eine Rechneinrichtung zur Bereitstellung von Steuersignalen insbesondere zum Steuern eines Werkzeugelements. Die
20 Stereosignale können dabei zum Beispiel durch einen Datenleitungskanal der mehrkanaligen Versorgungsleitung an die Werkzeugbasis bzw. umgekehrt von der Werkzeugbasis an die Rechneinrichtung der Versorgungseinrichtung geleitet werden.

Alternativ oder zusätzlich kann die Versorgungseinrichtung eine Anzeigevorrichtung umfassen,
25 an der beispielsweise von einer Bilderfassungseinrichtung wie einer Kamera an der Werkzeugbasis erfasste Bilddaten darstellbar sind, beispielsweise nachdem sie mittels eines Datenleitungskanals der mehrkanaligen Versorgungsleitung übermittelt wurden. Beispielsweise weist die Versorgungseinrichtung mindestens eine Druck- und/ oder Vakuumpumpe auf, mit der insbesondere Gas, Flüssigkeit und/ oder Material dauerhaft oder gepulst in einen entsprechenden
30 Kanal der mehrkanaligen Versorgungsleitung eingepumpt bzw. aus ihm herausgesogen werden kann.

Ein beispielhaftes Werkzeug weist einen Werkzeugelementesatz mit mindestens einem an die Werkzeugbasis angeschlossenen oder anzuschließenden (d. h. anschließbaren) Werkzeugelement auf. Als ein derartiges Werkzeugelement kann der Werkzeugelementesatz beispielsweise:

- eine Kamera, insbesondere zum Auffinden der Instandhaltungsstelle, zum Positionieren
5 wenigstens eines Werkzeugelements und/ oder zum Durchführen der Instandhaltungsmaßnahme;
- eine rotierbare und/oder linear bewegliche (z. B. im Wesentlichen formstabile oder flexible) Bürste sein, die z. B. zur Reinigung einer Oberfläche und/oder zur Öffnung eines blockierten Kühlungslochs eingesetzt werden kann;
- 10 - eine rotierbare Nadel, eine rotierbare Nadelfeile, und/ oder eine rotierbare Nadelsonde, die jeweils insbesondere zum Öffnen von durch Schmutz verschlossenen Kühlungslöchern geeignet sind;
- eine Extraktionsnadel mit einem oder mehreren Widerhaken z. B. zur Extraktion von Schmutz aus Löchern oder Ritzen;
- 15 - einen Nadelhammer, der beispielsweise mittels gepulster Druckluft zu betreiben ist und die Wirkung eines Meißels haben kann;
- eine Düse, die als Spritzdüse z. B. zum Abspritzen einer Oberfläche mit Flüssigkeit wie Wasser oder Treibstoff, mit partikelhaltiger Luft beispielsweise zum Beseitigen von Schmutz, als Druckdüse (z.B. für gepulste Luftstöße) oder als Saugdüse ausgebildet sein
20 kann; und/oder
- eine Kombination mehrerer dieser oder anderer Werkzeugelementetypen, enthalten.

Vorzugsweise umfasst der Werkzeugelementesatz mindestens zwei Werkzeugelemente unterschiedlichen Typs und/ oder unterschiedlicher Größe.

25

Die vorliegende Erfindung stellt somit ein vielseitig verwendbares Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken bereit, mit dem Triebwerksbauteile im Einbauzustand und an verschiedenen Turbinenstufen behandelt werden können, so dass ein aufwendiges Auseinanderbauen und wieder Zusammensetzen des Triebwerks entfallen kann, so dass mit dem Werkzeug
30 Instandhaltungsmaßnahmen an Triebwerken insbesondere auch on-wing- durchgeführt werden können. Insbesondere können damit präventiv Mängel behoben werden, die andernfalls einen signifikanten Effizienzverlust oder sogar irreparable Schäden nach sich ziehen können.

Beispielsweise können mit dem vorgeschlagenen Werkzeug besonders effizient verstopfte
Kühlungslöcher gereinigt werden. Dabei kann das Werkzeug auf einfache Weise durch einen
Wechsel eines Werkzeugelements umgerüstet werden. Somit wird eine Vielzahl verschiedener
Werkzeuge mit jeweils eigener Versorgungsleitung entbehrlich, so dass eine Mehrzahl an langen
5 und hinderlichen und einander im Gebrauch sogar verwickelnden Leitungen vermieden werden
kann.

Zum Verbinden der verschiedenen Werkzeugelemente mit der Werkzeugbasis können daran ein
oder mehrere Anschlüsse angeordnet sein, welche beispielsweise ein Einsteck-, Einklick-,
10 Schraub- oder ein Bajonettverbindungselement aufweisen, das dazu eingerichtet ist, mit einem
entsprechenden Gegenelement des jeweiligen Werkzeugelements zusammenzuwirken.

Zum Verbinden der Werkzeugbasis mit mindestens einem Werkzeugelement kann diese
beispielsweise wenigstens einen Anschluss aufweisen, an dem nacheinander Werkzeugelemente
15 unter Beanspruchung unterschiedlicher Kanäle der mehrkanaligen Versorgungsleitung zu
betreiben sind. Ein derartiger Anschluss ist somit multifunktional: Beispielsweise kann an ihm
zuerst ein antreibbares Werkzeugelement angeschlossen werden, für dessen Betrieb
ausschließlich der mindestens eine elektrische Energieversorgungs kanal zur Versorgung eines
Elektromotors (z. B. in der Werkzeugbasis) beansprucht (also verwendet bzw. eingesetzt) wird.

20 Danach kann für dasselbe Werkzeugelement eine weitere Funktion (alternativ oder zusätzlich zur
vorherigen Funktion) einstellbar sein, beispielsweise eine Sprühfunktion, bei der der mindestens
eine Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanal zur Flüssigkeitszuleitung eingesetzt (und also
beansprucht) wird, oder es kann ein anderes Werkzeugelement (z.B. eine Saugdüse) an dem
Anschluss angeschlossen werden, für dessen Betrieb ein an eine Saugpumpe angeschlossener
25 oder anzuschließender weiterer Kanal der mehrkanaligen Versorgungsleitung verwendbar ist.

Die Werkzeugbasis kann aber auch wenigstens zwei Anschlüsse aufweisen, wobei mindestens
ein Werkzeugelement wahlweise (nacheinander) sowohl an einen ersten als auch an einen
zweiten der Anschlüsse angeschlossen sowie unter Beanspruchung mindestens eines
30 gemeinsamen desselben, für beide Anschlusspositionen übereinstimmenden) Kanals der
mehrkanaligen Versorgungsleitung betrieben werden kann. Vorteilhaft ist eine
Ausführungsform, bei der beide Anschlüsse im Wesentlichen identisch ausgebildet sind, so dass

also das Werkzeugelement an mehr als einem Anschluss dieselben Operationen durchführen kann. Dies ermöglicht für die jeweiligen Operationen des Werkzeugelements ein Platzieren des Werkzeugelements an einer jeweils vorteilhaften Position, an der es beispielsweise im Turbineninnenraum eine jeweilige Schadensstelle besonders gut erreichbar ist, beispielsweise unter Ausbildung eines vorteilhaften Winkels.

Die Werkzeugbasis weist insbesondere mindestens einen Leitungsanschluss auf, durch den die mehrkanalige Versorgungsleitung lösbar mit der Werkzeugbasis verbindbar ist. Besonders vorteilhaft ist eine Ausführung, bei der die Werkzeugbasis mindestens zwei derartige Leitungsanschlüsse umfasst. Auf diese Weise sind beispielsweise unterschiedliche Anschlusspositionen wählbar, so dass insbesondere ein einfaches Einführen des Werkzeugs mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung an eine gewünschte Position im Triebwerksinnenraum möglich ist und/oder ein besonders vorteilhaftes Erreichen einer Bearbeitungsposition durch ein jeweiliges Werkzeugelement.

Bei einer Ausführungsform des Werkzeugs ist an der mehrkanaligen Versorgungsleitung und/ oder an der Werkzeugbasis wenigstens eine Positioniereinrichtung angeordnet, durch welche das wenigstens eine an der Werkzeugbasis angeordnete Werkzeugelement zum Durchführen von Instandhaltungsarbeiten im Triebwerksinnenraum positionierbar ist. Der Begriff „positionierbar“ umfasst im Sinne der vorliegenden Erfindung neben Funktionen zum räumlichen Anordnen des Werkzeugs bzw. des Werkzeugelements im Triebwerksinnenraum insbesondere auch die Funktion „abstützbar“. Entsprechend kann das Werkzeug mit einer Positionseinrichtung oder einem Element der Positioniereinrichtung an der Schnittstelle zum Triebwerksinnenraum wie beispielsweise einem Boroskopauge positioniert bzw. abgestützt sein. Zudem kann ein Werkzeugelement durch eine Positioniereinrichtung im Triebwerksinnenraum an einer geeigneten Position fest gegenüber einer Bearbeitungsstelle angeordnet und, sofern dies für die durchzuführende Instandhaltungsmaßnahme erforderlich ist, ein Gegenlager für das Werkzeugelement ausbilden, über das Bearbeitungskräfte an hierzu geeigneten Triebwerkselementen abgestützt werden können. Bei einer Ausführung der Positioniereinrichtung dient diese auch zum Führen des Werkzeugs bzw. der wenigstens einen Werkzeugeinrichtung zu der Position innerhalb des Triebwerksraums, an der eine Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt werden soll.

Bei einer Ausführungsform des Werkzeugs ist das wenigstens eine zum Durchführen einer mechanisch wirkenden Bearbeitung vorgesehene Werkzeugelement eingerichtet, mit einer Bearbeitungsfrequenz zu arbeiten, welche oberhalb der Eigenfrequenz des jeweils zu

5 bearbeitenden Bauteils liegt. Vorteilhaft ist die Bearbeitungsfrequenz des Werkzeugelements insbesondere über eine Recheneinrichtung in einem vorbestimmten Frequenzbereich einstellbar. Da Triebwerksbauteile üblicherweise sehr hohe Eigenfrequenzen aufweisen, welche häufig über 10.000 Hz liegen, erhöht sich die mechanische Wirksamkeit einer Bearbeitung, wenn die zur mechanischen Bearbeitung eingesetzten Werkzeuge mit hochfrequenten Bearbeitungsparametern

10 arbeiten. Bearbeitungsschritte mit geeigneten Bearbeitungsparametern wirken dadurch mit Bearbeitungsfrequenzen oberhalb der Eigenfrequenz auf ein Triebwerksbauteil. Auf diese Weise werden Beschädigungen an Bauteilen durch Eigenfrequenzschwingungen bei einer Bearbeitung verhindert. Geeignete Bearbeitungsfrequenzen liegen bei Triebwerksbauteilen üblicherweise in einem Bereich von 10.000 Hz bis ca. 60.000 Hz.

15 Bei einer Ausführungsform des Werkzeugs sind wenigstens zwei Werkzeugelemente parallel mit der Werkzeugbasis verbindbar und betreibbar, so dass die wenigstens zwei Werkzeugelemente insbesondere zusammenwirken können, um Bearbeitungsschritte auszuführen. Beispielsweise können ein spanendes Bearbeitungswerkzeugelement und ein Saugwerkzeugelement zusammen

20 wirken und/ oder insbesondere gleichzeitig eine Kamera eingesetzt werden, welche den Benutzer bei der Führung anderer Werkzeugelemente unterstützt. Das Werkzeug kann dabei auch so ausgeführt sein, dass die wenigstens zwei Werkzeugelemente wahlweise unter Beanspruchung wenigstens eines übereinstimmenden Kanals der mehrkanaligen Versorgungsleitung betreibbar sind. Dies kann beispielsweise dann erforderlich sein, wenn die wenigstens zwei

25 Werkzeugelemente elektrisch angetrieben sind und insbesondere mittels Steuersignalen gesteuert werden.

Eine Ausführungsform des Werkzeugs zur Instandhaltung von Triebwerken weist eine mit der Werkzeugbasis verbundene Wechseleinrichtung auf, welche gemeinsam mit der Werkzeugbasis

30 und wenigstens zwei insbesondere über die Wechseleinrichtung mit der Werkzeugbasis verbindbaren Werkzeugelementen durch ein in einem Triebwerksgehäuse angeordnetes Boroskopauge führbar ist. Die wenigstens zwei Werkzeugelemente sind im

Triebwerksinnenraum mithilfe der Wechseleinrichtung abwechselnd mit der Werkzeugbasis verbindbar. Mit einer solchen Wechseleinrichtung ist es möglich, mit der Werkzeugbasis verbundene und entsprechend einsetzbare Werkzeugelemente zwischen den Bearbeitungsschritten unmittelbar im Innenraum des Triebwerks zu wechseln, ohne dass es erforderlich ist, das Werkzeug bzw. die Werkzeugbasis mit daran angeordneten Werkzeugelementen aus dem Triebwerksinnenraum zu entnehmen, die Werkzeugelemente zu wechseln und dann wieder aufwändig in den Triebwerksinnenraum zu führen und an der vorgesehenen Position zu positionieren. Eine solche Wechseleinrichtung ermöglicht folglich eine schnellere Abfolge von Arbeitsschritten und damit eine aufwandsärmere und kostengünstigere Instandhaltung von Triebwerken.

In einem weiteren Aspekt wird zur Lösung der Aufgabe ein Verfahren zur Instandhaltung von Triebwerken vorgeschlagen, das insbesondere mit einem Werkzeug durchführbar ist, wie es vorausgehend beschrieben ist. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Festlegen eines zu bearbeitenden Triebwerkbauteils, das eine vorbestimmte Eigenfrequenz aufweist;
- Festlegen wenigstens eines bei der Instandhaltung durchzuführenden Arbeitsschrittes und Auswählen wenigstens eines hierfür erforderlichen Werkzeugelements, wobei die Bearbeitungsfrequenz eines mechanisch wirkenden Werkzeugelements höher vorgesehen wird, als die Eigenfrequenz des zu bearbeitenden Triebwerkbauteils;
- Einführen des wenigstens einen Werkzeugelements insbesondere durch ein Boroskopauge eines Triebwerksgehäuses in einen Triebwerksinnenraum;
- Positionieren des Werkzeugelements im Triebwerksinnenraum, wobei das Werkzeugelement insbesondere für mechanisch wirkende Bearbeitungsschritte insbesondere fest gegenüber wenigstens einem feststehenden Triebwerkselement positioniert wird;
- Durchführen des wenigstens eines Arbeitsschrittes mit dem wenigstens einen Werkzeugelement;
- Entfernen des wenigstens einen Werkzeugelements insbesondere durch das Boroskopauge aus dem Triebwerksinnenraum.

Das vorgeschlagene Verfahren stellt ein verbessertes Vorgehen zur Instandhaltung von Triebwerken in deren Einbauzustand am Flugzeug zur Verfügung, welches wie das ebenfalls vorgeschlagene Werkzeug, welches zum Durchführen des Verfahrens verwendbar ist, flexibel am Triebwerk einsetzbar ist, und ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten ermöglicht. So wird das Durchführen präventiver Instandhaltungsarbeiten erleichtert, um Wirkungsgradverluste und/oder Schäden bereits frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Mögliche Eigenschaften eines beim Durchführen des Verfahrens einsetzbaren Werkzeugs sind in der vorausgehenden Beschreibung dargestellt.

Die Eigenfrequenz des als zu bearbeitend festgelegten Triebwerkbauteils ist dabei beispielsweise durch Information vom Hersteller bekannt, oder wurde beispielsweise bereits bei einer früheren Instandhaltung eines Gleichteils ermittelt, welche einen Ausbau des Bauteils aus einem Triebwerk erforderte. Zum Positionieren des Werkzeugelements im Triebwerksinnenraum, weist das verwendete Werkzeug beispielsweise eine Positioniereinrichtung auf, welche das Führen des wenigstens einen Werkzeugelements zur Instandhaltungsposition unterstützen kann und für mechanisch wirkende Bearbeitungsschritte ein Werkzeugelement insbesondere fest gegenüber wenigstens einem feststehenden Triebwerkselement positioniert wird. Sofern erforderlich, wird das Werkzeugelement dabei an der Bearbeitungsposition kraft- bzw. formschlüssig abgestützt, so dass wirkende Bearbeitungskräfte über entsprechend geeignete Triebwerkselemente geleitet werden können.

Bei einer Ausführungsform des vorgeschlagenen Verfahrens zur Instandhaltung von Triebwerken erfolgt beim Durchführen der Instandhaltungsarbeiten innerhalb des Triebwerksinnenraums ein Wechsel des wenigstens einen zum Durchführen eines Arbeitsschritts eingesetzten Werkzeugelements. Dabei ist zunächst wenigstens ein Werkzeugelement mit dem Werkzeug verbunden und nach dem Wechsel ist wenigstens ein anderes Werkzeugelement mit dem Werkzeug verbunden und jeweils einsatzbereit.

Weitere Merkmale, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Werkzeugs;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines beispielhaften erfindungsgemäßen Werkzeugelementesatzes mit verschiedenen Varianten möglicher Werkzeugelemente;

Fig. 3 die schematisch gezeigte beispielhafte Ausführungsform des Werkzeugs aus Fig. 1 mit einer daran angeordneten Wechseleinrichtung; und

Fig. 4 eine schematische Darstellung des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens.

10 **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer beispielhaften Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Werkzeugs 100. Das Werkzeug 100 weist eine Werkzeughauptkomponente 1 mit einer Werkzeugbasis 10 und einer mehrkanaligen Versorgungsleitung 30 auf. Diese weist einen elektrischen Energieversorgungs- und oder Datenkanal 31 und einen Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanal 32 auf, wobei die mehreren Kanäle 31, 32 in einem bis zur

15 Werkzeugbasis 10 führenden Abschnitt von einer gemeinsamen Ummantelung 33 umgeben sind. An einem Ende ist die mehrkanalige Versorgungsleitung 30 an eine Versorgungseinrichtung 40 der Werkzeughauptkomponente 1 angeschlossen. Die Versorgungseinrichtung 40 umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Stromquelle 41 und eine Vakuumpumpe 42.

20 Die Werkzeugbasis 10 ist mittels eines Leitungsanschlusses 12 mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung 30 verbunden. Darüber hinaus weist die Werkzeugbasis 10 im gezeigten Beispiel zwei Anschlüsse 11a, 11b auf, an denen jeweils ein Werkzeugelement 20 angeschlossen werden kann, damit dieses dort unter Beanspruchung mindestens eines jeweiligen Kanals der mehrkanaligen Versorgungsleitung (beispielsweise also mittels durch den elektrischen

25 Energieversorgungs- und/oder Datenkanal 31 zugeführter elektrischer Energie und/oder unter Einsatz des Gas-, Flüssigkeits- und/oder 15 Materialkanals 32) betrieben werden kann. In der gezeigten Situation ist das Werkzeugelement 20 am Anschluss 11b angeschlossen, insbesondere kann es wahlweise auch am Anschluss 11a betrieben werden und dabei denselben Kanal/ dieselben Kanäle der mehrkanaligen Leitung beanspruchen wie am Anschluss 11b (bzw. an

30 dieselbe(n) Operation(en) durchführen).

So kann das Werkzeugelement 20 je nach Position einer Einsatzstelle in einem Turbineninnenraum 20 geeignet wahlweise am Anschluss 11a oder am Anschluss 11b positioniert werden. Ein anderes (nicht gezeigtes) Werkzeugelement kann ebenfalls an mindestens einem der Anschlüsse 11a, 11b angeschlossen und betrieben werden. Die

Werkzeugbasis 10 ist dabei dazu eingerichtet, je nach gewähltem Werkzeugelement bei deren Betrieb unterschiedliche Kanäle der 25 mehrkanaligen Leitung zu beanspruchen (also zu verwenden bzw. einzusetzen). Die Werkzeugbasis 10 kann gemeinsam mit dem wenigstens einen Werkzeugelement 20 durch ein im Triebwerksgehäuse 5 angeordnetes Boroskopauge 6 zum Durchzuführen von Instandhaltungsarbeiten in einen Triebwerksinnenraum 7 geführt zu werden. An der Werkzeugbasis 10 ist ferner eine Bilderfassungseinrichtung 29 in Form einer Kamera 29 angeordnet, mittels welcher der mit einem Werkzeugelement zu bearbeitende Bereich visuell erfasst wird und einem Benutzer angezeigt werden kann.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Werkzeugelementesatzes 200 mit verschiedenen Varianten möglicher Werkzeugelemente 21 – 29 eines erfindungsgemäßen Werkzeugs 100. Die Werkzeugelemente 21 -29 weisen jeweils ein Anschlusselement 19 auf, das dazu eingerichtet ist, mit einem entsprechenden Anschlusselement eines der in der Fig. 1 gezeigten Anschlüsse 11a oder 11b verbunden zu werden. Das Anschlusselement 19 kann beispielsweise als ein Einsteck-, ein Einklick-, ein Schraub- oder ein Bajonettverbindungselement ausgebildet sein.

In Fig. 2a ist eine rotierbare Nadel 21 dargestellt, die unter Beanspruchung des elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanals 31 und mittels eines beispielsweise von der Werkzeugbasis 10 umfassten Elektromotors um eine Rotationsachse R rotierbar ist und sich beispielsweise zum Öffnen verschlossener Kühlbohrungen eignet.

Fig. 2b zeigt eine unter Beanspruchung des elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanals 31 um eine Rotationsachse R rotierbare Bürste 22 mit festen Borsten, die zur Reinigung einer Oberfläche einsetzbar ist. Die in der Fig. 2c dargestellte flexible Drahtbürste 23 kann zum Öffnen verstopfter Kühlbohrungen unter Beanspruchung des elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanals 31 um die Rotationsachse R rotiert werden. Die Enden der Drahtborsten sind dabei frei, so dass sich ein Durchmesser der Drahtbürste bei Rotation vergrößern kann.

Fig. 2d zeigt eine Extraktionsnadel 24 mit beispielhaft gezeigten drei Widerhaken. Dieses Werkzeugelement eignet sich besonders zum Extrahieren von Schmutz aus Löchern oder Ritzen. Es kann elektrisch unter Beanspruchung des elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanals 31 und eines Elektromotors oder mittels Druckpulsen unter Beanspruchung des Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanals 32 betrieben werden.

Die in der Fig. 2e gezeigte Spritzdüse 25 kann unter Beanspruchung des Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanals 32 oder zusätzlich des elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanals 31 zum Abspritzen mit Wasser und/ oder mit partikelhaltiger Luft eingesetzt werden. Alternativ oder zusätzlich kann Treibstoff und/ oder mindestens eine flüchtige Substanz wie beispielsweise Azeton zum Abspritzen verwendet werden, um das Verbleiben von Restsubstanz im Triebwerk zu vermeiden. Im Fall der Verwendung von Treibstoff kann dieser gezündet werden, um den Reinigungseffekt zu verstärken.

In Fig. 2f ist ein Nadelhammer 26 dargestellt, der wie die in Figur 2d) gezeigte Extraktionsnadel 24 elektrisch unter Beanspruchung des elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanals 31 oder mittels Druckpulsen unter Beanspruchung des Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanals 32 betrieben werden kann. Der Nadelhammer 26 hat dabei eine meißelartige Wirkung und kann zur Kraftausübung auf schwer zu entfernenden Schmutz in einem Loch oder einer Ritze, insbesondere in einer Kühlbohrung verwendet werden.

Die in Fig. 2g gezeigte Druckdüse 27 kann beispielsweise auf einem verstopften Loch (oder in dessen Nähe) positioniert werden, ehe durch sie mindestens ein Druckluftpuls unter Beanspruchung des Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanals 32 abgegeben wird. Analog können verstopfte Kanäle freigesetzt werden.

Das in Fig. 2h gezeigte Werkzeugelement weist Saugdüse 28 an einem insbesondere flexiblen Rohr auf. Damit können insbesondere Rückstände der Anwendung anderer Werkzeugelemente beseitigt werden.

In Fig. 2i ist eine Bilderfassungseinrichtung 29 in Form einer Kamera gezeigt, welche unter Beanspruchung des Energieversorgungs- und/ oder Datenleitungskanals 31 den Bereich vor der Werkzeugbasis visuell erfasst und beispielsweise an eine mit dem Werkzeug 100 verbundene Recheneinrichtung sendet, welche mit einem Display verbunden ist, um das erfasste Bild einem Benutzer anzuzeigen.

Fig. 3 zeigt die schematisch gezeigte beispielhafte Ausführungsform des Werkzeugs aus Fig. 1 mit einer daran angeordneten Wechseleinrichtung 45, die in der beispielhaften Ausführungsform als Art Revolverwechseleinrichtung ausgeführt ist. An der Wechseleinrichtung 45 ist ferner unmittelbar eine Kamera 29 angeordnet. Zum Durchführen von Instandhaltungsarbeiten wird die Wechseleinrichtung 45 gemeinsam mit der Werkzeugbasis 10 und den drei damit verbindbaren Werkzeugelementen 23, 26 und 28 durch ein im Triebwerksgehäuse angeordnetes Boroskopauge in den Triebwerksinnenraum geführt. Die drei Werkzeugelemente 23, 26 und 28 sind mittels der Wechseleinrichtung im Triebwerksinnenraum abwechselnd mit der Werkzeugbasis 10 verbindbar, in der Darstellung ist die flexible Drahtbürste 23 mit der

An der mehrkanaligen Versorgungsleitung 30 und an der Werkzeugbasis 10 sind bei der dargestellten Ausführungsform Positioniereinrichtungen 35, 36 angeordnet. Diese sind bei der beispielhaften Ausführungsform als expandierbare Ringe ausgebildet, welche beispielsweise durch ein insbesondere inkompressibles Fluid füllbar sind, um das wenigstens eine an der Werkzeugbasis 10 angeordnete Werkzeugelement 20 bis 29 zum Durchführen von Instandhaltungsarbeiten im Triebwerksinnenraum zu positionieren. Die als expandierbare Ringe ausgeführten Positioniereinrichtungen 35, 36 sind so ausgebildet, dass diese im expandierten Zustand eine feste Lagerung zwischen dem Werkzeug 100 und den Triebwerksteilen bzw. zwischen der mehrkanaligen Versorgungsleitung und dem im Triebwerksgehäuse angeordneten Boroskopauge 6 herzustellen, um sich dort im expandierten Zustand abstützen.

Offenbart ist eine Werkzeughauptkomponente 1 für ein Multifunktionswerkzeug zur Behandlung von Turbinenelementen. Das Werkzeug umfasst eine mehrkanalige Leitung 30 mit mindestens einem elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenkanal 31 und mindestens einem Gas-, Flüssigkeits- und/oder Materialkanal 32, sowie eine mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung

30 verbundene oder zu verbindende Werkzeugbasis 10 zur Einfuhr in einen Turbineninnenraum. Die Werkzeugbasis ist dazu eingerichtet, wahlweise verschiedene an sie anzuschließende Werkzeugelemente 20 - 29 unter Beanspruchung unterschiedlicher Kanäle 31, 32 der mehrkanaligen Versorgungsleitung 30 zu betreiben und gemeinsam mit wenigstens einem
5 Werkzeugelement 20 - 29 durch ein im Triebwerksgehäuse angeordnetes Boroskopauge zum Durchzuführen von Instandhaltungsarbeiten in einen Triebwerksinnenraum geführt zu werden.

In **Fig. 4** ist der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Instandhaltung von Triebwerken schematisch dargestellt. Das Verfahren kann beispielsweise mit einem Werkzeug durchgeführt
10 werden, wie es beispielhaft in den Figuren 1 bis 3 dargestellt und hierzu beschrieben ist. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

In einem ersten Schritt a) erfolgt ein Festlegen eines zu bearbeitenden Triebwerkbauteils, das eine vorbestimmte Eigenfrequenz aufweist. Danach wird im Schritt b) wenigstens ein bei der
15 Instandhaltung durchzuführender Arbeitsschritt bestimmt. Soll für diesen Arbeitsschritt ein mechanisch wirkendes Werkzeugelement (20 - 29) eingesetzt werden, so wird dessen Bearbeitungsfrequenz höher vorgesehen, als die Eigenfrequenz des zu bearbeitenden Triebwerkbauteils. Im nächsten Schritt c), welcher auch wenigstens teilweise parallel mit Schritt b) erfolgen kann, wird das wenigstens eine für diesen Schritt erforderliche Werkzeugelement (20
20 - 29) ausgewählt und festgelegt. Daraufhin wird im Schritt d) das wenigstens eine Werkzeugelement (20- 29) insbesondere durch ein Boroskopauge des Triebwerksgehäuses in den Triebwerksinnenraum geführt, bevor im Schritt e) das Werkzeugelement (20 - 29) im Triebwerksinnenraum positioniert wird, wobei das Werkzeugelement (20 - 29) beispielsweise im Falle von vorgesehenen mechanisch wirkenden Bearbeitungsschritten insbesondere fest
25 gegenüber wenigstens einem feststehenden Triebwerkelement positioniert wird. Anschließend kann im Schritt f) der wenigstens eine Arbeitsschritt mit dem wenigstens einen Werkzeugelement (20 - 29) durchgeführt werden und im Schritt g) das wenigstens eine Werkzeugelement (20 - 29) insbesondere durch das Boroskopauge aus dem Triebwerksinnenraum entfernt werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

	1	Werkzeughauptkomponente
	5	Triebwerksgehäuse
5	6	Boroskopauge
	7	Triebwerksinnenraum
	10	Werkzeugbasis
	11a, 11b	Anschluss
	12	Leistungsanschluss
10	19	Anschlusselement
	20	Werkzeugelement
	21	rotierbare Nadel
	22	rotierbare Bürste mit festen Borsten
	23	rotierbare Bürste mit flexiblen Borsten
15	24	Extraktionsnadel
	25	Spritzdüse
	26	Nadelhammer
	27	Druckdüse für Druckluftpulse
	28	Saugdüse
20	29	Bilderfassungseinrichtung, Kamera
	30	mehrkanalige Versorgungsleitung
	31	Energieversorgungs- und/ oder Datenkanal
	32	Gas-, Flüssigkeits- und/ oder Materialkanal
	33	gemeinsame Ummantelung der Kanäle
25	35	Positioniereinrichtung
	36	Positioniereinrichtung
	40	Versorgungseinrichtung
	41	Stromquelle
	42	Vakuumpumpe
30	45	Wechseleinrichtung
	100	Werkzeug
	200	Werkzeugelementesatz
	R	Rotationsachse

ANSPRÜCHE

- 5 1. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken mit einer mehrkanaligen Versorgungsleitung (30), die wenigstens einen elektrischen Energieversorgungs- und/oder Datenleitungs kanal (31) und wenigstens einen Gas-, Flüssigkeits- und/ oder Materialkanal (32) aufweist, **gekennzeichnet durch** eine mit der mehrkanaligen Versorgungsleitung (30) verbundene oder zu verbindende
10 Werkzeugbasis (10), die dazu eingerichtet ist, wahlweise verschiedene mit dieser verbindbare Werkzeugelemente (20 - 29) unter Beanspruchung jeweils wenigstens eines Kanals (31, 32) der mehrkanaligen Versorgungsleitung (30) zu betreiben, und gemeinsam mit wenigstens einem Werkzeugelement (20 - 29) durch ein im Triebwerksgehäuse (5) angeordnetes Boroskopauge (6) zum Durchführen von Instandhaltungsarbeiten in einen
15 Triebwerksinnenraum (7) geführt zu werden.
2. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der mehrkanaligen Versorgungsleitung (30) und/ oder an der Werkzeugbasis (10) wenigstens eine Positioniereinrichtung (35, 36) angeordnet ist, durch
20 welche das wenigstens eine an der Werkzeugbasis (10) angeordnete Werkzeugelement (20 - 29) zum Durchführen von Instandhaltungsarbeiten im Triebwerksinnenraum (7) positionierbar ist.
3. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach wenigstens einem der
25 vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wenigstens eine Werkzeugelement (20 - 29), das zur Durchführung einer mechanisch wirkenden Bearbeitung vorgesehen ist, eingerichtet ist, mit einer Bearbeitungsfrequenz zu arbeiten, welche oberhalb der Eigenfrequenz des jeweils zu bearbeitenden Bauteils liegt.
- 30 4. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens zwei

Werkzeugelemente (20 – 29) parallel mit der Werkzeugbasis (10) verbindbar und betreibbar sind.

5. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach Anspruch 4, **dadurch**
5 **gekennzeichnet**, dass die wenigstens zwei Werkzeugelemente (20 – 29) wahlweise unter Beanspruchung wenigstens eines übereinstimmenden Kanals (31, 32) der mehrkanaligen Versorgungsleitung (30) betreibbar sind.

6. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach wenigstens einem der
10 vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine mit der Werkzeugbasis (10) verbundene Wechseleinrichtung (45), welche gemeinsam mit der Werkzeugbasis (10) und wenigstens zwei damit verbindbaren Werkzeugelementen (20 - 29) durch ein im Triebwerksgehäuse (5) angeordnetes Boroskopauge (6) führbar ist, wobei die
15 wenigstens zwei Werkzeugelemente (20 - 29) im Triebwerksinnenraum (7) mithilfe der Wechseleinrichtung (45) abwechselnd mit der Werkzeugbasis (10) verbindbar sind.

7. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach wenigstens einem der
vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkzeug eine
Rechnereinheit aufweist oder mit einer Rechneinheit verbindbar ist.

8. Werkzeug zur Instandhaltung von Triebwerken nach wenigstens einem der
vorhergehenden Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit der Werkzeugbasis
(10) verbindbaren Werkzeugelemente (20 - 29) wenigstens eine Kamera (29), wenigstens
eine rotierbare Bürste (22, 23), wenigstens eine linear bewegliche Bürste, wenigstens eine
25 rotierbare Nadel (21), wenigstens eine rotierbare Nadelfeile, wenigstens eine rotierbare Nadelsonde, wenigstens eine Extraktionsnadel (24), wenigstens einen Nadelhammer (26),
wenigstens eine Spritzdüse (25), wenigstens eine Druckdüse (27), wenigstens eine
Saugdüse (28) und/oder eine Kombination aus den vorgenannten Werkzeugelementen (20
- 29) aufweist.

9. Verfahren zur Instandhaltung von Triebwerken mit einem Werkzeug insbesondere gemäß wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet durch** die folgenden Schritte:

- Festlegen eines zu bearbeitenden Triebwerkbauteils, das eine vorbestimmte Eigenfrequenz aufweist;
- 5 - Festlegen wenigstens eines bei der Instandhaltung durchzuführenden Arbeitsschrittes und Auswählen wenigstens eines hierfür erforderlichen Werkzeugelements (20 - 29), wobei die Bearbeitungsfrequenz eines mechanisch wirkenden Werkzeugelements (20 - 29) höher vorgesehen wird, als die Eigenfrequenz des zu bearbeitenden Triebwerkbauteils;
- 10 - Einführen des wenigstens einen Werkzeugelements (20 - 29) insbesondere durch ein Boroskopauge (6) eines Triebwerksgehäuses (5) in einen Triebwerksinnenraum (7);
- Positionieren des Werkzeugelements (20 - 29) im Triebwerksinnenraum (7), wobei das Werkzeugelement (20 - 29) insbesondere für mechanisch wirkende
15 Bearbeitungsschritte insbesondere fest gegenüber wenigstens einem feststehenden Triebwerkselement positioniert wird;
- Durchführen des wenigstens eines Arbeitsschrittes mit dem wenigstens einen Werkzeugelement (20 - 29);
- Entfernen des wenigstens einen Werkzeugelements (20 - 29) insbesondere durch
20 das Boroskopauge (6) aus dem Triebwerksinnenraum (7).

10. Verfahren zur Instandhaltung von Triebwerken gemäß dem Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Durchführen der Instandhaltungsarbeiten innerhalb des Triebwerksinnenraums (7) ein Wechsel des wenigstens einen zum Durchführen eines
25 Arbeitsschrittes eingesetzten Werkzeugelements (20 - 29) erfolgt.

Fig. 1

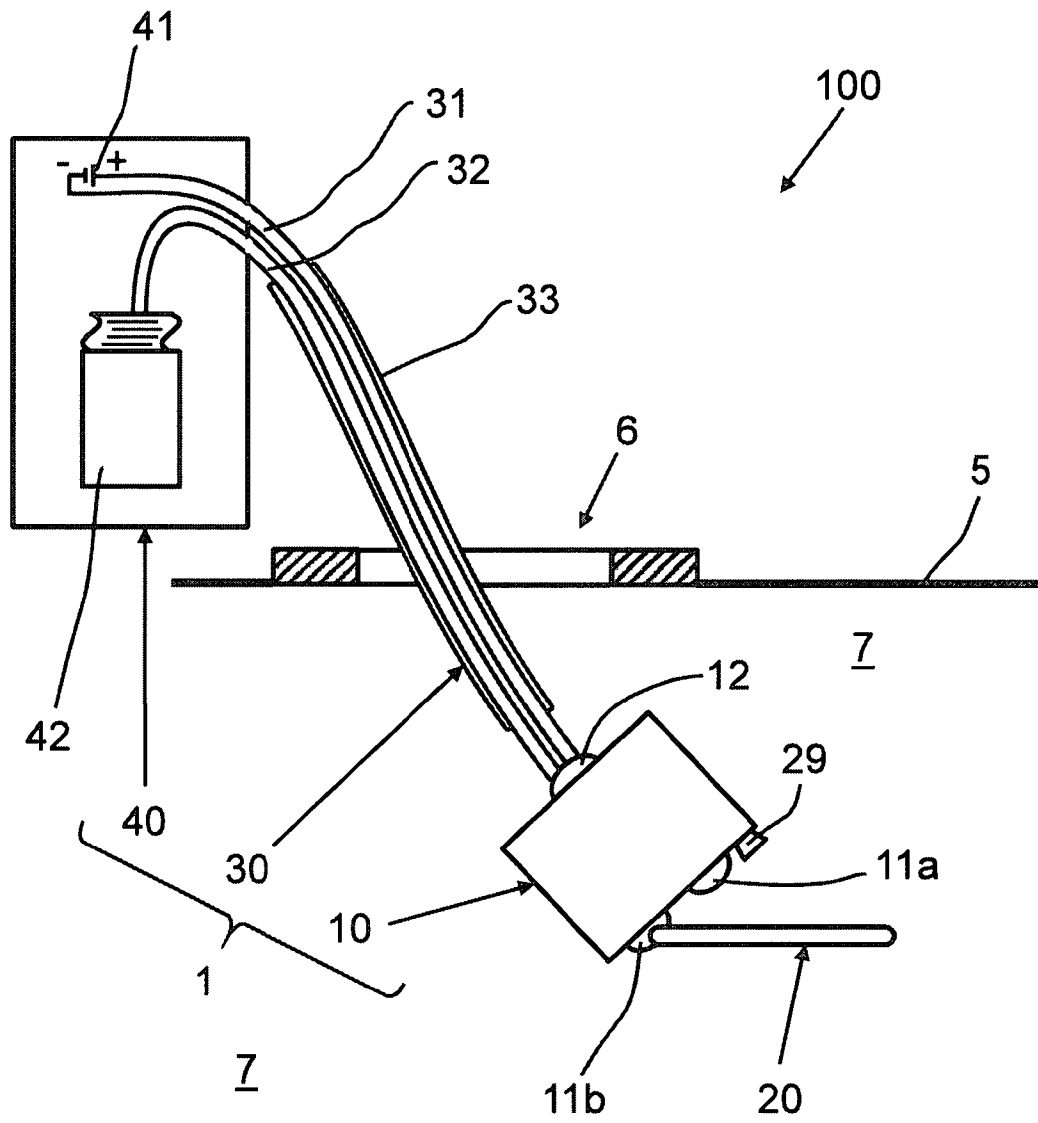


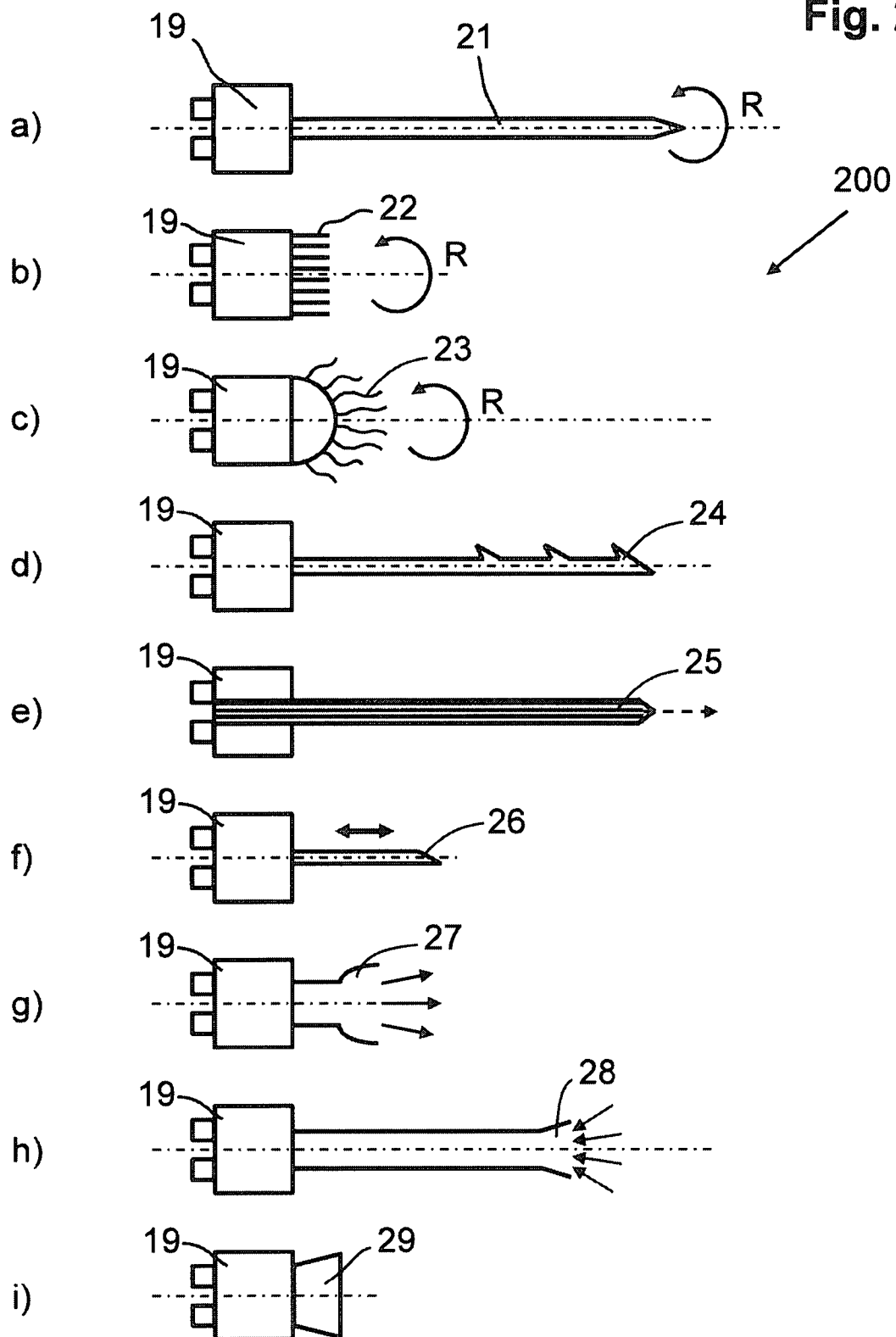
Fig. 2

Fig. 3

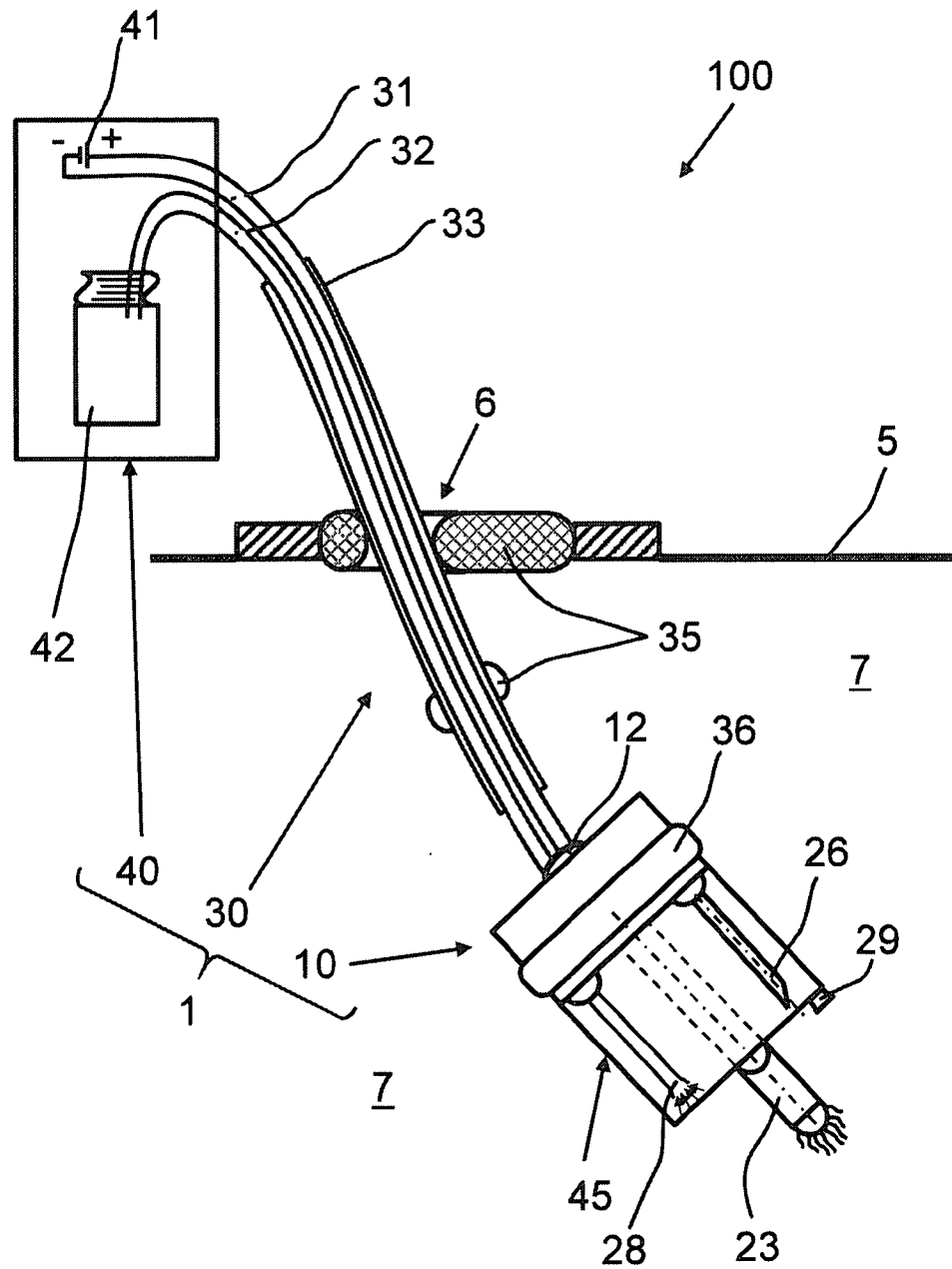
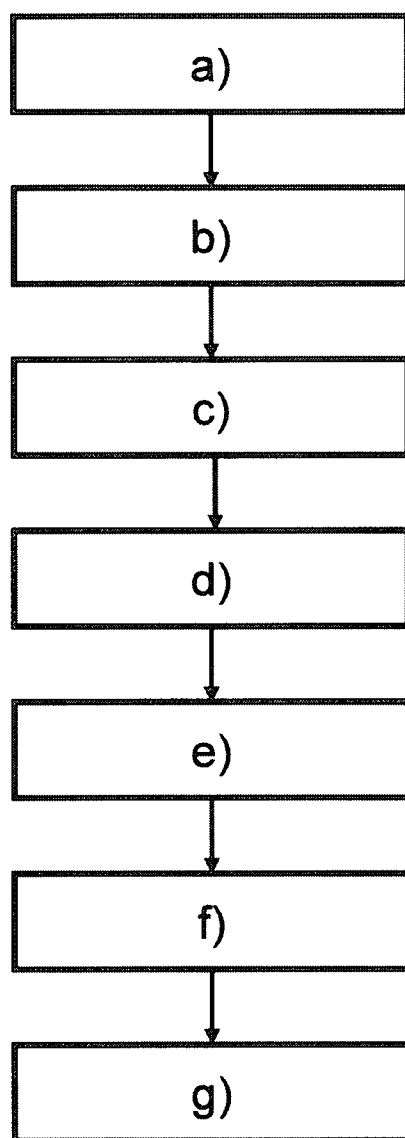


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2019/000025

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F01D 5/00**(2006.01)i; **F01D 25/00**(2006.01)i; **B23P 6/00**(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)

F01D; B23P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102015225445 A1 (ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND LTD & CO KG [DE]) 22 June 2017 (2017-06-22)	1,3-5,7-9
Y	paragraphs [0001], [0008], [0014], [0038] - [0064]; figures 4-10	2,6,10
X	WO 2006026457 A1 (HONEYWELL INT INC [US]; BAKER MARTIN C [US] ET AL.) 09 March 2006 (2006-03-09)	1,7
	paragraphs [0021], [0028] - [0036]	
Y	EP 2623731 A1 (ROLLS ROYCE DEUTSCHLAND [DE]) 07 August 2013 (2013-08-07)	2
	paragraphs [0028] - [0033]; figures 5,6,10	
Y	EP 3050653 A1 (GILDEMEISTER DREHMASCHINEN GMBH [DE]) 03 August 2016 (2016-08-03)	6,10
	the whole document	
A	US 5155941 A (TAKAHASHI ICHIRO [JP] ET AL) 20 October 1992 (1992-10-20)	1-10
	the whole document	
A	US 2005107001 A1 (MOELLER DIETER [US] ET AL) 19 May 2005 (2005-05-19)	1-10
	the whole document	

☐ 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

06 June 2019

Date of mailing of the international search report

19 June 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

Dreyer, Christoph

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2019/000025

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102015225445	A1	22 June 2017	NONE	
WO	2006026457	A1	09 March 2006	EP 1796868 A1	20 June 2007
				US 2006042083 A1	02 March 2006
				WO 2006026457 A1	09 March 2006
EP	2623731	A1	07 August 2013	DE 102012002275 A1	08 August 2013
				EP 2623731 A1	07 August 2013
				US 2013199040 A1	08 August 2013
EP	3050653	A1	03 August 2016	NONE	
US	5155941	A	20 October 1992	NONE	
US	2005107001	A1	19 May 2005	US 7112118 B1	26 September 2006
				US 2005107001 A1	19 May 2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2019/000025

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F01D5/00 F01D25/00 B23P6/00
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01D B23P

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2015 225445 A1 (ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND LTD & CO KG [DE]) 22. Juni 2017 (2017-06-22)	1,3-5, 7-9
Y	Absätze [0001], [0008], [0014], [0038] - [0064]; Abbildungen 4-10 -----	2,6,10
X	WO 2006/026457 A1 (HONEYWELL INT INC [US]; BAKER MARTIN C [US] ET AL.) 9. März 2006 (2006-03-09)	1,7
	Absätze [0021], [0028] - [0036] -----	
Y	EP 2 623 731 A1 (ROLLS ROYCE DEUTSCHLAND [DE]) 7. August 2013 (2013-08-07)	2
	Absätze [0028] - [0033]; Abbildungen 5,6,10 ----- -/--	



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

6. Juni 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/06/2019

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

Dreyer, Christoph

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2019/000025

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 3 050 653 A1 (GILDEMEISTER DREHMASCHINEN GMBH [DE]) 3. August 2016 (2016-08-03) das ganze Dokument	6,10
A	----- US 5 155 941 A (TAKAHASHI ICHIRO [JP] ET AL) 20. Oktober 1992 (1992-10-20) das ganze Dokument	1-10
A	----- US 2005/107001 A1 (MOELLER DIETER [US] ET AL) 19. Mai 2005 (2005-05-19) das ganze Dokument -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2019/000025

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015225445 A1	22-06-2017	KEINE	

WO 2006026457 A1	09-03-2006	EP 1796868 A1	20-06-2007
		US 2006042083 A1	02-03-2006
		WO 2006026457 A1	09-03-2006

EP 2623731 A1	07-08-2013	DE 102012002275 A1	08-08-2013
		EP 2623731 A1	07-08-2013
		US 2013199040 A1	08-08-2013

EP 3050653 A1	03-08-2016	KEINE	

US 5155941 A	20-10-1992	KEINE	

US 2005107001 A1	19-05-2005	US 7112118 B1	26-09-2006
		US 2005107001 A1	19-05-2005
