

(19)



(11)

EP 3 441 617 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
13.02.2019 Patentblatt 2019/07

(51) Int Cl.:
F04D 19/04^(2006.01) F04D 29/58^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **17185534.9**

(22) Anmeldetag: **09.08.2017**

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

- **Schweighöfer, Michael**
35641 Schöffengrund (DE)
- **Lohse, Martin**
35586 Wetzlar (DE)
- **Hofmann, Jan**
35305 Grünberg (DE)

(71) Anmelder: **PFEIFFER VACUUM GMBH**
35614 Asslar (DE)

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald Patentanwälte
PartmbB**
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Stoll, Tobias**
35644 Hohenaar (DE)

Bemerkungen:
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)
EPÜ.

(54) **VERFAHREN ZUM ERWÄRMEN EINES ROTORS EINER VAKUUMPUMPE**

(57) Es ist ein Verfahren zum Erwärmen eines Rotors einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, vorgesehen. Die Vakuumpumpe weist einen mittels eines Elektromotors antreibbaren Rotor auf, dessen Temperatur während einer ersten Betriebsphase der Vakuumpumpe im Bereich einer Umgebungstemperatur

liegt. Gemäß dem Verfahren werden während einer zweiten Betriebsphase Wirbelströme innerhalb des Rotors erzeugt, die eine Erwärmung des Rotors auf eine gewünschte Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur bewirken.

EP 3 441 617 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erwärmen eines Rotors einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, wobei der Rotor mittels eines Elektromotors antreibbar ist.

[0002] Bei manchen wissenschaftlichen Untersuchungen und Herstellungsverfahren, beispielsweise in der Halbleitertechnik, ist es erforderlich, dass in einem Rezipienten ein Ultrahochvakuum vorliegt, d.h. ein Druck kleiner als 10^{-10} mbar. Um einen solchen Druck im Rezipienten zu erreichen, müssen der Rezipient und auch ein Flansch sowie gegebenenfalls ein Gehäuse einer Vakuumpumpe, die mit dem Rezipienten verbunden ist, ausgeheizt werden, um Wassermoleküle zur Verringerung des Restgasdrucks im Rezipienten von den Innenflächen des Rezipienten und des Flansches der Vakuumpumpe zu entfernen.

[0003] Der Rotor einer Vakuumpumpe ist aufgrund seiner Lagerung, beispielsweise einer Magnetlagerung, üblicherweise gegenüber entsprechenden Statorteilen der Vakuumpumpe und somit gegenüber dem Pumpenflansch und dem Rezipienten thermisch isoliert. Heizelemente, die zum Ausheizen des Rezipienten und des Pumpenflansches vorgesehen sind, können den Rotor folglich nicht ausheizen.

[0004] Wenn sich der Rotor während des Betriebs der Vakuumpumpe erwärmt, beispielsweise bei einer Anwendung, die eine Gaslast oder einen erhöhten Vorvakuumdruck erfordert, gast der Rotor aufgrund seines fehlenden Ausheizens aus. Dadurch steigt der Druck im Rezipienten aufgrund der Erwärmung des Rotors an. Dies kann zur Folge haben, dass der gewünschte Enddruck im Rezipienten, beispielsweise ein Druck im Ultrahochvakuumbereich, nicht oder nur sehr schwer erreicht werden kann.

[0005] Der Rotor der Vakuumpumpe sollte bei der Evakuierung des Rezipienten somit ebenfalls ausgeheizt werden. Zu diesem Zweck wurde vorgeschlagen, die Gasreibung innerhalb des Rotors zu erhöhen, indem entweder der Vorvakuumdruck erhöht wird oder eine zusätzliche Gaslast in der Nähe des Auslasses der Vakuumpumpe vorgesehen wird. Aufgrund der erhöhten Gasreibung steigt die Temperatur des Rotors, wodurch dieser ausgeheizt wird. Eine solche Vorgehensweise ist jedoch zeitintensiv und daher mit zusätzlichen Kosten verbunden.

[0006] Aufgrund des begrenzten Saugvermögens der Vakuumpumpe erfolgt darüber hinaus beim Einlassen von zusätzlichem Gas am Auslass der Vakuumpumpe eine unvermeidbare Rückströmung in Richtung ihres Einlasses und in den Rezipienten hinein. Moleküle des eingelassenen Gases können sich daher zusätzlich an den Innenflächen des Rezipienten anlagern. Dadurch kann sich der maximal realisierbare Enddruck im Rezipienten derart erhöhen, dass der Ultrahochvakuumbereich möglicherweise nicht mehr erreicht wird. Zumindest wird durch den zusätzlichen Gaseinlass die Zeit verlän-

gert, bis ein akzeptabler Enddruck im Rezipienten erreicht ist. Ferner ist das Einlassen von zusätzlichem Gas in den Hochvakuum- bzw. Ultrahochvakuumbereich einer Vakuumanlage insofern problematisch, als über das zusätzliche Gas Verunreinigungen in den Rezipienten gelangen können.

[0007] Daher besteht eine Aufgabe der Erfindung darin, ein Verfahren zum Erwärmen eines Rotors einer Vakuumpumpe zu schaffen, mit welchem der Rotor auf eine zum Ausheizen ausreichende Temperatur erwärmt werden kann, ohne dass zusätzliches Gas in die Vakuumanlage eingebracht werden muss.

[0008] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst und insbesondere dadurch, dass innerhalb des Rotors einer Vakuumpumpe, der mittels eines Elektromotors antreibbar ist und dessen Temperatur während einer ersten Betriebsphase der Vakuumpumpe im Bereich einer Umgebungstemperatur liegt, während einer zweiten Betriebsphase Wirbelströme erzeugt werden, die eine Erwärmung des Rotors auf eine gewünschte Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur bewirken.

[0009] Zur Erzeugung der Wirbelströme werden die elektromagnetischen Eigenschaften des Rotors verändert, beispielsweise direkt mittels eines Magnetfelds oder indirekt durch eine Manipulation der Ansteuerung des Elektromotors. Die Erwärmung des Rotors erfordert somit keine zusätzliche Gaslast, so dass weder eine Vorrichtung für den zusätzlichen Gaseinlass notwendig ist, noch die Gefahr einer Verunreinigung durch zusätzliches Gas besteht. Da die Wirbelströme innerhalb des Rotors durch Veränderung der elektromagnetischen Eigenschaften des Rotors auf unmittelbare Weise erzeugt werden können, lässt sich die zum Ausheizen des Rotors erforderliche Temperatur schneller erreichen als bei einem Verfahren, bei welchem die Erwärmung des Rotors mittels zusätzlicher Gasreibung aufgrund einer Gaslast erfolgt.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren kann ferner gleichzeitig mit dem eingangs beschriebenen herkömmlichen Ausheizen eines Rezipienten und eines Gehäuses der Vakuumpumpe ausgeführt werden. Durch das gleichzeitige Ausheizen des Rezipienten und des Gehäuses sowie des Rotors der Vakuumpumpe wird die Wahrscheinlichkeit verringert, dass sich Moleküle, die sich aufgrund der Erwärmung von den Oberflächen des Rotors lösen, wieder an Oberflächen des Rezipienten oder von statischen Teilen der Vakuumpumpe anlagern und umgekehrt. Dadurch ist ein geringerer Enddruck im Rezipienten erreichbar, und es wird die Zeit verkürzt, bis dieser Enddruck erreicht ist.

[0011] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und in den Figuren angegeben.

[0012] Gemäß einer Ausführungsform werden die Wirbelströme durch eine Effizienzreduzierung des Elektromotors erzeugt. Im Vergleich zu einem Normalbetrieb, bei dem Wirbelstromverluste im Rotor unerwünscht sind,

wird der Elektromotor beim Antreiben des Rotors vorübergehend mit einem verringerten Wirkungsgrad betrieben. Dies trägt zu einer einfachen und kostengünstigen Erwärmung des Rotors bei, in dem es im Vergleich zum Normalbetrieb der Vakuumpumpe keine zusätzlichen Komponenten erfordert, sondern lediglich eine spezielle Ansteuerung vorhandener Komponenten.

[0013] Die Wirbelströme werden bevorzugt durch eine Veränderung der Stromzufuhr für den Elektromotor erzeugt, und zwar insbesondere durch eine Veränderung, bevorzugt Verschiebung, einer Kommutierung für einen Stator des Elektromotors. Ein Teil einer Kommutierungsphase kann beispielsweise zum Beschleunigen des Elektromotors genutzt werden, während in einem anderen Teil der Kommutierungsphase ein Abbremsen des Elektromotors erfolgt. In einer Elektronik zur Ansteuerung der Vakuumpumpe ist für das Erwärmen des Rotors folglich lediglich ein gesonderter Einstellungsmodus erforderlich, der im Vergleich zum Normalbetrieb der Vakuumpumpe zur Verschiebung der Kommutierung für den Stator des Elektromotors führt. Das Erwärmen des Rotors kann folglich mit einem besonders geringen Aufwand ausgeführt werden.

[0014] Alternativ oder zusätzlich können die Wirbelströme durch ein externes Magnetfeld erzeugt werden. Dies hat den Vorteil, dass eine optimale Ansteuerung des Elektromotors zum Antreiben des Rotors während des Erwärmens bzw. Ausheizens des Rotors beibehalten werden kann. Ferner ist keine Veränderung bzw. Erweiterung der Elektronik zum Ansteuern der Vakuumpumpe bzw. des Elektromotors für deren Antrieb erforderlich, da das externe Magnetfeld durch eine separate Vorrichtung erzeugt wird.

[0015] Vorteilhafterweise wird die Temperatur des Rotors mittels eines Temperatursensors gemessen und für eine vorbestimmte Zeitspanne auf der gewünschten Temperatur gehalten. Mittels des Temperatursensors kann sichergestellt werden, dass die gewünschte Temperatur des Rotors tatsächlich erreicht wird und die gewünschte Temperatur für die vorbestimmte Zeitspanne beibehalten wird. Die vorbestimmte Zeitspanne kann beispielsweise anhand des Druckanstiegs während der Erwärmung des Rotors empirisch ermittelt werden.

[0016] Die gewünschte Temperatur ist bevorzugt eine Temperatur, bei welcher ein Ausgasen des Rotors erfolgt, und liegt insbesondere in einem Bereich zwischen 90°C und 120°C. Die gewünschte Temperatur ist somit ein Kompromiss zwischen einer minimalen Temperatur, bei welcher sich beispielsweise Wassermoleküle und andere Verunreinigungen noch vom Rotor lösen, und einer Temperatur von deutlich oberhalb 120°C, welche zum Ausheizen des Rotors geeigneter wäre, aber den Betrieb des Rotors und somit der Vakuumpumpe insgesamt beeinträchtigen würde. Grundsätzlich ist es jedoch auch denkbar, die Temperatur des Rotors für eine begrenzte, vergleichsweise kurze, Zeitdauer über 120°C zu erhöhen. Dadurch kann die Wirksamkeit des Ausheizens verbessert werden. Die Zeitdauer sollte jedoch derart ge-

wählt sein, dass eine Beeinträchtigung der Betriebsfähigkeit der Vakuumpumpe ausgeschlossen ist.

[0017] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Erzeugen der Wirbelströme zum Erwärmen des Rotors beendet, wenn ein vorbestimmter Druck an einem Einlass der Vakuumpumpe unterschritten wird. Das Ausheizen des Rotors kann somit zusätzlich mittels einer Messung des Drucks im Hochvakuum- bzw. Ultrahochvakuumbereich gesteuert werden. Der vorbestimmte Druck wird dann unterschritten, wenn das Ausgasen des Rotors aufhört und der Rotor ausreichend ausgeheizt ist. Durch das Beenden des Ausheizens des Rotors bei Unterschreiten des vorbestimmten Drucks wird das Erzeugen der Wirbelströme auf einen wirksamen Zeitraum begrenzt. Dadurch können der Energieverbrauch und die Kosten für das Ausheizen des Rotors verringert werden.

[0018] Die Erfindung betrifft ferner eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, die einen Rotor, einen Elektromotor zum Antreiben des Rotors und eine Steuereinrichtung für den Elektromotor aufweist, welche dazu ausgebildet ist, eines der vorstehend beschriebenen Verfahren auszuführen.

[0019] Die Erfindung wird nachfolgend rein beispielhaft anhand möglicher Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Anordnung zum erfindungsgemäßen Erwärmen eines Rotors einer Vakuumpumpe,

Fig. 2 zeitliche Verläufe des Drucks an verschiedenen Positionen einer Vakuumanlage, bei welcher ein Rotor einer Vakuumpumpe nicht mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erwärmt wurde, und

Fig. 3 zeitliche Verläufe des Drucks an verschiedenen Positionen einer Vakuumanlage, bei welcher der Rotor der Vakuumpumpe zuvor mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erwärmt wurde.

[0020] Fig. 1 zeigt schematisch eine Anordnung, mit der ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Erwärmen bzw. Ausheizen eines Rotors einer Vakuumpumpe ausgeführt werden kann. Bei der Vakuumpumpe handelt es sich hier um eine Turbomolekularpumpe 11, genauer gesagt um eine sogenannte Splitflow-Pumpe, die zwischen einem nicht dargestellten Einlass und einem Auslass 12 der Pumpe insgesamt sechs Ports H1 bis H6 aufweist, an denen der Druck gemessen werden kann und über die ein Gaseinlass in die Pumpe hinein möglich ist. Von diesen Ports H1 bis H6 sind in Fig. 1 nur die Ports H1, H3 und H5 dargestellt.

[0021] Die Turbomolekularpumpe 11 weist eine Turbomolekularpumpe 13 und eine Holweckpumpe 15 sowie einen Rotor 17 für beide Pumpstufen 13, 15

auf, der mittels eines Elektromotors 19 antreibbar ist. Ferner ist eine Steuereinrichtung 21 vorgesehen, die eine Stromversorgung und eine Elektronik zum Steuern des Elektromotors 19 beinhaltet und mittels Verbindungsleitungen 23 mit dem Elektromotor 19 der Turbomolekularpumpe 11 verbunden ist.

[0022] Am Einlass der Turbomolekularpumpe 11 kann ein Ultrahochvakuum erzeugt werden, d.h. ein Druck im Bereich kleiner 10^{-10} mbar. Die Turbomolekularpumpe 11 weist innerhalb der Turbomolekularpumpstufe 13 einen Port H1, an welchem der Druck in der Nähe des Einlasses gemessen werden kann, und einen Port H3 auf, an welchem der Druck in einem mittleren Bereich der Turbomolekularpumpstufe 13 gemessen werden kann. Ferner weist die Turbomolekularpumpe 11 innerhalb der Holweckpumpstufe 17 einen Port H5 auf, der zur Messung des Drucks in der Nähe des Auslasses der Pumpe und für das Einlassen einer Gaslast vorgesehen ist.

[0023] Der Auslass 12 der Turbomolekularpumpe 11 ist mittels einer Vakuumleitung 25 mit einer Vorvakuumpumpe 27 verbunden.

[0024] Ferner umfasst die Anordnung eine Vorrichtung 29 zur Erzeugung eines externen Magnetfelds. Außerdem ist ein Temperatursensor 28 vorgesehen, durch den die Temperatur des Rotors 17 gemessen werden kann und der beispielsweise an einem Unterteil der Turbomolekularpumpe 11 angeordnet ist.

[0025] Für den Betrieb der Anordnung ist eine erste Betriebsphase vorgesehen, die einem Normalbetrieb der Turbomolekularpumpe 11 entspricht und in der die Temperatur des Rotors 17 im Bereich der Umgebungstemperatur liegt. Der Elektromotor 19 wird während der ersten Betriebsphase derart angesteuert, dass Verlustströme, wie beispielsweise Wirbelströme, im Rotor 17 minimiert sind.

[0026] Für die erste Betriebsphase ist ferner eine Warnschwelle für das Signal des Temperatursensors 28 vorgesehen, welche einer vorbestimmten Temperatur des Rotors 17 entspricht, oberhalb derer die Turbomolekularpumpe 11 in der ersten Betriebsphase nicht betrieben werden sollte. Wenn das Signal des Temperatursensors 28 während der ersten Betriebsphase die Warnschwelle überschreitet, wird folglich eine Warnung an der Steuereinrichtung 21 ausgegeben.

[0027] Während einer zweiten Betriebsphase der Turbomolekularpumpe 11, die auch als "Ausheizphase" bezeichnet werden kann, ist hingegen eine veränderte Ansteuerung des Elektromotors 19 im Vergleich zum Normalbetrieb vorgesehen. Konkret ist während der zweiten Betriebsphase eine Kommutierung für einen Stator des Elektromotors 19 im Vergleich zum Normalbetrieb verschoben, so dass Wirbelströme im Rotor 17 entstehen. Diese Wirbelströme führen zu einer Erwärmung des Rotors 17 und somit zu einem Ausgasen desselben, ohne dass eine zusätzliche Gaslast, beispielsweise über den Port H5, in die Turbomolekularpumpe 11 eingelassen wird.

[0028] Während der zweiten Betriebsphase wird ferner die Warnschwelle des Temperatursensors 28, d.h. für die Temperatur des Rotors 17, erhöht oder deaktiviert, um einen unbeabsichtigten Abbruch der Erwärmung und des Ausheizens des Rotors 17 zu vermeiden. Das Signal des Temperatursensors 28 wird in der zweiten Betriebsphase nicht nur zu Kontrollzwecken verwendet, sondern es dient zur Regelung der Temperatur des Rotors 17 auf eine gewünschte Temperatur, die beispielsweise in einem Bereich zwischen 90°C und 120°C liegt. Die Temperatur des Rotors 17 kann ferner für eine begrenzte, vergleichsweise kurze, Zeitdauer über 120°C erhöht werden, um die Wirksamkeit des Ausheizens zu verbessern. Da der Temperatursensor 28 in der Turbomolekularpumpe 11 ohnehin schon vorhanden ist, benötigt das erfindungsgemäße Verfahren somit keine zusätzliche Vorrichtung zur Regelung der Temperatur des Rotors 17, sondern lediglich eine Anpassung der ebenfalls vorhandenen Steuereinrichtung 21.

[0029] Die zweite Betriebsphase kann beendet werden, wenn ein vorbestimmter Druck an einem Einlass der Turbomolekularpumpe 11 unterschritten wird, weil das Ausgasen des Rotors 17 aufhört hat und der Rotor 17 somit ausreichend ausgeheizt ist. Die Turbomolekularpumpe 11 wird anschließend wieder unter den Bedingungen der vorstehend beschriebenen ersten Betriebsphase betrieben.

[0030] Alternativ oder zusätzlich zur Veränderung der Kommutierung des Elektromotors 19 erzeugt die Vorrichtung 29 ein externes Magnetfeld im Bereich des Rotors 17, welches ebenso Wirbelströme im Rotor 17 erzeugt. Somit kann der Rotor 17 auch mittels der Vorrichtung 29 zur Erzeugung des externen Magnetfelds erwärmt und ausgeheizt werden.

[0031] Um das Ausheizen des Rotors der Turbomolekularpumpe 11 mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens unter Verwendung der Anordnung von Fig. 1 zu demonstrieren, wurden Druckmessungen an der Turbomolekularpumpe 11 mit zwei unterschiedlichen Vorbedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Druckmessungen sind in Fig. 2 und 3 dargestellt. Bei den Kurven von Fig. 2 wurde der Rotor 17 der Turbomolekularpumpe 11 zuvor nicht erwärmt bzw. ausgeheizt, während bei den Kurven von Fig. 3 zuvor das erfindungsgemäße Verfahren zum Erwärmen und Ausheizen des Rotors 17 verwendet wurde.

[0032] Ferner wurde zu Testzwecken sowohl bei den Druckmessungen von Fig. 2 als auch bei denjenigen von Fig. 3 derart ein Gas im Bereich des Auslasses 12 der

[0033] Turbomolekularpumpe 11 eingelassen, dass am Auslass 12 jeweils ungefähr der gleiche Druck vorlag, wie dies die oberen Kurven 31 und 41 in Fig. 2 bzw. 3 zeigen. Der erhöhte Druck aufgrund des zusätzlichen Gases führte zu einer erhöhten Gasreibung im Rotor 17 und dadurch zu dessen Erwärmung, wodurch wiederum ein Ausgasen des Rotors 17 ausgelöst wurde.

[0034] In Fig. 2 und 3 ist der Druck an verschiedenen Positionen einer Vakuumanlage, wie sie beispielsweise

schematisch in Fig. 1 veranschaulicht ist, über der Zeit dargestellt. Die Druckmessung erfolgte jeweils am Auslass 12 der Turbomolekularpumpe 11, d.h. im Vorvakuumbereich (Kurven 31 und 41), am Port H5 (vgl. Fig. 1, Kurve 42 in Fig. 3), am Port H3 (Kurven 33 und 43), am Port H1 (Kurven 35 und 45) sowie am Einlass der Turbomolekularpumpe 11, d.h. im Ultrahochvakuumbereich (Kurven 37, 39, 47 und 49). Zur Verbesserung der Messsicherheit wurde die Druckmessung im Ultrahochvakuumbereich an zwei unterschiedlichen Positionen im Bereich des Einlasses der Turbomolekularpumpe 11 durchgeführt.

[0035] Sowohl bei der Druckmessung von Fig. 2 als auch bei der Druckmessung von Fig. 3 wurde der Druck im Vorvakuumbereich der Anordnung im Vergleich zum Normalbetrieb durch Einlassen eines Gases mittels des Ports H5 auf etwa 3 mbar erhöht (vgl. die Kurven 31 bzw. 41 in Fig. 2 bzw. 3). Dadurch trat ein Druckanstieg an den Ports H3 und H1 sowie auch im Ultrahochvakuumbereich am Einlass der Turbomolekularpumpe 11 auf. Der Druckanstieg ist am deutlichsten in Fig. 2 im zeitlichen Verlauf der Kurven 31, 33 und 35 zu erkennen.

[0036] Wie ferner in Fig. 2 zu erkennen ist, stieg der Druck im Ultrahochvakuumbereich der Anordnung aufgrund des Ausgasens des zuvor nicht ausgeheizten Rotors 17 von etwa 10^{-10} mbar auf nahezu 10^{-9} mbar an, d.h. um etwa eine Größenordnung. Ferner war ein Betrieb über mehrere Stunden mit zusätzlicher Gaslast erforderlich, bis der Druck im Ultrahochvakuumbereich der Anordnung nicht mehr anstieg und ein Sättigungsdruck erreicht wurde. Außerdem war sogar nach mehreren Stunden des Betriebs mit zusätzlicher Gaslast kein erneuter Abfall des Drucks zu beobachten, welcher auf eine Verringerung des Ausgasens des Rotors 17 hingedeutet hätte.

[0037] Wenn der Rotor 17 der Turbomolekularpumpe 11 jedoch zuvor mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erwärmt und ausgeheizt wurde (siehe Fig. 3), trat zwar im Betrieb mit zusätzlicher Gaslast zunächst ebenfalls ein Druckanstieg im Ultrahochvakuumbereich der Anordnung auf, der jedoch nach erheblich kürzerer Zeit einen Sättigungswert erreichte, welcher noch dazu deutlich unterhalb von 10^{-10} mbar lag (vgl. die Kurven 47 und 49 in Fig. 3). Selbst mit einer zusätzlichen Gaslast im Vorvakuumbereich der Anordnung lag der Druck im Rezipienten somit immer noch im gewünschten Ultrahochvakuumbereich. Dabei resultiert ein vergleichsweise geringer Druckanstieg in den Kurven 47 und 49 vor allem aus einer unvermeidlichen Rückströmung des zusätzlich eingelassenen Gases in Richtung des Einlasses der Turbomolekularpumpe 11, d.h. in den Ultrahochvakuumbereich hinein, und weniger aus einem Ausgasen des Rotors 17.

[0038] Das Testergebnis von Fig. 3 zeigt somit, dass der Rotor 17 mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens effizient erwärmt und ausgeheizt wurde und der Druckanstieg im Ultrahochvakuumbereich trotz zusätzlicher Gaslast im Vorvakuumbereich um mindestens eine Größen-

ordnung geringer war als ohne vorheriges Ausheizen des Rotors 17. Mit anderen Worten zeigen die Kurven 47 und 49 von Fig. 3, dass der Rotor 17 zuvor durch das erfindungsgemäße Verfahren ausreichend ausgasen konnte, so dass selbst mit zusätzlicher Gaslast und daraus resultierender zusätzlicher Erwärmung des Rotors 17 im Vergleich zu den Kurven 37 und 39 von Fig. 2 nur ein geringer Druckanstieg im Ultrahochvakuumbereich auftrat. Das erfolgreiche Ausheizen des Rotors 17 mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ist auch daran zu erkennen, dass der Druckanstieg in den Kurven 47 und 49 von Fig. 3 schon nach kurzer Zeit den Sättigungswert unterhalb von 10^{-10} mbar erreichte.

15 Bezugszeichenliste

[0039]

11	Turbomolekularpumpe
12	Auslass
13	Turbomolekularpumpe
15	Holweckpumpe
17	Rotor
19	Elektromotor
21	Steuereinrichtung
23	Verbindungsleitungen
25	Vakuumschlauch
27	Vorvakuumpumpe
28	Temperatursensor
29	Vorrichtung zur Erzeugung eines externen Magnetfelds
H1	Port im Bereich des Pumpeneinlasses
H3	Port im mittleren Bereich der Turbomolekularpumpe
H5	Port im Bereich der Holweckpumpe
31,41	Vorvakuumdruck
42	Druck am Port H5
33, 43	Druck am Port H3
35,45	Druck am Port H1
37, 47, 39, 49	Druck im Ultrahochvakuumbereich

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erwärmen eines Rotors (17) einer Vakuumpumpe (11), insbesondere einer Turbomolekularpumpe (11), welche einen mittels eines Elektromotors (19) antreibbaren Rotor (17) aufweist, dessen Temperatur während einer ersten Betriebsphase der Vakuumpumpe (11) im Bereich einer Umgebungstemperatur liegt, **dadurch gekennzeichnet, dass** während einer zweiten Betriebsphase Wirbelströme innerhalb des Rotors (17) erzeugt werden, die eine Erwärmung des Rotors (17) auf eine gewünschte Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur bewirken.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch eine Effizienzreduzierung des Elektromotors (19) erzeugt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, die Wirbelströme durch eine Veränderung der Stromzufuhr zu dem Elektromotor (19) erzeugt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch eine Veränderung, insbesondere Verschiebung, einer Kommutierung für einen Stator des Elektromotors (19) erzeugt werden.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch ein externes Magnetfeld erzeugt werden.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur des Rotors (17) mittels eines Temperatursensors (28) gemessen und für eine vorbestimmte Zeitspanne auf der gewünschten Temperatur gehalten wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gewünschte Temperatur eine Temperatur ist, bei welcher ein Ausgasen des Rotors (17) erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gewünschte Temperatur in einem Bereich zwischen 90°C und 120°C liegt.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erzeugen der Wirbelströme zum Erwärmen des Rotors (17) beendet wird, wenn ein vorbestimmter Druck an einem Einlass der Vakuumpumpe (11) unterschritten wird.
10. Vakuumpumpe (11), insbesondere Turbomolekularpumpe (11), mit:
 - einem Rotor (17),
 - einem Elektromotor (19) zum Antreiben des Rotors (17) und
 - einer Steuereinrichtung (21) für den Elektromotor (19), welche dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche auszuführen.

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Verfahren zum Erwärmen eines Rotors (17) einer Vakuumpumpe (11), insbesondere einer Turbomolekularpumpe (11), welche einen mittels eines Elektromotors (19) antreibbaren Rotor (17) aufweist, dessen Temperatur während einer ersten Betriebsphase der Vakuumpumpe (11) im Bereich einer Umgebungstemperatur liegt, wobei während einer zweiten Betriebsphase Wirbelströme innerhalb des Rotors (17) erzeugt werden, die eine Erwärmung des Rotors (17) auf eine gewünschte Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur bewirken, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch eine Effizienzreduzierung des Elektromotors (19) erzeugt werden.
2. Verfahren zum Erwärmen eines Rotors (17) einer Vakuumpumpe (11), insbesondere einer Turbomolekularpumpe (11), welche einen mittels eines Elektromotors (19) antreibbaren Rotor (17) aufweist, dessen Temperatur während einer ersten Betriebsphase der Vakuumpumpe (11) im Bereich einer Umgebungstemperatur liegt, wobei während einer zweiten Betriebsphase Wirbelströme innerhalb des Rotors (17) erzeugt werden, die eine Erwärmung des Rotors (17) auf eine gewünschte Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur bewirken, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch eine Veränderung der Stromzufuhr zu dem Elektromotor (19) erzeugt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch eine Veränderung, insbesondere Verschiebung, einer Kommutierung für einen Stator des Elektromotors (19) erzeugt werden.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelströme durch ein externes Magnetfeld erzeugt werden.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Temperatur des Rotors (17) mittels eines Temperatursensors (28) gemessen und für eine vorbestimmte Zeitspanne auf der gewünschten Temperatur gehalten wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gewünschte Temperatur eine Temperatur ist, bei welcher ein Ausgasen des Rotors (17) erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gewünschte Temperatur in einem Bereich zwischen 90°C und 120°C liegt. 5
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erzeugen der Wirbelströme zum Erwärmen des Rotors (17) beendet wird, wenn ein vorbestimmter Druck an einem Einlass der Vakuumpumpe (11) unterschritten wird. 10
9. Vakuumpumpe (11), insbesondere Turbomolekularpumpe (11), mit: 15
- einem Rotor (17),
 einem Elektromotor (19) zum Antreiben des Rotors (17) und
 einer Steuereinrichtung (21) für den Elektromotor (19), welche dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche auszuführen. 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

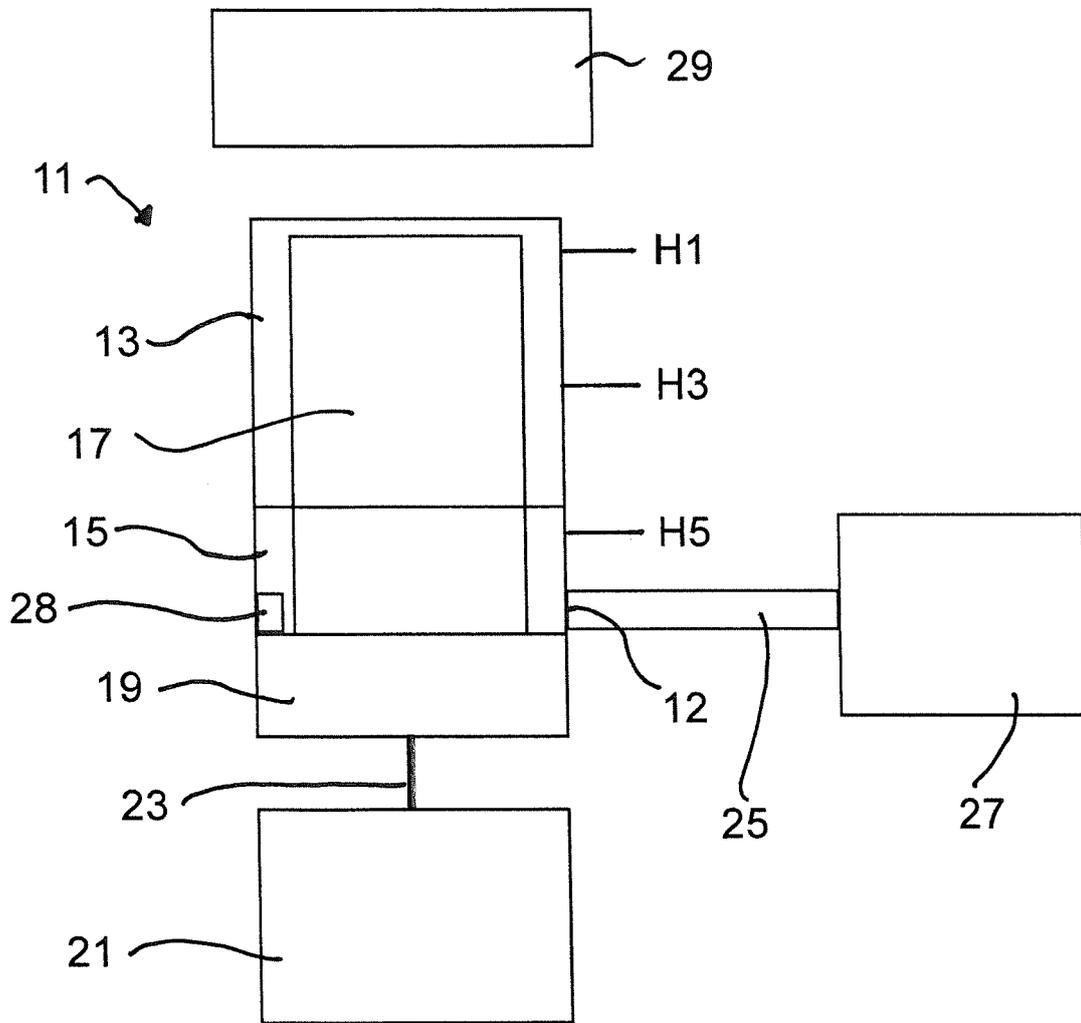


Fig. 1

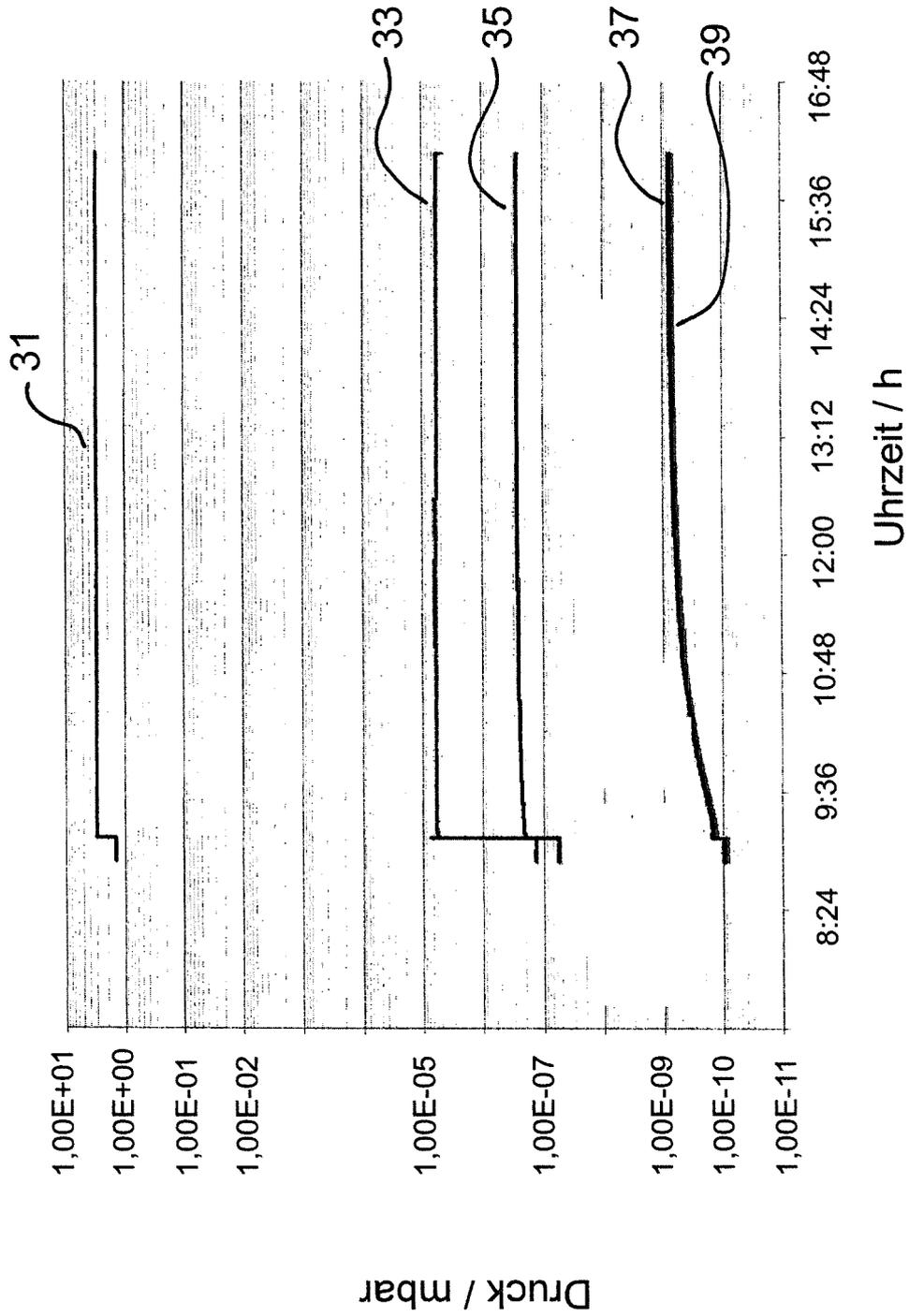


Fig. 2

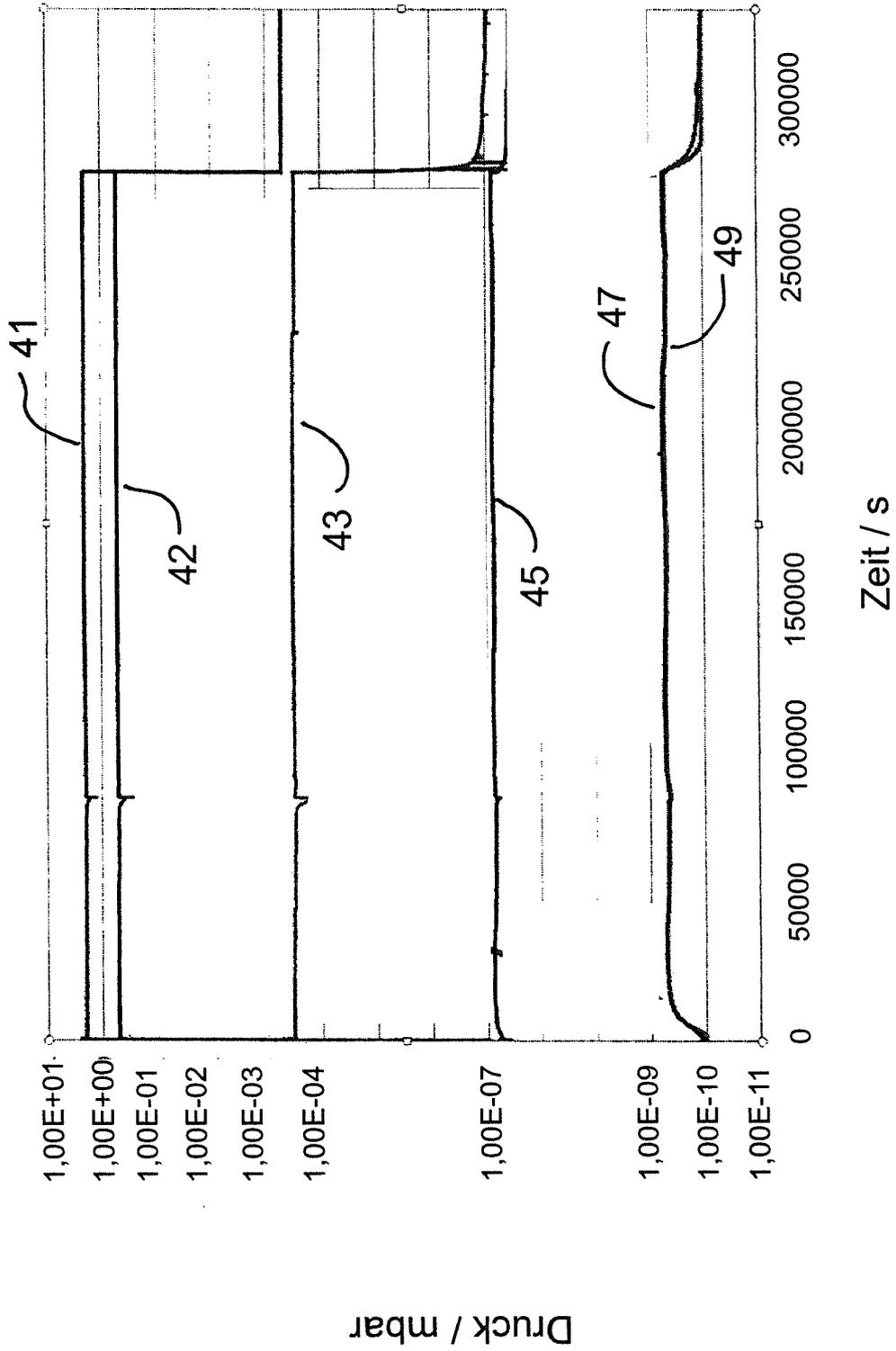


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 17 18 5534

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 32 16 404 A1 (PFEIFFER VAKUUMTECHNIK [DE]) 10. November 1983 (1983-11-10) * Seite 3, erster und zweiter Absatz * * Seite 4, letzter Absatz * * Seite 6, zweiter Absatz * * Abbildungen 1,2 *	1,5-10	INV. F04D19/04 F04D29/58
X	JP H04 112996 A (SHIMADZU CORP) 14. April 1992 (1992-04-14) * Zusammenfassung * * Abbildungen 1,2 *	1,5-10	
A	EP 3 112 688 A1 (PFEIFFER VACUUM GMBH [DE]) 4. Januar 2017 (2017-01-04) * Absätze [0049], [0056], [0057] *	1-10	
A	US 2 313 175 A (SCOTT ROBERT F ET AL) 9. März 1943 (1943-03-09) * Anspruch 6 * * Abbildungen 1,3 *	1-4,9,10	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F04D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 1. Februar 2018	Prüfer Gombert, Ralf
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 17 18 5534

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

01-02-2018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3216404 A1	10-11-1983	CH 662691 A5	15-10-1987
		DE 3216404 A1	10-11-1983
		FR 2526090 A1	04-11-1983
		GB 2119609 A	16-11-1983
		IT 1161046 B	11-03-1987
		JP H0368238 B2	25-10-1991
		JP S5932697 A	22-02-1984
JP H04112996 A	14-04-1992	KEINE	
EP 3112688 A1	04-01-2017	EP 3112688 A1	04-01-2017
		JP 6253719 B2	27-12-2017
		JP 2017020502 A	26-01-2017
US 2313175 A	09-03-1943	KEINE	

EPO FORM P0461

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